

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Estudio de la Contaminación Generada por la Emisión de Gases y Material
Particulado de las Fuentes Móviles en el Aire de Quito, previos al Pico y Placa y
durante su Ejecución mediante el Sistema Aeroqual**

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas con
Mención en Química Analítica**

MICHELLE ESPÍN BAHAMONDE

Quito, 2012

Certificación de la finalización de la disertación:

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas, con mención en Química Analítica, del candidato Michelle Espín Bahamonde ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Fecha: 12/04/2012

M. Sc. Wendy Heredia Rojas

DEDICATORIA

El fruto de este trabajo se lo dedico a mis padres, Marco y Valeria, por apoyarme en todo momento y brindarme fuerzas para seguir adelante; a mis hermanos, Igor y Doménica, por ser mis amigos incondicionales; y a mi novio Eric quien ha sido mi inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido posible llevarse a cabo gracias a la colaboración de:

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

La Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

El Centro de Servicios Ambientales y Químicos, CESAQ-PUCE.

Mi directora de tesis M.Sc. Wendy Heredia Rojas por ser una gran mentora a lo largo de esta investigación.

Mi tía Susy y mis amigos Santi, Anita y Andre por estar siempre preocupados por mí.

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	iv
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I	
1.1. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	8
1.1.1. Contaminantes atmosféricos.....	8
1.1.1.1. Contaminantes primarios.....	10
1.1.1.2. Contaminantes secundarios.....	15
1.1.2. Smog fotoquímico.....	16
1.1.3. Efecto invernadero.....	17
1.2. ACTIVIDAD QUÍMICA EN LA TROPÓSFERA.....	19
1.3. ASPECTOS METEOROLÓGICOS.....	22
1.4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE QUITO.....	24
1.5. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	30
1.6. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE ECUATORIANA (NCAA).....	32
1.7. MEDIDA DE RESTRICCIÓN VEHICULAR ‘‘PICO Y PLACA’’.....	33

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	36
2.1.METODOLOGÍA.....	36
2.2. MUESTREO.....	42
2.2.1. Área de estudio.....	42
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
2.3.1. Equipos.....	43
2.3.2. Materiales.....	44
2.4.PROCEDIMIENTO.....	44
2.5. CÁLCULOS.....	46

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1.COMPARACIÓN DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL MONITOR AQM60 FRENTE A LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE BELISARIO DE LA REMMAQ.....	49
3.2. ESTUDIO DE LAS EMISIONES MENSUALES.....	60
3.3. ESTUDIO DE EMISIONES HORARIAS.....	63

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
4.1.CONCLUSIONES.....	87
4.2.RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	95

LISTA DE TABLAS

1.1. Cifras del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito desde el año 2007 al 2011.....	27
1.2. Emisiones anuales del Distrito Metropolitano de Quito, 2010.....	30
2.1. Rangos de flujos de entrada de aire a los módulos de los sensores.....	40
2.2. Especificaciones de los módulos de los sensores.....	41
2.3. Procesamiento de datos obtenidos por el equipo AQM60.....	48
3.1. Lecturas aceptables de línea base para cada módulo de gas.....	50
3.2. Puntos span sugeridos por el fabricante.....	51
3.3. Resultados de los valores de cero y span obtenidos en la calibración del sensor de CO....	52
3.4. Resultados de los valores de cero y span obtenidos en la calibración del sensor de O ₃	54
3.5. Resultados de los valores de cero y span obtenidos en la calibración del sensor de NO ₂ ..	56
3.6. Verificación de flujos del monitor de partículas PM _{2.5}	58
3.7. Comparación de las emisiones de los contaminantes para los meses de abril 2010 y 2011.....	62
3.8. Cumplimiento de los límites máximos permisibles de O ₃ en una hora establecidos por la Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana.....	65
3.9. Cumplimiento de las concentraciones máximas permitidas en períodos de 8 horas de las emisiones de O ₃ acorde a la Guía de la OMS.....	66
3.10. Cumplimiento de las concentraciones de 24 horas máximas permitidas de las emisiones de NO ₂ acorde a la Norma Nacional.....	70

3.11. Cumplimiento de los límites máximos permisibles de NO ₂ en una hora establecidos por la Guía de la OMS y la US EPA.....	71
3.12. Cumplimiento de las concentraciones máximas permitidas de PM _{2.5} en 24 horas acorde a la Norma Nacional ,a la US EPA y a la Guía de la OMS.....	76
3.13. Cumplimiento de las concentraciones máximas de CO en una hora permitidas acorde a la Norma Nacional y a la Guía de la OMS.....	81
3.14. Comparación de las emisiones de PM _{2.5} , O ₃ , NO ₂ y CO durante las horas pico.....	84

LISTA DE FIGURAS

1.1. Esquema de la formación del smog fotoquímico.....	17
1.2. Contribuciones a la atmósfera de gases de efecto invernadero.....	19
1.3. Fuentes potenciales de emisión de contaminantes de un automóvil.....	26
1.4. Porcentaje del consumo anual de combustible por parte de las fuentes móviles del Distrito Metropolitano de Quito DMQ.....	28
1.5. Emisiones generadas por las fuentes móviles, DMQ (t/año).....	29
1.6. Área de Quito en la que se aplica el Pico y Placa.....	35
2.1. Sensor con tecnología GSS.....	37
2.2. Ilustración del monitor AQM60.....	38
2.3. Sistema neumático del equipo AQM60.....	39
2.4. Esquema del equipo AQM60 para la calibración punto cero y punto span.....	46
3.1. Gráfica de contrastación del sensor de CO AQM60 frente al analizador de referencia....	53
3.2. Gráfica de contrastación del sensor de O ₃ AQM60 frente al analizador de referencia....	55
3.3. Gráfica de contrastación del sensor de NO ₂ AQM60 frente al analizador de referencia...57	
3.4. Gráfica de contrastación del sensor de PM _{2.5} AQM60 frente al analizador de referencia59	
3.5. Comparación de emisiones de PM _{2.5} , O ₃ y NO ₂ de los meses de abril del 2010 y 2011....60	
3.6. Comparación de emisiones de CO del mes de abril del 2010 y 2011.....	62
3.7. Perfil de emisiones horarias de O ₃ de abril 2011 (AQM).....	64
3.8. Comparación de las emisiones de O ₃ hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico.....	67
3.9. Perfil de emisiones horarias de NO ₂ de abril 2011 (AQM).....	69

3.10. Tendencias de NO ₂ para los meses de abril 2010 y 2011.....	72
3.11. Comparación de las emisiones de NO ₂ hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico.....	73
3.12. Perfil de emisiones horarias de PM _{2.5} de abril 2011 (AQM).....	75
3.13. Tendencias de PM _{2.5} para los meses de abril 2010 y 2011.....	77
3.14. Comparación de las emisiones de PM _{2.5} hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico.....	79
3.15. Perfil de emisiones horarias de CO de abril 2011 (AQM).....	80
3.16. Tendencias de CO para los meses de abril 2010 y 2011.....	82
3.17. Comparación de las emisiones de CO hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico.....	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Inventario de emisiones de fuentes móviles desagregado, DMQ 2009.....	95
Anexo B. Comparación de técnicas de monitoreo de la calidad del aire.....	97
Anexo C. Gráficas de calibración punto cero y punto span de los sensores CO, NO ₂ , O ₃	99
Anexo D. Cálculos.....	103
Anexo E. Verificación de flujos de los módulos de los sensores de CO, NO ₂ , O ₃	108
Anexo F. Gráficas de temperatura interna del equipo AQM60, temperatura ambiente y humedad relativa del ambiente.....	111
Anexo G. Normas generales para las concentraciones máximas permitidas de los contaminantes comunes del aire establecido por la Entidad Ambiental de Control.....	114
Anexo H. Resultados del conteo volumétrico de tráfico realizado en la Av. 12 de Octubre..	116
Anexo I. Certificado tanque multigas.....	118

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el grado de contaminación primaria y secundaria generado por las fuentes móviles en el aire del sector urbano del Distrito Metropolitano de Quito, previos a la medida de restricción vehicular denominada ‘‘Pico y Placa’’ y durante su ejecución mediante el monitoreo de la calidad del aire usando el sistema Aeroqual.

El objetivo de este estudio fue monitorear la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM_{2.5}) y ozono (O₃), contaminantes generados principalmente por la combustión incompleta de los vehículos livianos y pesados que circulan en la ciudad, con el fin de apreciar la situación real de contaminación dentro de la ciudad y determinar si la restricción vehicular ha contribuido o no a la disminución de las emisiones contaminantes.

Al inicio de esta investigación, se trasladó al equipo de monitoreo Aeroqual AQM60 a la estación automática de monitoreo ubicada en el sector de Belisario que forma parte de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), para realizar una comparación del monitor AQM60 frente al equipo de monitoreo Thermo Environmental Instruments (TEI) el cual constituye el analizador de referencia, con ello se demostró que el equipo AQM60 es una buena alternativa para llevar a cabo el monitoreo semifijo de la calidad del aire, ya que su tendencia responde con precisión al analizador de referencia.

Posteriormente, se colocó al monitor AQM60 entre la Avenida 12 de Octubre y Patria debido al gran número de vehículos que circulan por este sector para dar inicio al monitoreo de los contaminantes (CO, NO₂, PM_{2.5} y O₃) durante la ejecución de la restricción vehicular.

Los resultados de este estudio revelan que las concentraciones promedio de PM_{2.5} hacia abril del 2011, cuando está en vigencia el “Pico y Placa”, son inferiores a las concentraciones de abril del 2010, cuando no estaba en vigencia el “Pico y Placa”, ya que sus concentraciones disminuyen de 18,20µg/m³ a 15,70µg/m³. Sin embargo, las concentraciones promedio de O₃, NO₂ y CO han aumentado acorde a la aplicación de la medida de restricción “Pico y Placa”, pues se ha incrementado de 14,37µg/m³ de O₃ en el 2010 a 16,51µg/m³ en el 2011, de 29,00µg/m³ de NO₂ en el 2010 a 37,79µg/m³ en el 2011, y de 0,89 mg/m³ de CO en el 2010 a 1,26mg/m³ en el 2011 reportados en condiciones de referencia. Cabe recalcar que, las emisiones contaminantes no superan los límites máximos permisibles establecidos en la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

Finalmente, se recomienda el apoyo y colaboración de la ciudadanía para que se continúe desarrollando la medida de restricción vehicular y además que se extienda su aplicación durante todo el día para lograr un gran porcentaje de reducción de emisiones contaminantes y descongestión.

Palabras Clave: Monitoreo de la Calidad del Aire, Fuentes móviles, Contaminantes atmosféricos, Medida de restricción vehicular “Pico y Placa”, Sistema Aeroqual.

ABSTRACT

The current work analyzed the primary and secondary pollution levels produced by the mobile sources in the air of the urban area of the Distrito Metropolitano de Quito prior to the rush hour law called “Pico y Placa” and also during its execution. The air quality was monitored through the Aeroqual System.

The aim of this study was to monitor the carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), particulate matter (PM_{2.5}) and ozone (O₃) concentrations, which are primarily generated by the incomplete combustion of the vehicle fleet by having the purpose of getting to know the real pollution situation within the city, and determining if the vehicle restriction whether has contributed or not to the reduction of pollutant emissions.

At the beginning of the research, the Aeroqual AQM60 monitoring equipment was taken to the automatic monitoring station located in Belisario area, which is part of the Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), to carry out a comparison between the AQM60 monitoring equipment and the reference analyzer monitoring equipment, Thermo Environmental Instruments (TEI). It was demonstrated that the AQM60 equipment is suitable to carry out the quality air semi-permanent monitoring because the AQM60 equipment's data and accuracy was equivalent to the reference analyzer's data and accuracy.

Subsequently, the AQM60 equipment was located between the Av. 12 de Octubre y Patria, due to the large number of vehicles in that sector, in order to start monitoring the pollutants (CO, NO₂, PM_{2.5} y O₃) during the vehicle restriction law.

The results from this study reveal that the average concentrations of PM_{2.5} in April 2011, during the vehicle restriction “Pico y Placa”, are lower than the concentrations from April 2010, when the restriction “Pico y Placa” was not in operation—the concentrations decreased from 18,20µg/m³ to 15,70µg/m³. However, the O₃, NO₂, and CO average concentrations increased when this vehicle restriction was in effect, increasing from 14,37µg/m³ of O₃ in 2010 to 16,51µg/m³ in 2011, 29,00µg/m³ of NO₂ in 2010 to 37,79µg/m³ in 2011 and 0,89 mg/m³ of CO in 2010 to 1,26mg/m³ in 2011. These data are reported in reference conditions. It should be mentioned that the emissions do not exceed the maximum permissible limits of the Ecuadorian Environmental Legislation.

Finally, it is recommended the citizens support and cooperate for the further development of the rush hour restriction law “Pico y Placa”; it is also suggested to extend the law application to the entire day in order to reach greater positive changes in reducing the emissions, controlling the air pollution and easing the congestion.

Key Words: Monitoring Air Quality, Mobile sources, Atmospheric pollutants, Rush hour restriction law “Pico y Placa”, Aeroqual System.

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire de la ciudad de Quito ha sufrido un deterioro en los últimos años debido a las emisiones contaminantes provenientes de las fuentes móviles, ya que el parque automotor ha experimentado un acelerado crecimiento del 18% a lo largo de los 4 últimos años lo cual ha generado gran congestión en las calles y avenidas de la ciudad que por su accidentada geografía no cuenta con vías de descongestión necesarias para evadir este problema. Además, la altitud de la ciudad, 2810 metros sobre el nivel del mar, implica una condición limitante en los procesos de combustión por la deficiencia de oxígeno que desenlaza en reacciones incompletas propiciando la producción de contaminantes atmosféricos. La irregular topografía de la ciudad constituye otro obstáculo, pues no permite el fácil transporte de los contaminantes en la atmósfera. Estos factores en conjunto describen la problemática que incide en la contaminación atmosférica de la ciudad, la congestión vehicular, las enfermedades respiratorias y la inconformidad en la ciudadanía.

Las fuentes móviles constituyen la mayor fuente de contaminación atmosférica, ya que aportan el 80% de la contaminación del aire, generando monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado [1].

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito con la finalidad de alivianar la congestión vehicular producida en horas consideradas de alto tráfico vehicular, mejorar la circulación de los usuarios a sus distintos destinos, disminuir la concentración de las emisiones de gases y

material particulado emitidos por las fuentes móviles implementó el 3 de mayo del 2010 la medida de restricción vehicular denominada “Pico y Placa”, la cual se basa en la prohibición de la circulación de ciertos automotores, durante seis horas de los días laborales (7h00-9h30 y 16h00-19h30), de acuerdo con el último dígito de su placa.

El presente estudio se lleva a cabo mediante el monitor Aeroqual AQM60, el cual es una robusta estación semifija de monitoreo continuo de la calidad del aire, cuya implementación es más sencilla y menos costosa en relación a una estación fija convencional, además sus dimensiones le permiten ser transportado fácilmente a cualquier lugar donde se desee monitorear la calidad del aire.

Los contaminantes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y material particulado (PM_{2.5}) son sujetos a ser monitoreados las 24 horas del día, por un tiempo determinado, excepto los fines de semana, ya que, allí no rige el “Pico y Placa”. Con ello, se puede consolidar un perfil de emisiones horario y mensual para cada uno de los contaminantes en cuestión.

Los objetivos del presente estudio constituyen en determinar la contaminación debida a la emisión de gases y material particulado por parte de fuentes móviles en el aire de Quito, previos al “Pico y Placa” y durante su ejecución; monitorear mediante el sistema Aeroqual la concentración de monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado (PM_{2.5}) generados por el tráfico vehicular para establecer la situación real y tendencias de la calidad del aire en la ciudad. Finalmente, se pretende comprobar si la concentración de los contaminantes atmosféricos experimenta una disminución durante las

horas estipuladas para el “Pico y Placa” o un desplazamiento de dicha contaminación a horas previas o posteriores a la aplicación de la medida.

El estudio está dividido en cuatro capítulos distribuidos del siguiente modo:

Capítulo I, hace referencia a la revisión bibliográfica del tema en estudio, el contenido que este capítulo presenta se basa en material publicado, el mismo que ayuda a tener una visión más clara y concisa de la problemática que se está tratando.

Capítulo II, este capítulo expone la parte experimental llevada a cabo durante el estudio; donde se indica la metodología aplicada, los materiales, equipos empleados y procedimientos analíticos que se han seguido.

Capítulo III, este capítulo incluye los resultados obtenidos a lo largo de la investigación y su respectivo análisis y discusión.

Capítulo IV, este capítulo abarca conclusiones y recomendaciones donde se establece si los objetivos propuestos han sido cumplidos una vez finalizada la investigación; se deja plasmado los principales resultados de la disertación y la contribución que ello representa al conocimiento, a la sociedad y a futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

1.1. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación del aire resulta de actividades humanas o procesos naturales, presentes en concentración suficiente por un tiempo y bajo circunstancias que interfieren con el confort, la salud o bienestar de los seres humanos y del ambiente [2,4].

En un principio, la contaminación estaba asumida por la naturaleza gracias a los mecanismos de autodepuración físicos y químicos que posee la atmósfera, sin embargo la intensa explotación de los recursos naturales y el desarrollo antropogénico aceleran la producción de contaminantes y han sobresaturado la capacidad de la naturaleza de regenerar aire puro y limpio evitando que se alcance un equilibrio entre los distintos componentes atmosféricos, lo cual significa una gran amenaza para el equilibrio químico en la atmósfera; lamentablemente la humanidad no es consciente aún de que tanto las emisiones de gases como material particulado difundidas en la atmósfera forman parte de múltiples reacciones químicas generadoras de otros contaminantes.

1.1.1. Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos constituyen cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales y que afectan adversamente al

hombre o al ambiente. Pueden encontrarse en forma de partículas sólidas, gotas de líquido o gases [4].

La concentración de las sustancias propias de la atmósfera presenta un cambio significativo en consecuencia de los contaminantes de origen natural, los cuales provienen de erupciones volcánicas, descargas eléctricas e incendios forestales y a la emisión de contaminantes provenientes de actividades antropogénicas como los procesos industriales, parque automotor, calefacción de las viviendas y múltiples actividades que demandan energía. Las emisiones de los productos de combustión de los combustibles representan un gran aporte antropogénico a la contaminación atmosférica, siendo el parque automotor uno de los principales contribuyentes.

Los contaminantes una vez emitidos se dispersan en la atmósfera por los movimientos de las masas de aire, éstos pueden retornar a la superficie terrestre o reaccionar con diferentes especies para formar otros contaminantes y finalmente se incorporan a la superficie terrestre mediante deposición húmeda o seca [3].

Los contaminantes atmosféricos se clasifican en:

- Contaminantes primarios
- Contaminantes secundarios

1.1.1.1. Contaminantes primarios

Los contaminantes primarios son emitidos directamente a la atmósfera por las fuentes móviles, fijas o de área. El tráfico vehicular es un directo contribuyente para la contaminación del aire al generar monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5}) y material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀).

- Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro, incoloro, insípido, tóxico, muy abundante y ampliamente distribuido en la capa más baja de la atmósfera. Éste se produce en mayor proporción a partir de una combustión incompleta que ocurre en los motores de los vehículos. Otras fuentes incluyen la combustión de combustibles fósiles en procesos industriales, también fuentes naturales como los incendios forestales y la oxidación de compuestos orgánicos [5].

Las concentraciones de CO son generalmente mayores a bajas temperaturas, así como también, en lugares donde la cantidad de oxígeno es insuficiente provocando que el proceso de combustión sea menos completo. Estos parámetros se tienen mejor controlados en fuentes fijas de combustión que en vehículos automotores. Por esta razón, el mayor contribuyente de las emisiones de CO provienen de las fuentes móviles.

En los vehículos a gasolina que no poseen ningún dispositivo de control de emisiones, el quemado incompleto de combustible conlleva a emisiones elevadas de monóxido de carbono e

hidrocarburos, principalmente durante la desaceleración. La instalación de convertidores catalíticos reduce las emisiones de este contaminante en un 90%, sin embargo pueden darse emisiones significativas en condiciones de arranque frío antes que el catalizador se inicie su funcionamiento.

El CO es de gran riesgo para la salud de las personas, ya que al entrar en la corriente sanguínea sustituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre por tener una afinidad de combinación 200 veces mayor comparado al oxígeno, dicha disminución del suministro de oxígeno en los órganos y tejidos del cuerpo es causante de envenenamiento y muerte instantánea [7].

- Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre (SO_2) es un gas incoloro y reactivo que se produce durante la quema de combustibles, tales como carbón y derivados de petróleo que contienen compuestos orgánicos azufrados, fundición de metales y por otros procesos industriales. Origina efectos directos e indirectos sobre la salud humana, las plantas, el clima y los materiales, por su concentración en la atmósfera y por su deposición seca y/o húmeda.

La formación de los óxidos de azufre (SO_x) ocurre acorde a las siguientes reacciones químicas, donde el azufre elemental se oxida para dar dióxido de azufre, según la ecuación 1.1 y el dióxido de azufre al no encontrarse en equilibrio, se transforma en trióxido de azufre por un proceso de oxidación.



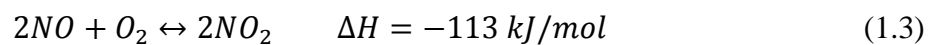
Entre las fuentes naturales de emisión a la atmósfera se destaca la oxidación de materia orgánica que contiene azufre, la actividad geotérmica, azufre elemental, sulfuro de hidrógeno y sulfatos en forma de partículas [8].

Las principales fuentes antropogénicas incluyen la quema de combustibles sólidos ya sea combustibles derivados del petróleo o carbón vegetal, procesos de refinación del petróleo y las plantas de generación termoeléctrica.

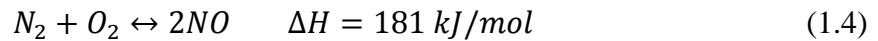
Las altas concentraciones de dióxido de azufre causan enfermedades respiratorias, alteran los mecanismos pulmonares de defensa, empeoran enfermedades cardiovasculares existentes. Los niños, ancianos y personas con enfermedades cardiovasculares o pulmonares son los más susceptibles a estos efectos.

- Dióxido de Nitrógeno

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas café rojizo, altamente reactivo y de olor irritante, que se forma cuando el óxido nítrico (NO) se combina con el oxígeno del aire, como se muestra en la siguiente ecuación.



Sabiendo que el óxido nítrico se origina como consecuencia de la reacción de los componentes del aire, nitrógeno y oxígeno, a temperaturas elevadas durante la combustión.



En la naturaleza la concentración de dióxido de nitrógeno es generada por la quema de biomasa, actividad volcánica, actividad bacteriana en el suelo, descargas eléctricas durante las tormentas. Las mayores fuentes antropogénicas de este gas constituyen los automóviles y las plantas de generación, así como los grandes procesos industriales de combustión. Las emisiones de óxido de nitrógeno son elevadas debido a las altas temperaturas, alcanzando su valor máximo durante la aceleración de los vehículos automotores [22].

En cuanto a las afecciones a la salud humana, éste provoca irritación de los pulmones y menor resistencia de las enfermedades respiratorias, causando bronquitis y pulmonía. En general genera complicaciones especialmente a niños y adultos que poseen enfermedades respiratorias como el asma [7].

- Material Particulado

El material particulado, denominado también aerosol atmosférico, constituye la forma más visible y notoria de la contaminación del aire, incluye tanto partículas sólidas como gotas de líquido menores de 100 micrones de diámetro que provienen de actividades humanas y fuentes naturales. Las partículas comprendidas entre 0,001 a 10 micrones se encuentran suspendidas en el aire cercanas a su fuente de contaminación [8].

Las partículas sedimentables poseen diámetros aerodinámicos mayores a 10 micrones y por su peso tienden a precipitar con facilidad permaneciendo un corto tiempo suspendidas en el aire.

Las partículas con diámetros aerodinámicos menores a 10 micrones (PM_{10}) constituyen el material particulado grueso que puede ser inhalado y acumulado dentro del sistema respiratorio; dentro de ellas, especial atención demandan las partículas menores a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico ($PM_{2.5}$) generalmente referidas como “finas” que tienen la capacidad de ingresar a los pulmones, donde las más hidrosolubles se disuelven y las menos hidrosolubles se depositan [30].

El material particulado ($PM_{2.5}$) ingresa hasta las partes más finas del sistema respiratorio de los seres humanos, depositando sustancias altamente tóxicas y hasta cancerígenas en ciertos casos como metales pesados e hidrocarburos, ya que, pueden llevar grandes cantidades de éstos en su superficie [10].

Las partículas actúan como catalizadores en las superficies metálicas dando paso a su oxidación; absorben y reflejan la energía solar, además, de gases como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los mismos que reaccionan con la humedad del ambiente formando partículas de ácido sulfúrico o nítrico que interviene en la lluvia ácida.

Las fuentes de emisión del material particulado pueden ser naturales o antropogénicas. Entre las fuentes naturales se puede mencionar la erosión del suelo, material biológico fraccionado, erupciones volcánicas, incendios forestales. Por su parte, las fuentes antropogénicas se

producen por la combustión de productos derivados del petróleo, el transporte vehicular, la quema de madera o campos agrícolas y los distintos procesos industriales [8,30]. En la ciudad de Quito, las principales fuentes antropogénicas están directamente relacionadas con los procesos de combustión interna de los vehículos a diesel.

1.1.1.2 Contaminantes secundarios

Los contaminantes secundarios surgen de modo indirecto mediante procesos químicos atmosféricos donde interactúan los contaminantes primarios. Generalmente, los contaminantes secundarios son producidos por la tendencia natural de la atmósfera a oxidar los gases traza en ella.

- Ozono

El ozono (O_3) es un contaminante formado por reacciones fotoquímicas, constituye un fuerte oxidante que reacciona de manera inmediata con otros compuestos químicos, además es inestable a altas concentraciones y bajo las condiciones atmosféricas normales decae a oxígeno diatómico en un corto período de tiempo [11].

En la tropósfera, el ozono no es emitido directamente, por el contrario resulta de la reacción química entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles provenientes de los motores de los vehículos en presencia de la luz solar.

Muchas áreas urbanas tienden a contener altos niveles de ozono e incluso las zonas rurales pueden presentar concentraciones de este contaminante debido a las corrientes de viento que acarrearán a los contaminantes a largas distancias de sus fuentes de emisión.

El ozono presenta efectos dañinos para la salud irritando el sistema respiratorio, reduciendo la función pulmonar, pues inflama las células que recubren los pulmones, además afecta a quienes padecen de asma y otras enfermedades respiratorias.

1.1.2. Smog fotoquímico

Muchas ciudades del mundo sufren episodios de contaminación debida al smog (término derivado de las palabras inglesas *smoke* y *fog*, que significan humo y niebla respectivamente) formado por la combinación del aire y los contaminantes atmosféricos, lo cual da lugar a un estancamiento del aire y la permanencia de los contaminantes en la tropósfera. El smog fotoquímico proviene principalmente de las emisiones de automóviles, ya que el funcionamiento de los motores de los vehículos genera una mayor contaminación que cualquier otra actividad humana [5].

Al reaccionar los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles bajo la incidencia de la luz solar se tiene como productos el ozono y nitrato de peroxiacilo (PAN), formándose una neblina de color marrón rojizo que lo distingue; el smog fotoquímico designa el papel preponderante de los contaminantes secundarios en la formación del smog.

En la Figura 1.1. se muestra un esquema de la formación del smog fotoquímico, el cual se basa en las reacciones iniciadas fotoquímicamente que se producen en una atmósfera que posee óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno.

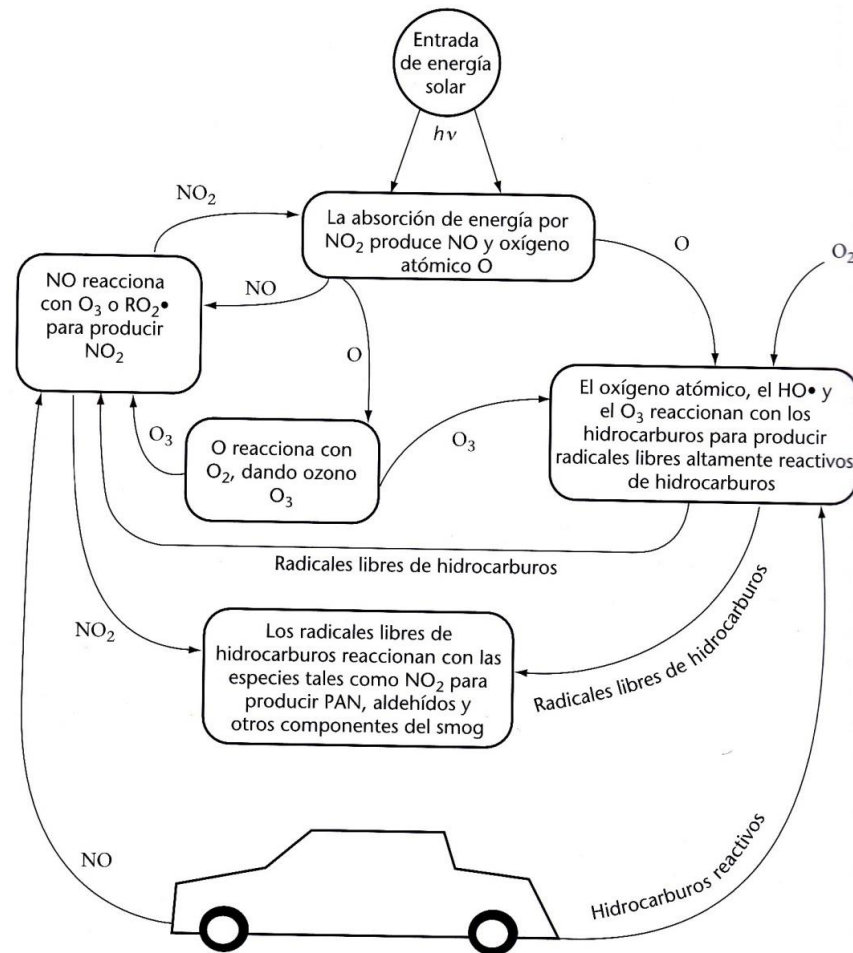


Figura 1.1. Esquema de la formación del smog fotoquímico [2]

1.2.3. Efecto Invernadero

La tierra emite radiación al espacio así como también recibe radiación del sol, la radiación emitida es de baja energía y se da en la región infrarroja del espectro. Dicha radiación infrarroja es atrapada por los gases traza de la atmósfera terrestre tales como dióxido de

carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFC), ozono (O_3), óxidos de nitrógeno (NO_x) y vapor de agua (H_2O) logrando, de esta manera que la tierra se caliente; estos gases aunque se encuentren a bajas concentraciones son considerablemente estables, de modo que permanecen un largo tiempo en la atmósfera [2].

El rol de estos gases es importante, ya que, se encargan de mantener la superficie de la tierra a una temperatura cálida en la cual se pueda desarrollar la vida; sin embargo, las altas concentraciones de dichos gases atrapan mayor cantidad de radiación infrarroja con ello aumentan la temperatura del planeta, lo cual constituye uno de los principales factores que causan el calentamiento global.

Estos gases producen un “efecto invernadero” permitiendo que la energía radiante solar penetre a la superficie de la tierra y reabsorba la radiación infrarroja emanada desde la tierra. La emisión de estos gases ha ido incrementando en las últimas décadas por la actividad humana, lo cual conlleva a consecuencias tales como el aumento de la temperatura media del planeta, sequías e inundaciones, deshielo de los casquetes polares, olas de calor.

En la Figura 1.2. se esquematiza la contribución de las distintas actividades antropogénicas hacia el efecto invernadero. Se muestra que la mayor contribución viene dada por la combustión de los combustibles fósiles (57%), viene seguida por las actividades agrícolas (23%) que está asociada principalmente a la deforestación y al cambio de vegetación. La emisión de clorofluorocarbonos (CFC) representa una contribución no despreciable (17%) y el resto corresponde a los procesos industriales (3%) [23].

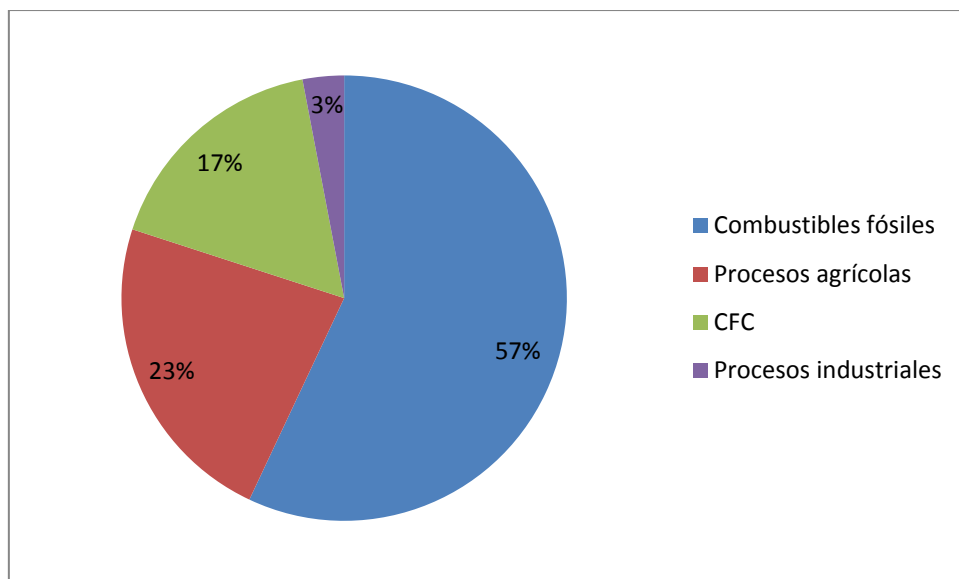


Figura 1.2. Contribuciones a la atmósfera de gases de efecto invernadero [23]

1.2. ACTIVIDAD QUÍMICA EN LA TROPÓSFERA

La actividad química en la tropósfera es muy agitada ya que en esta región se vierten todos los contaminantes provenientes de los procesos naturales y antropogénicos de la superficie de la tierra generándose una serie de reacciones químicas en cadena, las cuales permiten establecer que dichas reacciones sean de carácter sinérgico.

El ozono troposférico se disocia fotoquímicamente por absorción de la luz solar de longitud de onda inferior a 325nm, mediante este proceso se tiene un átomo de oxígeno excitado ($O \cdot$) y oxígeno molecular (O_2) como se muestra en la siguiente ecuación.



El oxígeno atómico ($O\cdot$) es una especie reactiva que genera la disociación de la molécula de agua obteniendo radicales hidroxilo ($OH\cdot$)



El oxígeno excitado se combina con el oxígeno molecular para generar nuevamente ozono, como se observa a continuación

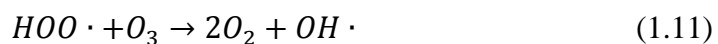
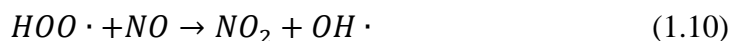


La presencia de los radicales hidroxilo ($OH\cdot$) en la tropósfera es de gran importancia ya que son protagonistas de las reacciones químicas desarrolladas en esta región. Los radicales hidroxilo son especies muy reactivas que producen la degradación de la gran mayoría de los contaminantes que son emitidos desde la superficie terrestre formando parte de un mecanismo autodepurador. Sin embargo, la emisión desmesurada de contaminantes oxidables a elevadas concentraciones constituye un limitante a la capacidad autodepuradora de la atmósfera, disminuyendo los niveles de radicales hidroxilo ($OH\cdot$). La principal fuente de radicales hidroxilo ($OH\cdot$) proviene del ozono estratosférico, el mismo que se introduce en la tropósfera generando el ozono troposférico.

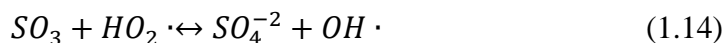
Los radicales hidroxilo generan reacciones químicas de oxidación con el monóxido de carbono (CO) de la atmósfera generando dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno atómico ($H\cdot$), como se muestra en la ecuación 1.8



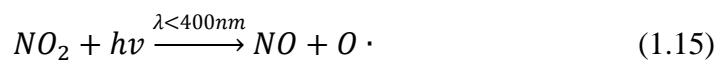
El hidrógeno atómico es también una especie reactiva que al reaccionar con el oxígeno molecular produce los radicales hidroperoxilo ($HOO \cdot$), los cuales son otra fuente de producción de los radicales hidroxilo ya sea en presencia de óxido nítrico (NO) u ozono (O_3).



El radical hidroxilo también forma parte de la oxidación fotoquímica del dióxido de azufre (SO_2), donde el dióxido de azufre en presencia del radical hidroxilo forma trióxido de azufre (SO_3) el cual al combinarse con el radical hidroperoxilo reestablece el radical hidroxilo y libera el radical sulfato (SO_4^{-2}).



Otro proceso que tiene lugar en la tropósfera es la fotodisociación del dióxido de nitrógeno (NO_2) a longitudes de onda inferiores a 400 nanómetros obteniendo óxido nítrico (NO) y oxígeno atómico ($O \cdot$).



El óxido nítrico es un intermediario en la producción de dióxido de nitrógeno con la influencia de radicales hidropoxilo, como se destaca anteriormente en la ecuación 1.10, además la presencia de ozono genera una alta conversión de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno como se puede apreciar en la siguiente ecuación.



1.3. ASPECTOS METEOROLÓGICOS

Las condiciones meteorológicas tales como temperatura, presión atmosférica, humedad, radiación solar incidente y el viento brindan una idea clara acerca del proceso de contaminación atmosférica ya que éstas son responsables del transporte y de los procesos de transformación de los contaminantes.

El gradiente negativo de temperatura característico de la tropósfera es el causante de los movimientos verticales y horizontales de las masas de aire en esta región, que van variando acorde a la exposición solar sobre la superficie terrestre en el día y el calor irradiado durante la noche. Durante los meses de altas temperaturas se produce un desplazamiento vertical que dispersa los contaminantes, pues el aire superficial se calienta y se expande hacia arriba mientras que el aire frío desciende por ser más pesado. Sin embargo, en los meses de invierno el aire superficial es más frío que el superior lo cual no permite una circulación de aire quedándose los contaminantes estancados a nivel de la tropósfera [3].

El viento favorece la difusión de los contaminantes pues los dispersa en la atmósfera en función de la presión y la temperatura, ya que el movimiento del aire se genera por diferencias de presión atmosférica atribuidas a diferencias de temperatura debido a una desigual distribución de la radiación solar. El efecto que genera el viento depende de las irregularidades que presenta la topografía de la ciudad, así a baja velocidad del viento implica altas concentraciones de los contaminantes y por el contrario una mayor velocidad del viento permite una mejor dispersión de los contaminantes.

La humedad atmosférica constituye el vapor de agua presente en la atmósfera que genera fenómenos meteorológicos como la neblina, la lluvia, el rocío, las nubes. Al contrario del viento, la humedad relativa actúa de manera negativa en cuanto a la evolución de los contaminantes favoreciendo la acumulación de polvo y gases. Las gotas de vapor de agua son la matriz de reacciones químicas entre partículas y gases contaminantes, así como también en la formación de contaminantes secundarios. Cuando el nivel de humedad es alto se produce neblina; la presencia de las nieblas hace que se modifiquen las características que posee la atmósfera como lo son la visibilidad y el grado de incidencia de la radiación solar, por tanto en episodios de neblina la contaminación atmosférica se ve en aumento, esto ocurre principalmente en épocas de invierno pues en verano al aumentar la temperatura la neblina puede ser disipada.

La ubicación geográfica del DMQ hace que los rayos solares incidan perpendicularmente, generando que los niveles de radiación solar que recibe sean altos; acorde a la Red de Monitoreo de la Calidad del aire de Quito el 66% de los días del año 2010 se registró valores de índice ultravioleta (IUV) promedio mayores a 11 IUV y el porcentaje restante alcanza

radiaciones de 16 IUUV, de modo que se supera los valores considerados como máximos tolerables para la exposición humana acorde a la Organización Mundial de la Salud y la Organización Meteorológica Mundial (11 IUUV). Esto genera el incremento de temperatura del aire acelerando la iniciación de procesos químicos y formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos, lo cual implica un desequilibrio de la química atmosférica.

1.4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE QUITO

La contaminación en la ciudad de Quito está directamente relacionada con el crecimiento del parque automotor y sus condiciones tanto meteorológicas como geográficas que significan fuentes críticas de contaminación.

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) al encontrarse a una altura de 2810 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) posee una de las condiciones más limitantes para los procesos de combustión que son, generalmente, los que mayores contaminantes atmosféricos generan, así al presentar un 27% menos de oxígeno en relación del nivel del mar da paso a combustiones incompletas, cuya eficiencia no es la adecuada generando de este modo mayor emisión de contaminantes, además su situación ecuatorial al encontrarse ubicado en la mitad del mundo (latitud 0°0'0'') provoca altos registros de radiación solar casi todos los días del año, factor que dinamiza y facilita la formación de los contaminantes fotoquímicos.

La ciudad se encuentra expandida longitudinalmente con 5Km de ancho y 60Km de largo rodeada de montañas de la cordillera occidental (Pululahua, Pichincha y Atacazo); su

topografía accidentada contribuye a la contaminación atmosférica ya que impide una adecuada ventilación y circulación del viento. Por otro lado, las rutas vehiculares complicadas constituyen otra causa de generación de contaminantes por el esfuerzo que deben realizar los vehículos [12].

El desarrollo industrial y comercial del Distrito Metropolitano de Quito ha ido creciendo con carencia de políticas ambientalmente adecuadas y de asentamiento fabril, circunstancias que han originado la existencia simultánea de sectores industriales, sectores residenciales y comerciales. Dicho crecimiento implica un gran aporte social, sin embargo, significa una acelerada presión sobre el medio ambiente como destino de las emisiones de todos los procesos producto de las actividades humanas.

Las fuentes móviles constituyen las principales fuentes de emisión de contaminantes de la ciudad, hacia las cuales está enfocado este estudio, pues aportan el 80% de la contaminación ambiental. La combustión de la gasolina y diesel en los motores de los vehículos produce los productos de una combustión incompleta de los hidrocarburos obteniéndose monóxido de carbono, hollín, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, hidrocarburos no quemados y agua.

Las emisiones de los vehículos dependen de ciertos factores relacionados con la combustión del combustible en el motor entre los que se destaca el tipo y calidad del combustible utilizado, relación aire-combustible, sistema de suministro del combustible, tiempo de encendido, temperatura de combustión, tratamiento de los gases de escape [2].

La fuente potencial de emisión de los gases de combustión es el tubo de escape, sin embargo, existe emisiones evaporativas que se suscitan en el tanque de combustible, caja de cambios y carburador, tal como se puede observar a continuación en la Figura 1.3.

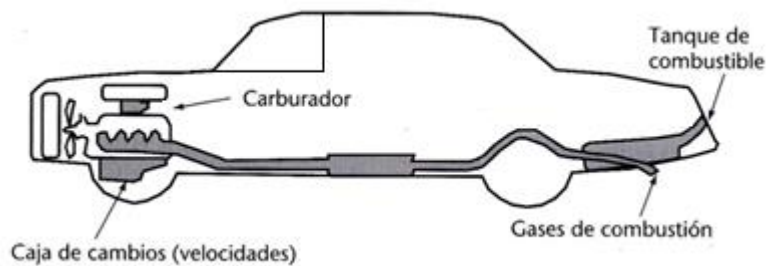


Figura 1.3. Fuentes potenciales de emisión de contaminantes de un automóvil [2].

La flota vehicular del DMQ va incrementándose con el paso de los años, así pues se registraron 272 763 vehículos en el año 2007, dicha cifra aumentó a 331 989 vehículos hacia diciembre del 2010 incluyendo vehículos livianos, motos, taxis, furgonetas, vehículos de carga, buses públicos, escolares, particulares y de turismo, en el 2011 se han incrementado otros 50 000 vehículos alcanzando 381 989 vehículos, lo cual ha generado un aumento del 18% en 4 años. En la Tabla 1.1. se detalla el número de vehículos totales del DMQ acorde a los últimos años.

Tabla 1.1. Cifras del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito desde el año 2007 al 2011 [29]

AÑO	Vehículos Totales
2007	272 763
2008	294 902
2009	296 097
2010	331 989
2011	381 989

De la flota vehicular, el 48% del combustible que consumen las fuentes móviles corresponde a la gasolina extra, el 34% a diesel premium (contenido de azufre menor a 500ppm) y el 18% a gasolina súper. El consumo de combustible por parte de las fuentes móviles se detalla en la Figura 1.4 [29].

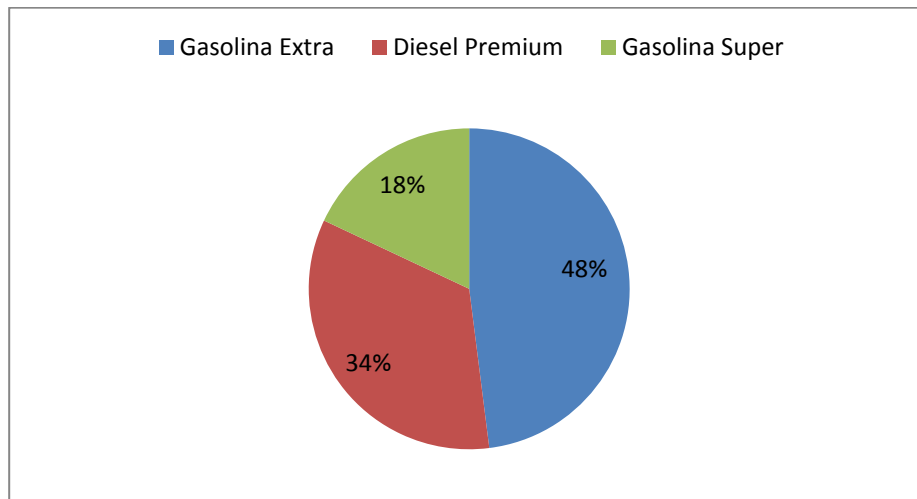


Figura 1.4. Porcentaje del consumo anual de combustible por parte de las fuentes móviles del DMQ [1]

De acuerdo al Informe Anual 2010 de la Calidad del Aire en Quito realizado por la Corpaire, el parque vehicular es el responsable de cerca del 98% de las emisiones de CO, 52,3% de NOx, 45,6% de PM_{2,5} y 12% de SO₂ [21].

En la siguiente figura se puede apreciar las emisiones generadas por las fuentes móviles dentro del Distrito Metropolitano de Quito, por tipo de vehículo y contaminante, donde se observa que las emisiones de CO son las que predominan.

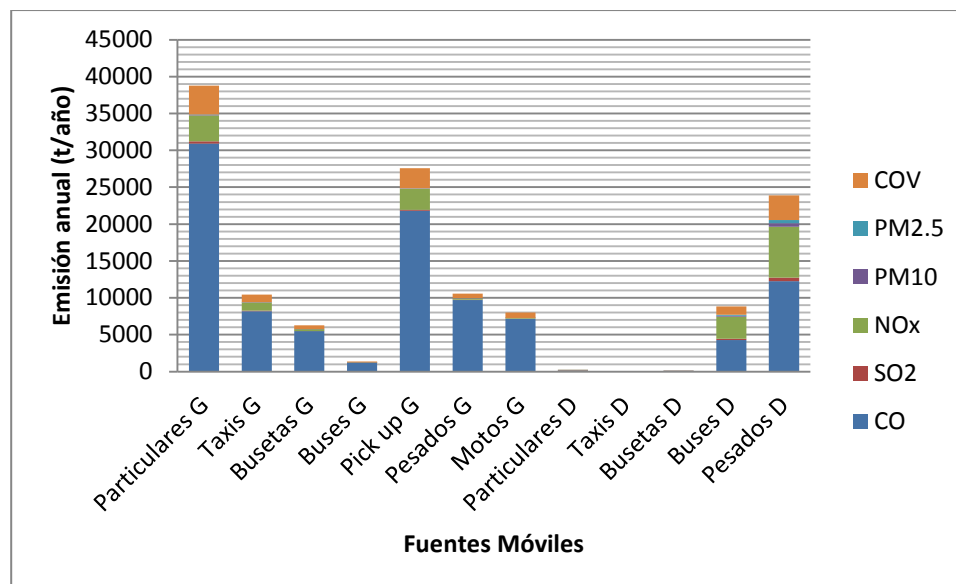


Figura 1.5. Emisiones generadas por las fuentes móviles a gasolina y diesel, DMQ (t/año) [1]

En el Anexo A puede visualizar las cifras porcentuales de las emisiones generadas por el parque vehicular del DMQ, por tipo de vehículo y contaminante.

El crecimiento del 18% del parque automotor desde el 2007 hasta el 2011 ha dado lugar a la inducción de los convertidores catalíticos en los automóviles, con el fin de reducir la emisión de dichos contaminantes, sin embargo, el 40% de los vehículos que circulan en Quito no han acatado la disposición y no cuentan con un convertidor catalítico implicando un deterioro de la calidad del aire [12].

El convertidor catalítico es un reactor cuya finalidad es reducir las emisiones dañinas del escape de los vehículos de combustión interna, para ello, cataliza el paso de monóxido de

carbono, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno a dióxido de carbono, nitrógeno molecular y vapor de agua.

Además de las fuentes móviles, tanto las fuentes fijas y de área contribuyen, por medio de sus emisiones a la contaminación atmosférica, lo cual puede constatarse con mayor claridad en la Tabla 1.2 donde se muestran los porcentajes de emisión de los contaminantes primarios correspondientes a cada una sus fuentes dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 1.2. Emisiones anuales del Distrito Metropolitano de Quito, 2010 [21]

Contaminante	CO(%)	SO₂(%)	NO_x(%)	PM₁₀(%)	PM_{2.5}(%)
Fuente					
Móviles	97,8	14,5	53,8	26,4	46,0
Fijas	1,6	85,4	44,5	20,8	22,8
De área	0,6	0,0	1,7	52,8	31,1
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1.5. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire es un calificativo del aire ambiente que depende de la presencia de contaminantes, es decir de sustancias ajenas a su composición natural que generan efectos adversos para la salud de los seres humanos, animales, plantas y materiales [12].

El monitoreo de la calidad del aire según la Organización Mundial de la Salud (OMS) constituye el proceso programado de colecta de muestras, análisis y proceso en forma continua

de los contaminantes presentes en el aire, en un lugar determinado durante un tiempo fijo para evaluar la conformidad de los objetivos propuestos, de modo que proporcione datos confiables que permitan representar la situación real de la contaminación en un lugar determinado [24].

El monitoreo de la calidad del aire puede desarrollarse acorde a las siguientes técnicas de monitoreo:

- Analizadores o monitores automáticos
- Muestreadores pasivos
- Muestreadores activos
- Sensores remotos
- Bioindicadores

En el Anexo B se encuentra una tabla comparativa de las distintas técnicas de análisis. Por su parte, el presente estudio se lleva a cabo utilizando un analizador automático. Los analizadores automáticos son equipos que determinan la concentración de contaminantes gaseosos en tiempo real, sin requerir de un análisis posterior de la muestra en el laboratorio. Al proporcionar continuamente datos de los contaminantes en estudio se puede tomar acciones inmediatas ante la ocurrencia de un evento de contaminación crítica.

Frente a las otras técnicas de monitoreo, los analizadores automáticos presentan ventajas, tales como un alto funcionamiento, datos en tiempo real, medición continua e instantánea, almacenamiento automático de datos, bajos costos directos y sencillo manejo; además, presentan una serie de prestaciones como el monitoreo de la contaminación del tráfico,

mediciones de la calidad del aire urbano, mediciones en perímetros de industrias, análisis de tendencias y monitoreo de puntos críticos.

1.6. NORMA DE CALIDAD DE AIRE ECUATORIANA (NCAA)

El aire limpio es un requisito básico para preservar la salud de las personas y la calidad del aire, lamentablemente la contaminación sigue representando una gran amenaza en todo el mundo, es por ello que la OMS establece que cada país debe poner a consideración normas de calidad del aire en función de la salud pública de los ciudadanos. Tomando en cuenta este criterio, la referencia nacional obligatoria para evaluar el estado de la contaminación atmosférica ha constituido la Norma de Calidad del Aire Ambiente, publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4), vigente desde marzo del 2003 [21].

Esta norma técnica es de aplicación obligatoria con el fin de evaluar el estado de la contaminación atmosférica. Su principal objetivo es preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general; para poder alcanzar lo ya mencionado, la Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana ha establecido límites máximos permisibles de los contaminantes del aire ambiente, así como también, los métodos y procedimientos que permiten conocer su determinación y cuantificación.

El alcance de la norma ecuatoriana está dirigida a los contaminantes comunes tales como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), oxidantes

fotoquímicos expresados como ozono (O_3), material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM_{10}) y menor a 2.5 micrones ($PM_{2.5}$) y partículas sedimentables.

1.7. MEDIDA DE RESTRICCIÓN VEHICULAR ‘PICO Y PLACA’

La ciudad de Quito ha experimentado un gran crecimiento automotor del 18% desde el año 2007, lo cual ha generado desorden y congestiones de tránsito principalmente en las horas pico provocando descontento e inconformidad de todos quienes circulan por las calles de la ciudad.

Es por ello que en la ciudad de Quito, a partir del 3 de mayo del 2010, se inició la medida de restricción vehicular denominada “Pico y Placa”, la cual se basa en la prohibición de la circulación de ciertos vehículos por un área definida de Quito, como se indica en la Figura 1.6.; la medida entra en vigencia en la mañana de 07h00 a 09h30, en la tarde y noche de 16h00 a 19h30 de los días laborales. Cada vehículo tiene restricción de circular un día a la semana y únicamente por seis horas de acuerdo al último dígito de su placa. Todos los autos pueden circular sin restricción durante los fines de semana y días feriados.

Esta medida se aplica a todos los vehículos particulares y oficiales tales como automóviles, camionetas, todoterrenos, incluyendo también motocicletas. Los vehículos exentos a esta medida son los buses, taxis, vehículos de seguridad pública, servicios de emergencia y vehículos conducidos por personas con discapacidades.

El objetivo de dicha medida es alivianar la congestión vehicular producida en horas pico, que pretende facilitar la circulación de los usuarios a sus diferentes destinos en un menor período de tiempo; además el “Pico y Placa” supone que disminuye la concentración de los contaminantes emitidos por fuentes móviles refiriéndose a las emisiones de gases y partículas, que representan un gran porcentaje de la contaminación del aire en la ciudad durante las horas correspondientes a la aplicación de dicha medida, motivando a los ciudadanos a la adopción de nuevos patrones de movilidad, creando conciencia y responsabilidad en cuanto al tema del transporte y sus impactos hacia el medio ambiente.

El “Pico y Placa” afecta a 79 118 vehículos cada día (excepto Sábado y Domingo). Sin embargo, existe factores que no permiten que se de una disminución del tráfico vehicular acorde a lo esperado debido a la adquisición de más vehículos por familia, muchos propietarios de los vehículos han optado por salir hacia sus destinos con anticipación a las horas de restricción, además ha existido un alto número de conductores que han infringido la medida de restricción, así desde mayo a diciembre del 2010 se registraron 33297 infractores, y desde enero a mayo del 2011 disminuyó la cifra a 17593 infractores [29].

A continuación, en la Figura 1.6., se muestra el área de Quito en la que se aplica el “Pico y Placa”.

Zona de aplicación del Pico y Placa



Figura 1.6. Área de Quito en la que se aplica el Pico y Placa [14]

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo en el estudio de la emisión de gases y material particulado de las fuentes móviles en el aire de Quito durante la ejecución del Pico y Placa implica la realización de un monitoreo de la calidad del aire mediante un analizador automático como lo es el equipo AQM60.

El analizador automático AQM60 cuenta con tres sistemas internos: sistema GSS, sistema electrónico y sistema neumático.

El sistema GSS pone en práctica el método de medición del analizador automático.

El monitor automático AQM60 posee una tecnología GSS (Gas Sensitivo Semiconductor), la cual es una combinación de técnicas de medición inteligente, donde los sensores semiconductores de óxido de metal presentan un cambio en su resistencia eléctrica bajo la presencia de un gas específico [15]. El cambio de resistencia es causado por la pérdida o ganancia de electrones como resultado de la reacción entre el oxígeno absorbido y el gas en estudio. Los sensores de gas se componen de un substrato de alúmina cuyas dimensiones son

de 2x2 mm, sobre el cual se encuentra el electrodo recubierto de oro y una capa sensora como se muestra en la Figura 2.1.

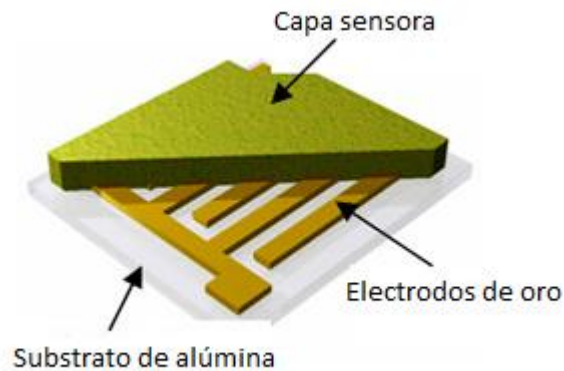


Figura 2.1. Sensor con tecnología GSS [15]

El sistema electrónico posee el software de operación, controla el funcionamiento del analizador y además, realiza de modo automático los cálculos para reportar los resultados.

El monitor de la calidad del aire Aeroqual AQM60 cuenta con cinco módulos de sensores de gas (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , CO_2) que se encuentran localizados dentro del monitor, así como también, sensores de temperatura y humedad relativa; externamente se conecta un dispositivo denominado ciclón que mide el material particulado. El funcionamiento de cada sensor es controlado mediante el software de operación del equipo. A continuación, en la Figura 2.2. se muestra una ilustración del equipo AQM60.

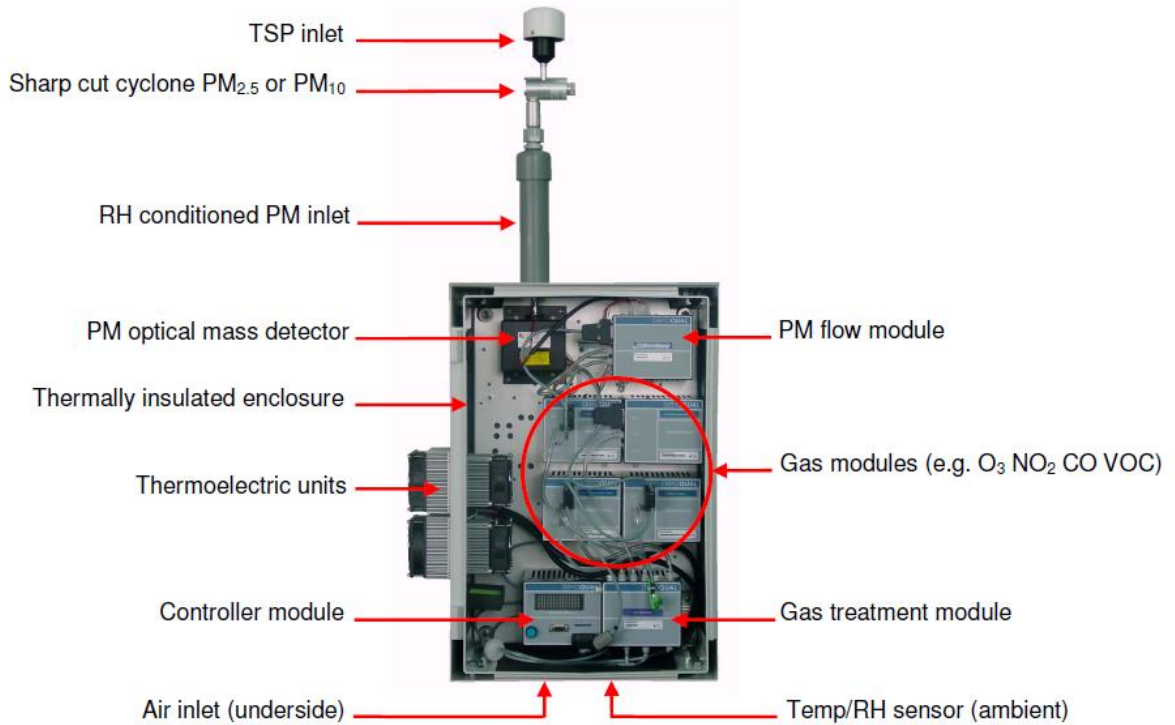


Figura 2.2. Ilustración del monitor AQM60 [16]

El sistema neumático del equipo AQM60 presenta bombas de succión, conexiones y tuberías por donde circula la muestra del gas.

La muestra de aire ambiente ingresa al equipo atravesando un filtro de 5 μ m situado en la entrada de aire, a continuación el flujo de aire se dirige a un módulo de tratamiento de gas, por medio de líneas de FEP teflón, donde la muestra de aire puede ser inmediatamente distribuida hacia los módulos sensores de cada gas para que se realice las mediciones de sus concentraciones, o puede pasar por un depurador localizado dentro del módulo de tratamiento de gas con la finalidad de eliminar cualquier tipo de impurezas y contaminantes de la muestra de aire para encerrar la línea base. En la Figura 2.3. se observa una representación del sistema neumático del equipo AQM60 [16].

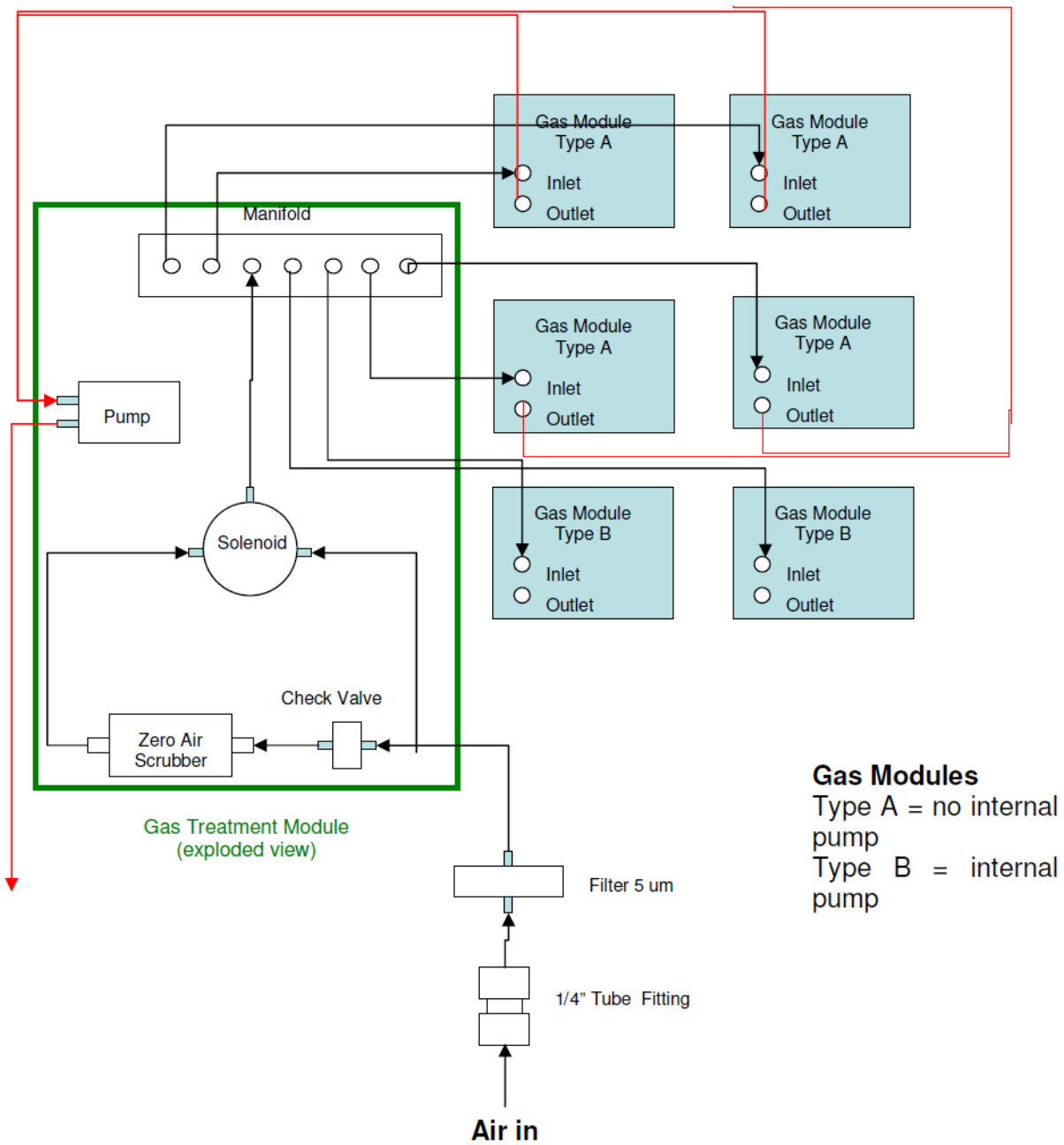


Figura 2.3. Sistema neumático del equipo AQM60 [16]

El flujo de entrada de aire a cada uno de los módulos de los sensores de gas va a depender del número de módulos de sensores que el equipo posea, éste puede presentar máximo hasta seis módulos de sensores. Los sensores de O₃ y NO₂ presentan distintos flujos en el equipo ya que poseen cada uno una bomba, mientras que los sensores de CO y SO₂ al emplear una misma bomba presentan un flujo similar. Los datos de los rangos de flujo para cada gas se presentan a continuación en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Rangos de flujo de entrada de aire a los módulos de los sensores [16]

Sensor	Rangos de flujo de entrada (L/min)
O ₃	0,10-0,15
NO ₂	0,06-0,07
CO	0,05-0,25
SO ₂	0,05-0,25

Los valores de rango, precisión, resolución en que trabajan los módulos de cada gas son detallados en la Tabla 2.2. Se debe mencionar que dichos valores son determinados para cada gas acorde a las especificaciones del fabricante.

En la siguiente tabla se establecen las especificaciones de los módulos de los sensores del monitor de la calidad del aire AQM60.

Tabla 2.2. Especificaciones de los módulos de los sensores [16]

Sensor	Rango	Precisión	Resolución
O ₃	0,001-0,150ppm	0,002ppm	0,001ppm
NO ₂	0,001-0,200ppm	0,005ppm	0,001ppm
CO	0,5-100ppm	1ppm	0,5ppm
SO ₂	0,2-10ppm	0,2ppm	0,01ppm
Monitor de partículas	Rango	Precisión	Resolución
PM _{2.5}	0-2000µg/m ³	3µg/m ³	1µg/m ³
Sensor de Temperatura	Rango	Exactitud	Resolución
Temperatura	-20°C - 100°C	±0,3°C	0,01°C
Sensor de humedad relativa	Rango	Exactitud	Resolución
Humedad relativa	0-100%	±2%	0,1%

El monitor AQM60 constituye una estación robusta ideal para muestreos semifijos, cuyo costo es más asequible comparado a una estación fija convencional de monitoreo de calidad del aire como la perteneciente a la REMMAQ, además se puede destacar que el monitor AQM60 es una herramienta extremadamente útil, confiable y precisa; su fácil instalación, puesta a punto y operación permiten llevar a cabo estudios de investigación así como análisis de tendencias y monitoreo de puntos críticos en distintos lugares.

2.2 MUESTREO

2.2.1. Área de estudio

El Municipio de Quito, a través de estudios realizados, establece que cualquier punto dentro del hipercentro de Quito es considerado como un punto crítico, por tanto, válido y representativo para monitorear la calidad de aire. El hipercentro es la zona de la ciudad en la cual los índices de concentración de población y actividad económica son intensos; los límites del hipercentro en la ciudad de Quito se establecen entre El Inca al norte y la Villaflora al sur de la ciudad, incluyendo al Centro Histórico [26]. De acuerdo a lo establecido, se procedió a ubicar al equipo de monitoreo AQM60 en un punto localizado dentro del hipercentro de Quito como lo es en la Avenida 12 de Octubre y Patria; se tomó en cuenta criterios referentes a la seguridad, accesibilidad e infraestructura del lugar donde se colocó al equipo y se realizó un conteo volumétrico manual del tráfico vehicular, de este modo se conoce la gran influencia de todo tipo vehículos que sufre este sector tales como vehículos livianos, pesados y buses, los cuales circulan a lo largo de la Av. 12 de Octubre y Patria, y las calles aledañas Diego Ladrón de Guevara, calle Queseras del Medio las cuales están directamente enlazadas con el sitio de muestreo (Anexo H).

El muestreo se lleva a cabo durante un mes, período en el cual se obtiene valores continuos de concentración de los contaminantes cada dos minutos, descartando los datos correspondientes a los fines de semana (sábado y domingo), ya que, allí no rige el “Pico y Placa”. Con esto, se pretende obtener un perfil de emisiones mensuales y horarias para cada uno de los

contaminantes, que ayudan a determinar la situación real de la calidad del aire en la ciudad de Quito.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se detallan los materiales que fueron empleados para el desarrollo de este estudio.

2.3.1. Equipos

- Equipo de monitoreo de la calidad del aire marca Aeroqual, modelo AQM60 posee:
 - Cinco módulos de gases (CO, CO₂, O₃, NO₂, SO₂)
 - Sensores de temperatura y humedad relativa
- Generador de aire cero, marca API, modelo 701
- Multicalibrador Primario, marca API, modelo 700E
- Tanque multigas, protocolo EPA
- Monitor de partículas PM_{2.5}, marca MetOne

2.3.2. Materiales

- Fittings de teflón
- Tubing de teflón (manguera de ¼ in)
- Cámara de acrílico inerte
- Nafión
- Trípode Telescópico de acero inoxidable

2.4. PROCEDIMIENTO

Para que el equipo AQM60 proceda a registrar los datos de concentración de los distintos contaminantes y datos meteorológicos se debe realizar primeramente un ajuste de la línea base; ello implica que el equipo AQM60 se encuentre encendido por lo menos 24 horas previas a su ajuste para alcanzar estabilización, luego se conecta a la fuente de aire cero mediante líneas de teflón, y a su vez a una computadora como se muestra en la Figura 2.4.

El aire proveniente del generador de aire cero es seco y posee 0% de humedad relativa, por ello debe ser conectado a una cámara de humidificación, la cual debe contener agua, en la cual debe parcialmente sumergirse una membrana denominada nafión; la función de esta membrana es la de humedecer al gas que ingresa al equipo, ya que el aire proveniente del generador es seco y los sensores requieren mínimo 50% de humedad relativa para un mejor rendimiento, ya que la técnica GSS que se emplea para realizar la medición lo requiere, según la cual con aire seco no se alcanzan las condiciones para que la técnica funcione pues se debe conseguir una calibración punto cero bajo las mismas condiciones de operación (humedad en

el aire ambiente) para optimizar el proceso, una vez realizadas las conexiones necesarias se enciende el generador.

A través de un software instalado en la computadora se toma control del equipo; se escoge la opción Zero scrubber (depurador) del menú principal con lo cual se constata que la concentración de los gases van disminuyendo hasta decaer a valores bajos constantes. Se apaga al Zero scrubber del menú principal con lo cual el equipo muestrea únicamente el aire cero del generador de aire; estos datos deben reportarse iguales a los valores constantes obtenidos con el scrubber prendido, caso contrario es un indicador del mal funcionamiento del scrubber.

Una vez corroborado que los datos para cada sensor de gas cumplen con las lecturas de cero sugeridas acorde a los datos proporcionados por el fabricante se procede a ajustar la línea base mediante la opción Zero Cal. El tiempo que demora la calibración punto cero es de 20 minutos.

Una vez llevado a cabo la calibración punto cero, se procede a realizar la calibración punto span, para ello se emplea un tanque de calibración que va conectado al multicalibrador, a la cámara de humidificación y finalmente al equipo AQM60 por medio de una conexión T, la cual asegura que el equipo esté muestreando el flujo de gas a la presión atmosférica. Con el multicalibrador se generan concentraciones conocidas de cada gas que son las sugeridas por el fabricante (ver Tabla 3.2), para las cuales se debe verificar la respuesta que emite cada sensor del equipo AQM60. Finalmente, se retira la línea de teflón del puerto de muestreo del equipo AQM60 para que de esta manera pueda muestrearse aire ambiente.

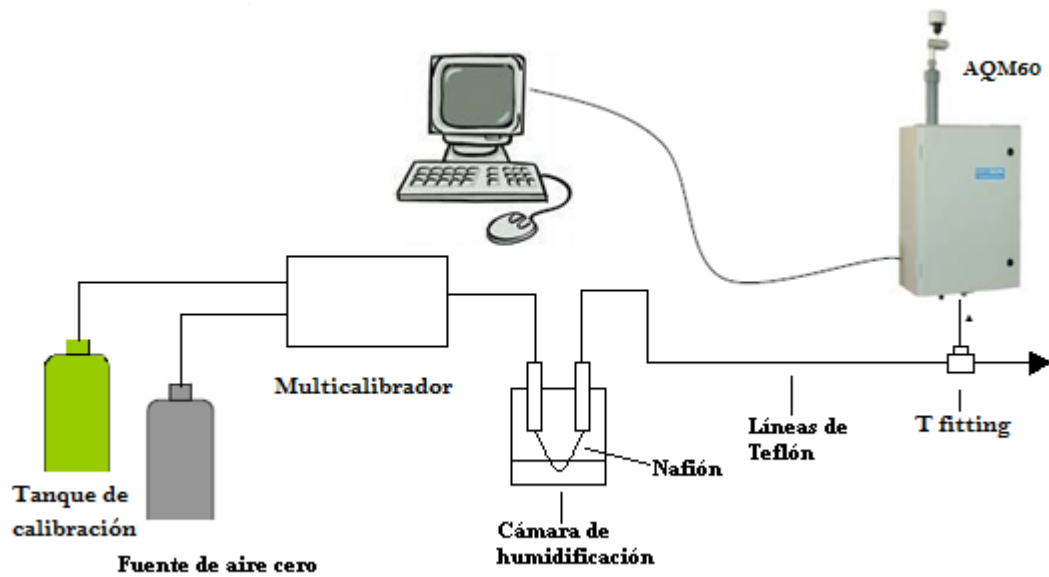


Figura 2.4. Esquema del equipo AQM60 para la calibración punto cero y punto span

2.5. CÁLCULOS

- Media aritmética

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

Donde,

C_n : Concentración media del contaminante (ppm)

C_i : Concentración de medida en 2 minutos (ppm)

n : Número de datos obtenidos

- Corrección de las concentraciones medidas a condiciones de referencia (298K y 1atm)

a) Cálculo de la densidad

$$\delta_{cont} = \frac{M \times P}{R \times T}$$

Donde,

δ_{cont} : Densidad del contaminante (g/L)

M : Peso molecular del contaminante

$$M_{CO} = 28 \text{ g/mol}$$

$$M_{SO_2} = 64 \text{ g/mol}$$

$$M_{NO_2} = 46 \text{ g/mol}$$

$$M_{O_3} = 48 \text{ g/mol}$$

P : Presión a condiciones de referencia (1atm)

R : Constante universal de los gases (0,082atm L/mol K)

T : Temperatura a condiciones de referencia (298K)

b) Corrección de la concentración medida

$$C_{CN} = C_n \times \delta_{cont}$$

Donde,

C_{CN} : Concentración del contaminante (mg/m³) a condiciones de referencia

C_n : Concentración media del contaminante (ppm)

δ_{cont} : Densidad del contaminante (g/L)

$$C_{CN} = C_n \times \delta_{cont} \times 1000$$

Donde,

C_{CN} : Concentración del contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a condiciones de referencia

C_n : Concentración media del contaminante (ppm)

δ_{cont} : Densidad del contaminante (g/L)

En el Anexo D se encuentran desarrollados los cálculos presentados anteriormente en esta sección.

- Procesamiento de datos

Para procesar todas las concentraciones de los contaminantes, resultado del monitoreo de calidad del aire que se comparan con la Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana (NCAA), se procede a tratar los datos según lo indicado en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Procesamiento de datos obtenidos por el equipo AQM60

Período de medición establecido en la NCAA	Procesamiento para datos AQM60
Concentración máxima en 1 hora	Promedio aritmético de las concentraciones de 2 minutos de la hora correspondiente. Se selecciona el mayor promedio aritmético.
Concentración en 8 horas consecutivas	Se utilizan los promedios aritméticos horarios. Para cada día existen 24 concentraciones divididas en 8 horas. Se selecciona el mayor promedio de cada día.
Concentración promedio en 24 horas	Se utilizan las concentraciones horarias de las respectivas 24 horas. Para cada día existe una concentración promedio.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo muestra como resultado el análisis de las emisiones de gases y material particulado de las fuentes móviles de Quito durante la medida de restricción vehicular “Pico y Placa” llevadas a cabo mediante el monitoreo de la calidad del aire a través de la tecnología Aeroqual, cuyos resultados obtenidos son comparados con los datos proporcionados por la estación automática de Belisario perteneciente a la REMMAQ. Este análisis permite conocer el comportamiento de los contaminantes en la ciudad, y fundamentalmente, tener datos concretos para determinar con certeza si el “Pico y Placa” está generando cambios positivos en cuanto a la disminución de la contaminación. A continuación se detallan los resultados de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y material particulado.

3.1. COMPARACIÓN DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL MONITOR AQM60 FRENTE A LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE BELISARIO DE LA REMMAQ

El monitor AQM60 fue trasladado a la estación automática de la REMMAQ ubicada en Belisario con el fin de contrastar sus datos obtenidos con los de la Estación Belisario la cual constituye su fuente de referencia por ser parte de la red automática de Quito que se encuentra

referenciada por la US EPA. La tecnología de Aeroqual es carente de un método de referencia propio, aprobado por la US EPA, ya que, éste constituye una técnica de medición nueva, y en la actualidad se están realizando los estudios para ser referenciado.

Para proceder a la comparación del equipo AQM60 con la Estación Belisario, se realizó primeramente una calibración punto cero (ajuste de la línea base) y una calibración punto span de los módulos de los sensores de CO, NO₂ y O₃. La calibración de estos módulos es indispensable, ya que, permite detectar y cuantificar imprecisiones y reportarlas o eliminarlas por medio de un ajuste, y obtener datos de calidad de aire exactos y reproducibles, lo cual conlleva a un desempeño satisfactorio del equipo [28].

Es imprescindible que el equipo presente 24 horas de funcionamiento continuo antes de su uso para que alcance estabilidad y se logre llevar a cabo su verificación y ajuste de la línea base, para ello se sigue el procedimiento descrito en el Capítulo II, el cual manifiesta que una vez generado el aire cero con el generador de aire la concentración de los gases deben disminuir hasta que permanezcan constantes dando una lectura de cero para proceder a ajustar la línea base. Los valores de línea base aceptables para cada módulo se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Lecturas aceptables de línea base para cada módulo de gas [16]

Sensor	Valor de cero aceptable (ppm)
CO	$0 \pm 0,500$
O ₃	$0 \pm 0,005$
NO ₂	$0 \pm 0,005$

La calibración de punto span se basa en la generación de concentraciones conocidas con el multicalibrador, para determinar la respuesta del sistema a una concentración predeterminada del contaminante bajo análisis [28]; en la Tabla 3.2. se puede observar los valores de span sugeridos por el fabricante.

Tabla 3.2. Puntos span sugeridos por el fabricante [16]

Gas	Punto span (ppm)
CO	25,00
O ₃	0,100
NO ₂	0,200

A continuación se detalla la calibración de cada uno de los sensores,

- Sensor CO

En la Tabla 3.3. se muestra los resultados obtenidos de la calibración punto cero y punto span del sensor de CO, donde se contempla que el error medio de la calibración punto cero calculado de la diferencia promedio entre los resultados individuales de las mediciones y el valor real es 0,148 ppm el mismo que se encuentra dentro del rango sugerido por el fabricante (Tabla 3.1). El error medio de la calibración punto span es de 0,411 ppm y se encuentra también dentro del rango sugerido (Tabla 3.2), cuyo error relativo es de 1,87%; por tanto su exactitud relativa es de 98,14%. En el Anexo C se encuentran las gráficas correspondientes a la calibración punto cero y punto span del sensor de CO.

Tabla 3.3. Resultados de los valores de cero y span obtenidos en la calibración del sensor de CO

Medición	Valor de cero obtenido AQM (ppm)	Concentración generada API 700E (ppm)	Respuesta del sensor luego de ajuste (ppm)
1	0,283	22,03	21,56
2	0,283	22,03	21,56
3	0,283	22,03	21,56
4	0,283	22,03	21,56
5	0,182	22,03	21,56
6	0,182	22,03	21,56
7	0,0811	22,03	21,56
8	0,0811	22,03	21,56
9	0,0811	22,03	21,75
10	0,0811	22,03	21,56
11	0,0811	22,03	21,56
12	0,0811	22,03	21,75
13	0,0811	22,03	21,75
14	0,0811	22,03	21,75
15	0,0811	22,03	21,75
Promedio	0,148	22,03	21,62
Nivel de confianza al 95%	0,148 ± 0,05%	Nivel de confianza al 95%	21,62 ± 0,05%
Desviación estándar	0,0908	Desviación estándar	0,0927
Coefficiente de variación	61,21%	Error medio	0,411
		Error relativo	1,866%
		Exactitud relativa	98,14%

Contrastación de datos AQM vs Estación Belisario

La contrastación del sensor de CO del equipo AQM60 y el equipo Thermo Environmental Instruments de la Estación Belisario se llevó a cabo por cinco días y los resultados de ello se

plasman en la gráfica de la Figura 3.1. El analizador de referencia obtiene los datos de concentración cada 10 minutos, a diferencia del monitor AQM60 cuya frecuencia de muestreo es cada 2 minutos, es por ello, que se realizó los respectivos promedios dentro de 10 minutos para el monitor AQM60, obteniéndose un coeficiente de correlación de 0,825 lo cual indica que las variables están correlacionadas entre sí al ser cercano al valor máximo que es 1.

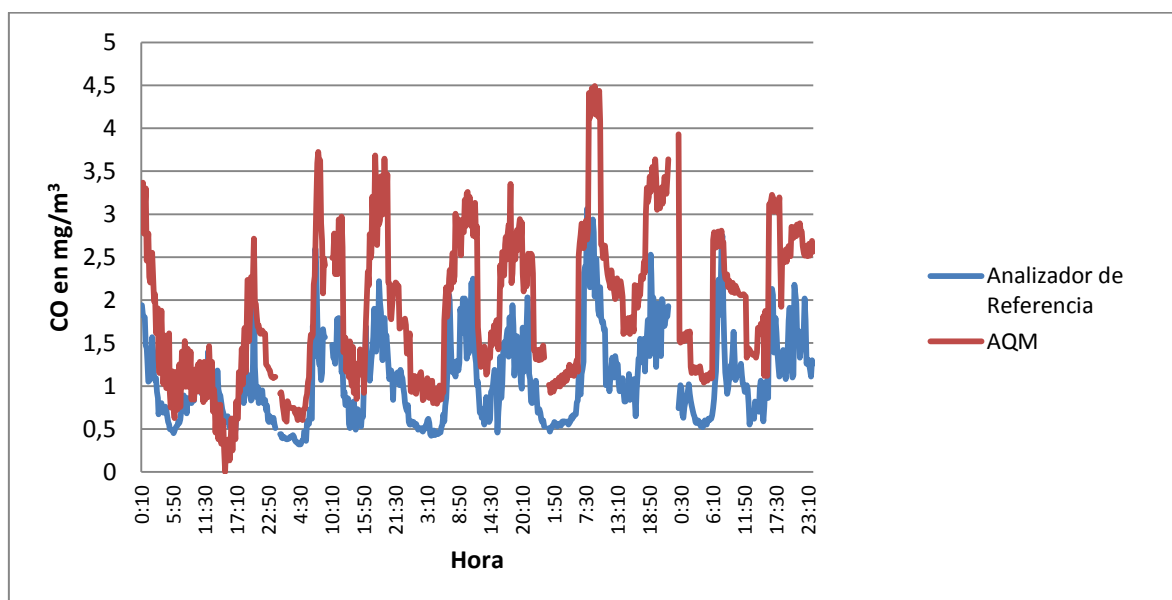


Figura 3.1. Gráfica de contrastación del sensor de CO AQM60 frente al analizador de referencia

· Sensor O₃

Los resultados obtenidos durante la calibración punto cero y punto span del sensor de O₃, acorde a la Tabla 3.4., muestran que el error medio de la calibración punto cero al ser de -0,005ppm se encuentra dentro del rango de cero aceptable para este módulo de gas, pues su rango es $\pm 0,005$ ppm. La respuesta del sensor de O₃ luego de la calibración span respectiva,

está dentro del rango especificado acorde a la Tabla 3.2., ya que, posee un error medio de 0,003ppm, y su error relativo expresado como porcentaje de valor real es de 3,33%; lo cual da a conocer el valor medido como porcentaje del valor verdadero, es decir, su exactitud relativa que es 96,67%.

Tabla 3.4. Resultados de los valores de Cero y Span obtenidos en la calibración del sensor de O₃

Medición	Valor de cero obtenido AQM (ppm)	Concentración generada API 700E (ppm)	Respuesta del sensor luego de ajuste (ppm)
1	-0,001	0,100	0,101
2	-0,008	0,100	0,102
3	-0,006	0,100	0,102
4	-0,006	0,100	0,103
5	-0,005	0,100	0,103
6	-0,008	0,100	0,103
7	-0,007	0,100	0,103
8	-0,008	0,100	0,104
9	-0,007	0,100	0,104
10	-0,006	0,100	0,104
11	-0,005	0,100	0,104
12	-0,005	0,100	0,105
13	-0,004	0,100	0,105
14	-0,001	0,100	0,105
15	-0,003	0,100	0,102
Promedio	-0,005	0,100	0,103
Nivel de confianza al 95%	0,005 ± 0,001%	Nivel de confianza al 95%	0,103 ± 0,001%
Desviación estándar	0,0023	Desviación estándar	0,0012
Coefficiente de variación	42,91%	Error medio	0,003
		Error relativo	3,33%
		Exactitud relativa	96,6%

Contrastación de datos AQM vs Estación Belisario

El sensor de O₃ del equipo AQM60 presenta una buena tendencia, una buena respuesta y por tanto un buen coeficiente de correlación, como se puede observar en la Figura 3.2. lo cual corrobora la correlación de Pearson que es de 0,988. Sin embargo, las concentraciones del analizador de referencia son menores a la del equipo AQM, lo cual determina que siempre se obtendrá valores con igual tendencia pero más altos que la estación de referencia. En el Anexo C se encuentran las gráficas de calibración punto cero y punto span para cada módulo de los sensores.

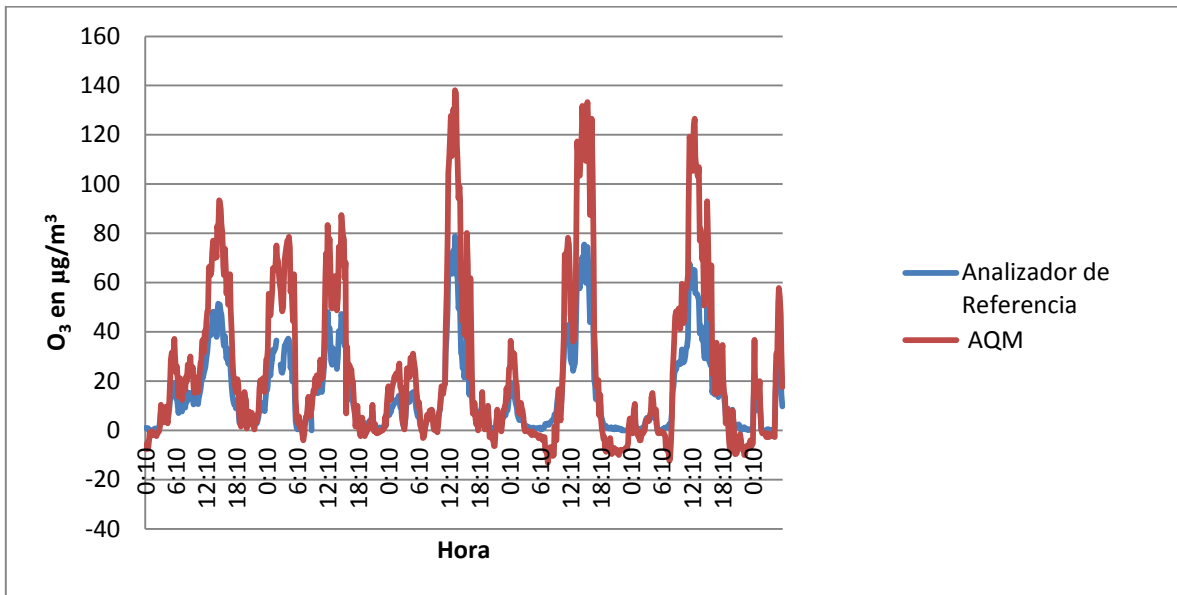


Figura 3.2. Gráfica de contrastación del sensor de O₃ AQM60 frente al analizador de referencia

- Sensor de NO₂

Al encerrar la línea base se obtuvo una desviación del cero de 0,001ppm valor que se encuentra dentro de las lecturas aceptables para el punto cero como se muestra en la Tabla 3.1, en cuanto a su calibración punto span se obtuvo una desviación del span de 0,198ppm, por tanto su error relativo es de 0,867% y su exactitud relativa es de 99,13%; estos valores se constatan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultados de los valores de Cero y Span obtenidos en la calibración del sensor de NO₂

Medición	Valor de cero obtenido AQM (ppm)	Concentración generada API 700E (ppm)	Respuesta del sensor luego de ajuste (ppm)
1	0,001	0,200	0,204
2	0,001	0,200	0,201
3	0,001	0,200	0,201
4	0,001	0,200	0,201
5	0,001	0,200	0,201
6	0,001	0,200	0,201
7	0,001	0,200	0,196
8	0,001	0,200	0,196
9	0,001	0,200	0,196
10	0,001	0,200	0,196
11	0,001	0,200	0,196
12	0,001	0,200	0,196
13	0,001	0,200	0,196
14	0,001	0,200	0,196
15	0,001	0,200	0,196
Promedio	0,001	0,200	0,198
Nivel de confianza al 95%	$0,001 \pm 2,49^{-19}$	Nivel de confianza al 95%	$0,198 \pm 0,002\%$
Desviación estándar	$4,49 \times 10^{-19}$	Desviación estándar	0,003
Coficiente de variación	$4,49 \times 10^{-14}$	Error medio	0,002
		Error relativo	0,867%
		Exactitud relativa	99,13%

Contrastación de datos AQM vs Estación Belisario

Al contrastar el sensor de NO₂ del monitor AQM60 con el equipo Thermo de la Estación Belisario se pudo apreciar que existe una baja correlación entre ellos la cual es de 0,424; lo cual puede atribuirse a fallas del sensor en cuanto a un insuficiente calentamiento del mismo o fallas de la bomba del sensor; además, se puede destacar que la tendencia es baja, resultando siempre mayores las concentraciones del equipo AQM60 a las del analizador de referencia, lo cual se aprecia en la Figura 3.3.

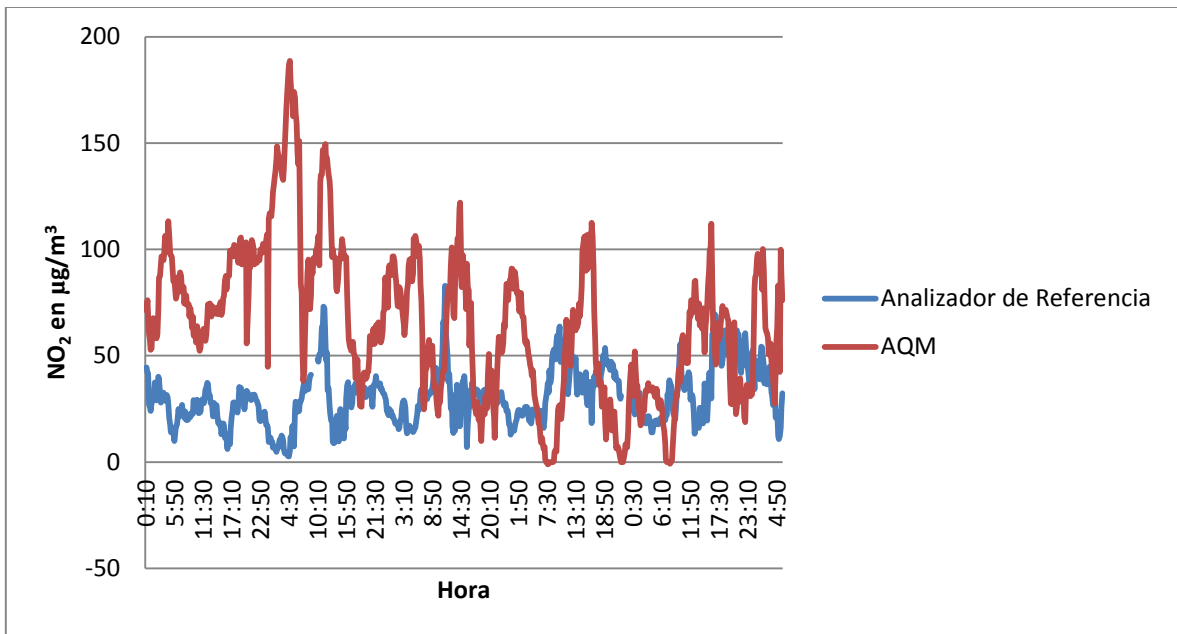


Figura 3.3. Gráfica de contrastación del sensor de NO₂ AQM60 frente al analizador de Referencia

- Sensor de PM_{2.5}

El ciclón de material particulado PM_{2.5} presenta un diferente principio de operación a la tecnología de Aeroqual al operar bajo el principio de dispersión de la luz de las partículas en suspensión. Previo a ser contrastado con el analizador de material particulado fino PM_{2.5} de la Estación Belisario cuyo método de medida corresponde a la atenuación de rayos beta (Método equivalente para PM₁₀ EPA No. EQPM -1102-150), se realizó la verificación de flujos cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Verificación de flujos del monitor de partículas PM_{2.5}

Medidas	Medida del flujo de calibrador (L/min)
1	2,038
2	2,040
3	2,044
4	2,043
5	2,038
6	2,021
7	2,035
8	2,083
9	2,042
10	2,040
Promedio	2,042
Especificación	2,000
Límites	±0,1
Desviación estándar	15,69

Acorde a los resultados obtenidos se puede observar que el flujo del monitor de partículas se encuentra dentro de la especificación establecida por el fabricante, por lo tanto, no fue necesaria la realización de ningún ajuste. Se revisó también el flujo de los módulos de los

sensores NO₂, CO y O₃, cuyos flujos se encuentran dentro de las especificaciones, los resultados se encuentran en el Anexo E.

A continuación se procedió a realizar la comparación del monitor de partículas PM_{2.5} con el monitor automático de la Estación Belisario por un período de cinco días. En la Figura 3.4 se muestra la gráfica de contrastación, la cual indica que existe un coeficiente de correlación de 0,625; a partir del cual se nota que las concentraciones de la Estación Belisario exceden siempre a las concentraciones que proporciona el equipo AQM60.

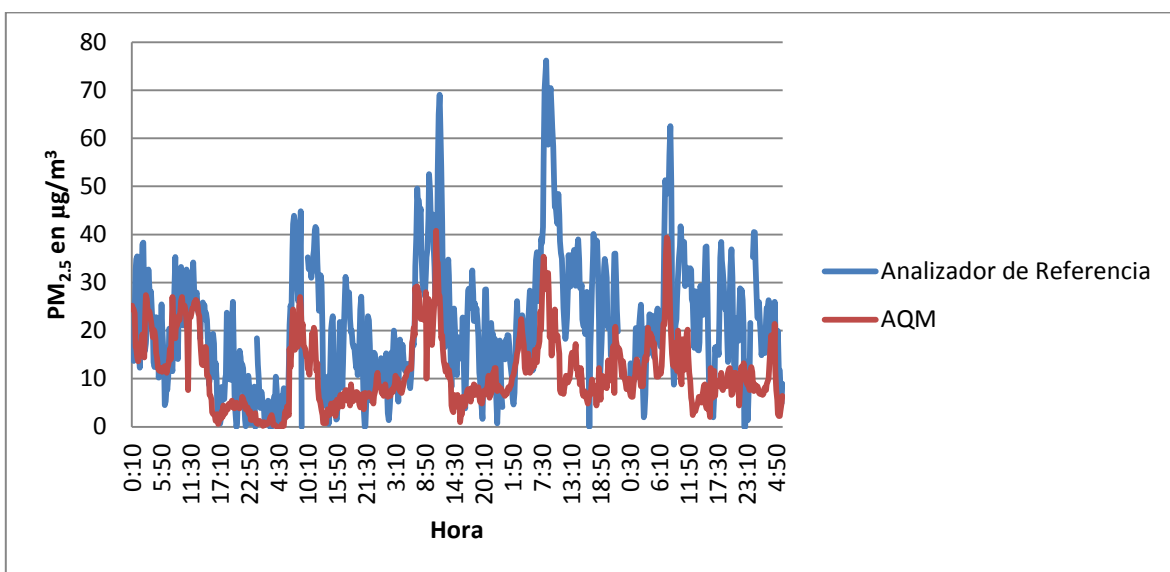


Figura 3.4. Gráfica de la contrastación del sensor de PM_{2.5} AQM60 frente al analizador de referencia

3.2. ESTUDIO DE LAS EMISIONES MENSUALES

A continuación se muestra un análisis de las emisiones de CO, NO₂, O₃ y PM_{2.5} generadas durante el mes de abril del 2011, y monitoreadas con el equipo AQM60, siendo comparadas con las emisiones registradas por el equipo Thermo Environmental Instruments de la red automática de la Estación Belisario durante abril del 2010, como se muestra en la Figura 3.5. Esta figura permite inferir si hay un problema de creciente deterioro o una mejora en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes bajo la influencia de la medida de restricción vehicular Pico y Placa.

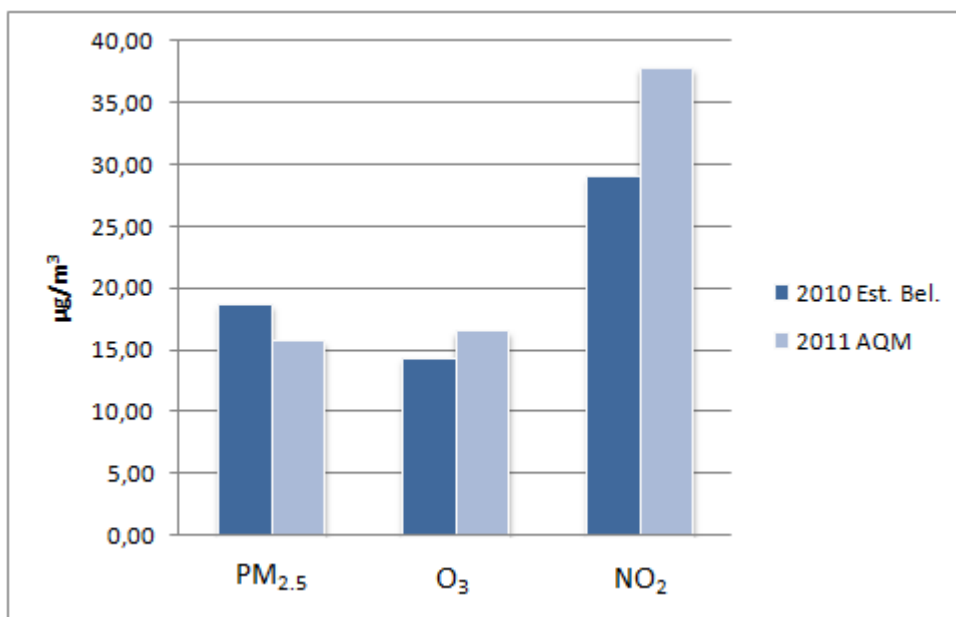


Figura3.5. Comparación de emisiones promedio de PM_{2.5}, O₃ y NO₂ de los meses de abril del 2010 y 2011

La emisión promedio de $PM_{2.5}$ hacia abril del 2010 según la Estación Belisario fue de $18,20\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentración que disminuyó al transcurrir un año siendo de $15,70\mu\text{g}/\text{m}^3$ acorde a los datos obtenidos por el equipo AQM60. En la Tabla 3.7. se muestra los datos mencionados.

El ozono por su parte ha incrementado su emisión promedio en un 14,89% comparando los datos obtenidos de abril del 2010 y 2011 de la Estación Belisario con el equipo AQM60 respectivamente, ya que, su concentración ha aumentado de $14,37\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2010 a $16,51\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2011.

El dióxido de nitrógeno muestra también un incremento transcurrido un año a partir de abril del 2010, pues, su concentración registrada por la Estación Belisario es de $29,00\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el 2011 el equipo de monitoreo AQM registra $37,79\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las emisiones de monóxido de carbono, como se muestra en la Figura 3.6. se han incrementado. Hacia abril del 2010 la Estación Belisario a través de la red automática registró una emisión promedio de $0,89\text{mg}/\text{m}^3$, por su parte el equipo AQM un año más tarde reporta como concentración promedio de emisión $1,26\text{mg}/\text{m}^3$.

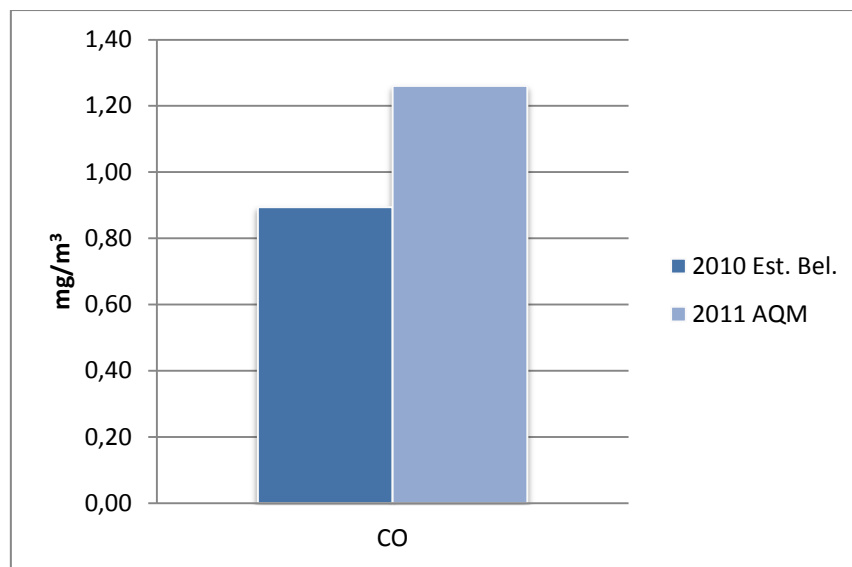


Figura 3.6. Comparación de emisiones de CO del mes de abril del 2010 y 2011

En definitiva, se establece que las emisiones promedio mensuales de material particulado fino $PM_{2.5}$ correspondientes al mes de abril de 2011 han disminuido luego de un año de aplicación del “Pico y Placa”, y por otro lado las emisiones de ozono, monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno han experimentado un incremento, como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Comparación de las emisiones promedio de los contaminantes para los meses de abril 2010 y 2011

Contaminante	Concentración promedio abril 2011 AQM	Concentración promedio abril 2010 Estación Belisario	Disminución o aumento contaminante (%)
$PM_{2.5}$	15,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13,74
O_3	16,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14,89
NO_2	37,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30,31
CO	1,26 mg/m^3	0,89 mg/m^3	41,57

■ Aumento de la concentración
 ■ Disminución de la concentración

3.3 ESTUDIO DE LAS EMISIONES HORARIAS

A continuación se realiza un análisis de las concentraciones de los contaminantes en abril de los años 2010 y 2011, de acuerdo, a las horas en las que rige el “Pico y Placa” para conocer cuales son los cambios que se han generado.

- Ozono

Los datos colectados durante el mes de abril del 2011 fueron procesados según lo expuesto anteriormente en la Tabla 2.3, en base a lo cual se logra formar el perfil de emisiones horarias de O₃ que se muestra en la Figura 3.7, donde se puede apreciar que las emisiones permanecen relativamente constantes durante la madrugada, es decir, desde las 0h00 hasta las 6h00 manteniendo una concentración promedio de 14µg/m³; a partir de las 7h00 se inicia un aumento de las emisiones hasta que llega a las 12h00 donde su punto máximo corresponde a 48,03µg/m³, luego de ello, las emisiones inician su descenso nuevamente hasta las 20h00 donde la concentración decae a 1,99µg/m³ y finalmente, se inicia de nuevo un incremento de las emisiones a partir de las 21h00.

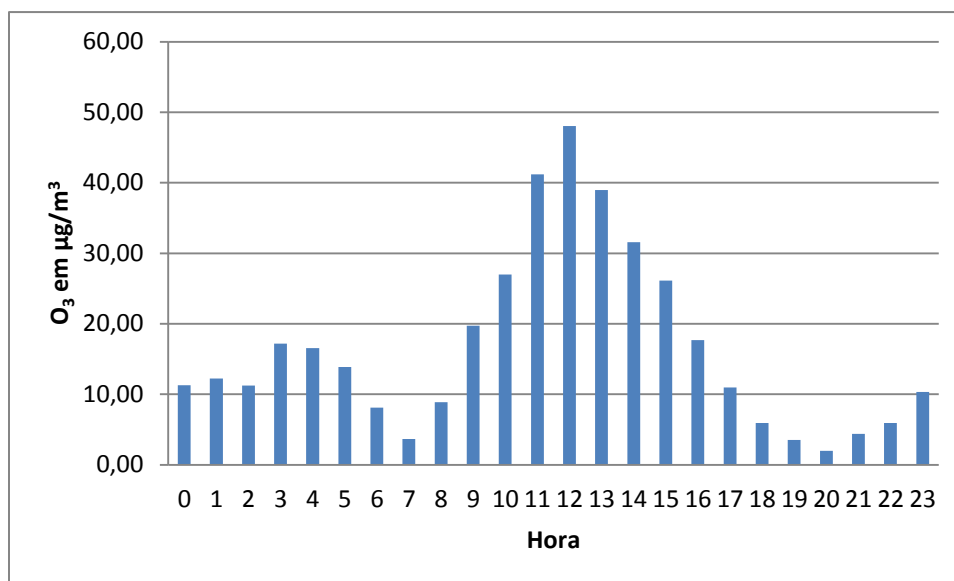


Figura3.7. Perfil de emisiones horarias de O₃ de abril 2011 (AQM)

Como se pudo observar, la concentración de ozono alcanza su nivel máximo hacia el medio día, justo cuando la actividad solar es máxima y la atmósfera está cargada de contaminantes emitidos por los vehículos. El pico máximo de la mañana va precedido por las emisiones de su precursor NO₂, que genera el consiguiente incremento de O₃. Las emisiones inician su ascenso a lo largo de las primeras horas de la mañana promovidas por la influencia de vehículos motorizados por las calles, así como también por la incidencia de la luz solar que desintegra fotoquímicamente y es la causante de la formación de O₃. Finalmente, el ozono disminuye al decaer la puesta del sol.

Las emisiones de ozono cumplen con la Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana, ya que, no se registró concentraciones mayores a lo establecido ($160\mu\text{g}/\text{m}^3$) para períodos de 1 hora, lo cual se constata a continuación en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Cumplimiento de los límites máximos permisibles de O₃ en una hora establecidos por la Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana

Hora	Concentración máxima (µg/m³)	Norma Nacional (no exceder 160µg/m³)
0h00	39,29	Sí cumple
1h00	33,21	Sí cumple
2h00	29,29	Sí cumple
3h00	40,11	Sí cumple
4h00	37,14	Sí cumple
5h00	33,39	Sí cumple
6h00	27,70	Sí cumple
7h00	15,52	Sí cumple
8h00	29,86	Sí cumple
9h00	48,32	Sí cumple
10h00	61,09	Sí cumple
11h00	80,54	Sí cumple
12h00	110,00	Sí cumple
13h00	105,09	Sí cumple
14h00	96,25	Sí cumple
15h00	88,39	Sí cumple
16h00	62,86	Sí cumple
17h00	44,79	Sí cumple
18h00	56,96	Sí cumple
19h00	26,91	Sí cumple
20h00	31,43	Sí cumple
21h00	31,04	Sí cumple
22h00	33,59	Sí cumple
23h00	37,71	Sí cumple

La guía de la calidad del aire de la OMS establece que para períodos de 8 horas su concentración máxima no debe superar los 100µg/m³, más, fue superada por dos ocasiones, durante todo el mes de abril de 2011 [24].

La US EPA de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS) establece que para el período de 8 horas no se debe superar 147,32µg/m³; dicho valor no se

sobrepasa en el mes de abril de 2011 [27]. En relación a la Norma Nacional, las emisiones de O₃ no exceden la norma ya que ésta establece que para períodos de 8 horas consecutivas las concentraciones de O₃ no deben superar 120µg/m³ [4]. Estos valores se muestran a continuación en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Cumplimiento de las concentraciones máximas permitidas en períodos de 8 horas de las emisiones de O₃ acorde a la Guía de la OMS

Fecha	Concentración máxima en 8 horas (µg/m ³)	Norma Nacional (no exceder 120µg/m ³)	US EPA (no exceder 147,32µg/m ³)	Guía de la OMS (no exceder 100µg/m ³)
01/04/2011	96,25	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
04/04/2011	100,18	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
05/04/2011	110,00	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
06/04/2011	32,02	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
07/04/2011	65,61	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
08/04/2011	39,29	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
11/04/2011	39,29	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
12/04/2011	69,14	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
13/04/2011	49,11	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
14/04/2011	70,91	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
15/04/2011	39,29	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
18/04/2011	29,29	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
19/04/2011	68,50	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
20/04/2011	56,96	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
21/04/2011	35,36	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
22/04/2011	91,73	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
25/04/2011	85,45	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
26/04/2011	42,63	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
27/04/2011	45,18	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
28/04/2011	43,02	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple

En la Figura 3.8. se puede apreciar que el promedio de las emisiones correspondientes al período de 7h00 a 10h00 de abril del 2011 monitoreado con el equipo AQM es de 14,82µg/m³, mientras que para el lapso de 16h00 a 20h00 las emisiones disminuyen a una concentración

promedio de $8,01\mu\text{g}/\text{m}^3$, durante el período 11h00-15h00 (hora valle) donde no rige el Pico y Placa su concentración promedio aumenta a $37,17\mu\text{g}/\text{m}^3$ ya que es hacia el medio día cuando las emisiones alcanzan su punto máximo. Comparando con las emisiones monitoreadas por la Estación Belisario correspondientes a abril del 2010, se tiene que durante el período de la mañana las emisiones promedio fueron mayores siendo de $16,61\mu\text{g}/\text{m}^3$ y por la tarde fueron de $8,09\mu\text{g}/\text{m}^3$, y durante la hora valle su concentración promedio fue menor al ser de $39,33\mu\text{g}/\text{m}^3$.

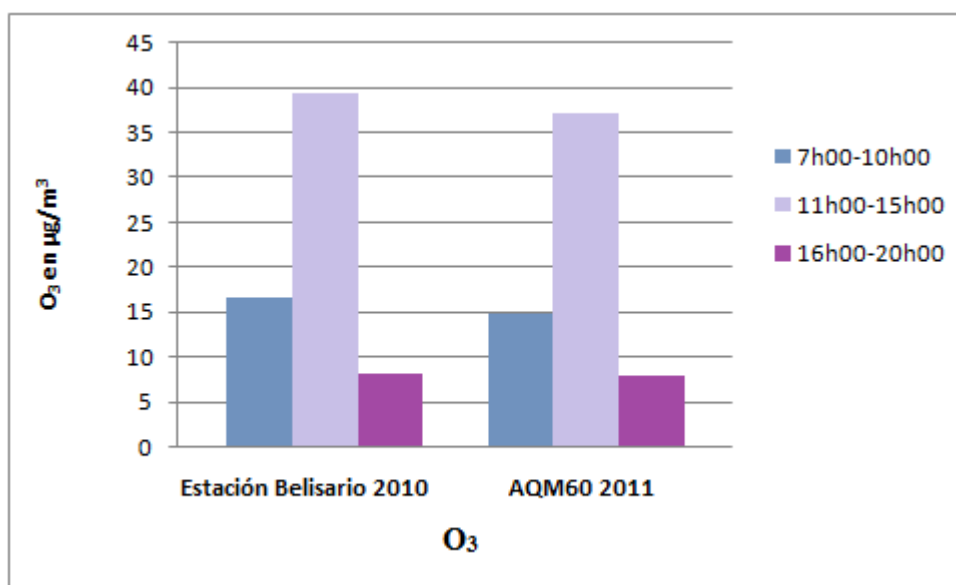


Figura 3.8. Comparación de las emisiones de O₃ hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico

- Dióxido de nitrógeno

La distribución horaria de las emisiones es definida por influencia de las emisiones vehiculares, así, el perfil de emisiones horarias de NO₂ del mes de abril del 2011, como se muestra en la Figura 3.9., indica que existen dos picos de concentración, a las 10h00 y a las 18h00; es decir que este contaminante se ve generado en gran proporción durante las horas que existe mayor congestión vehicular. Acorde al inventario de emisiones del DMQ, el 52,3% de las emisiones de NO₂ al aire provienen de las fuentes móviles, de las cuales únicamente el 18,9% proviene de vehículos particulares a gasolina, camionetas, motos y particulares a diesel lo cual no representa un porcentaje representativo para contrarrestar al 33,4% proveniente de los taxis, buses a gasolina, vehículos pesados a gasolina, buses a diesel y pesados a diesel que se encuentran exentos de la medida Pico y Placa, lo cual se ve reflejado en el aumento de las emisiones en un 30% respecto al mes de abril del año pasado, según los datos correspondientes a la Estación Belisario.

En la jornada matutina del Pico y Placa desarrollado de 7h00 hacia las 9h30 se presentan emisiones más bajas a las emisiones una vez finalizado el horario matutino de restricción alcanzando su máximo nivel de concentración a las 10h00 con 46,83µg/m³. En cuanto a la tarde y noche no se observa un cambio positivo, puesto que, no existe disminución de las emisiones, por el contrario, éstas aumentan y alcanzan su punto máximo de 48,55µg/m³ dentro del horario correspondiente al Pico y Placa.

Las emisiones de este contaminante son mayores bajo la incidencia de la luz solar, por ello, durante la madrugada y horas de la noche sus concentraciones se reducen, sin embargo,

permanece latente una cierta actividad química que genera, de igual modo, un grado de polución, la cual puede influenciar los procesos químicos llevados a cabo durante el día.

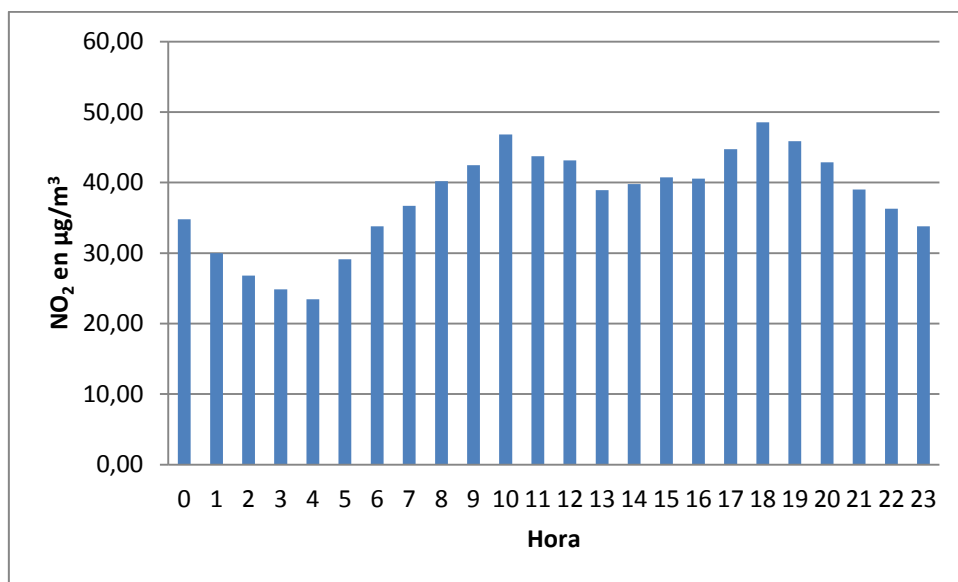


Figura 3.9. Perfil de emisiones horarias de NO₂ de abril 2011 (AQM)

No se registra concentraciones que sobrepasen los valores establecidos por la Norma Nacional, la cual establece que la concentración máxima en 24 horas no debe exceder $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ [4]. En la Tabla 3.10. se observan los valores de las emisiones máximas en 24 horas.

Tabla 3.10. Cumplimiento de las concentraciones de 24 horas máximas permitidas de las emisiones de NO₂ acorde a la Norma Nacional

Fecha	Concentración máxima en 24 horas (µg/m³)	Norma Nacional (no exceder 150µg/m³)
01/04/2011	83,60	Sí cumple
04/04/2011	61,73	Sí cumple
05/04/2011	56,48	Sí cumple
06/04/2011	64,91	Sí cumple
07/04/2011	60,21	Sí cumple
08/04/2011	58,08	Sí cumple
11/04/2011	59,13	Sí cumple
12/04/2011	50,54	Sí cumple
13/04/2011	58,84	Sí cumple
14/04/2011	53,41	Sí cumple
15/04/2011	49,68	Sí cumple
18/04/2011	55,57	Sí cumple
19/04/2011	54,66	Sí cumple
20/04/2011	55,59	Sí cumple
21/04/2011	45,57	Sí cumple
22/04/2011	55,08	Sí cumple
25/04/2011	53,01	Sí cumple
26/04/2011	53,83	Sí cumple
27/04/2011	55,56	Sí cumple
28/04/2011	32,07	Sí cumple

Tampoco se excede los límites máximos permisibles de la Guía de la OMS, la cual establece que para la media del período de 1 hora no debe superar 200µg/m³, del mismo modo no se excede los límites máximos permisibles dictaminados por los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiente de la EPA cuyo valor máximo es de 188µg/m³ [24,27]. En la Tabla 3.11. se observa como todos los datos cumplen con estas normas.

Tabla 3.11. Cumplimiento de los límites máximos permisibles de NO₂ en una hora establecidos por la Guía de la OMS y la US EPA

Hora	Concentración máxima (µg/m³)	Guía de la OMS (no exceder 200µg/m³)	US EPA (no exceder 188µg/m³)
0h00	61,53	Sí cumple	Sí cumple
1h00	52,01	Sí cumple	Sí cumple
2h00	51,86	Sí cumple	Sí cumple
3h00	49,66	Sí cumple	Sí cumple
4h00	48,39	Sí cumple	Sí cumple
5h00	50,25	Sí cumple	Sí cumple
6h00	59,13	Sí cumple	Sí cumple
7h00	55,71	Sí cumple	Sí cumple
8h00	57,83	Sí cumple	Sí cumple
9h00	83,60	Sí cumple	Sí cumple
10h00	63,20	Sí cumple	Sí cumple
11h00	61,73	Sí cumple	Sí cumple
12h00	64,91	Sí cumple	Sí cumple
13h00	53,64	Sí cumple	Sí cumple
14h00	55,88	Sí cumple	Sí cumple
15h00	56,25	Sí cumple	Sí cumple
16h00	55,57	Sí cumple	Sí cumple
17h00	56,48	Sí cumple	Sí cumple
18h00	58,91	Sí cumple	Sí cumple
19h00	54,78	Sí cumple	Sí cumple
20h00	55,56	Sí cumple	Sí cumple
21h00	50,17	Sí cumple	Sí cumple
22h00	49,94	Sí cumple	Sí cumple
23h00	46,82	Sí cumple	Sí cumple

En la Figura 3.10. se observa las tendencias de NO₂ para los meses de abril del 2010 y 2011 correspondientes al equipo TEI de la Estación Belisario y al equipo AQM, a partir de las cuales se puede ver con facilidad si se ha generado algún impacto sobre las emisiones de este gas transcurrido un año. Así, las tendencias para el año 2011 manifiestan que existe un aumento de las emisiones y un desplazamiento de los puntos máximos de emisión. En la

Estación Belisario en el año 2010 los puntos máximos de concentración se dieron a las 8h00 y a las 19h00; en el 2011 se manifiestan picos más pronunciados con un máximo se a las 10h00 y a las 18h00 determinados por el equipo de monitoreo AQM.

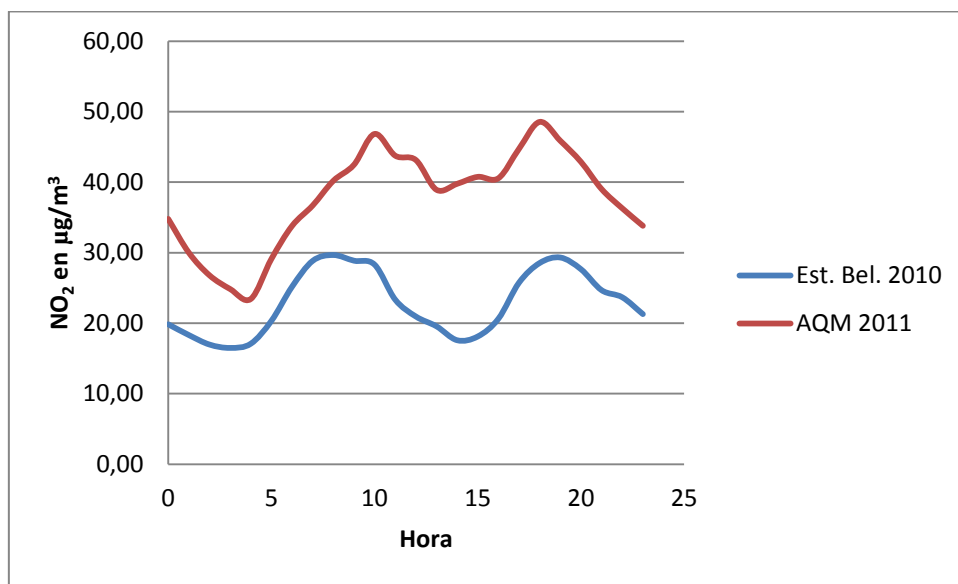


Figura 3.10. Tendencias de NO₂ para los meses de abril 2010 y 2011

Se debe tomar en cuenta que las emisiones de dióxido de nitrógeno pueden provenir de fuentes naturales, pero su mayor aporte proviene de la quema de combustibles fósiles de las fuentes móviles, como parte de las fuentes antropogénicas. Se debe considerar que las emisiones se ven propiciadas por las altas temperaturas, como ocurren dentro de los vehículos de combustión interna durante la aceleración de los autos, alcanzando sus niveles máximos de concentración; siendo ello de gran significancia, ya que dichas emisiones generan un deterioro de la calidad del aire

Las concentraciones promedio de NO_2 durante las 7h00 a 10h00 son de $41,54\mu\text{g}/\text{m}^3$ y ascienden a $44,51\mu\text{g}/\text{m}^3$ hacia el período comprendido entre las 16h00 a 20h00 acorde al equipo AQM, durante la horas de menor tránsito vehicular que corresponden al período de 11h00 a 15h00 las emisiones promedio se ven disminuidas al ser de $41,26\mu\text{g}/\text{m}^3$, estos valores se esquematizan en la Figura 3.11., donde además se puede observar que las emisiones reportadas por la Estación Belisario correspondientes a abril del 2010, fueron mucho menores siendo de $28,91\mu\text{g}/\text{m}^3$ de 7h00 a 10h00; $26,37\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las 16h00 a 20h00 y $19,90\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la hora valle.

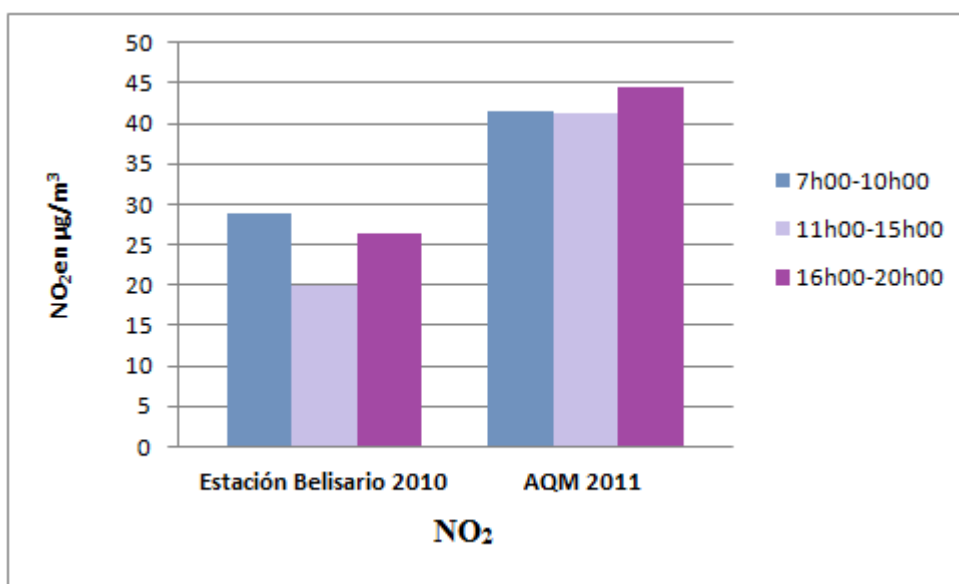


Figura 3.11. Comparación de las emisiones de NO_2 hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico

- Material particulado

En la Figura 3.12. se muestra el perfil de emisiones horarias para el material particulado fino $PM_{2.5}$ del mes de abril del 2011 obtenido por el equipo de monitoreo AQM60 donde se puede destacar que se forman dos picos de concentración en las horas de mayor congestión vehicular, como lo es a las 9h00 y a las 18h00, cuyas concentraciones son de $27,32\mu g/m^3$ y $18,17\mu g/m^3$ respectivamente, siendo mayor el nivel máximo de concentración de la mañana pudiendo deberse a que el máximo volumen de vehículos que circula es por las horas de la mañana, además la diferencia en los niveles de contaminación alcanzado entre los dos picos de concentración tiene una explicación desde el punto de vista meteorológico. Al ser mayor el nivel de contaminación en la mañana existe una limitada dispersión de los contaminantes en el aire, lo cual es ocasionado por las bajas velocidades del viento que no permiten que se de una dispersión adecuada de los contaminantes atmosféricos. Sin embargo, a las horas de la tarde se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ disminuyen, esto se atribuye a que las velocidades del viento son mayores lo cual genera una mejor dispersión y transporte de los contaminantes.

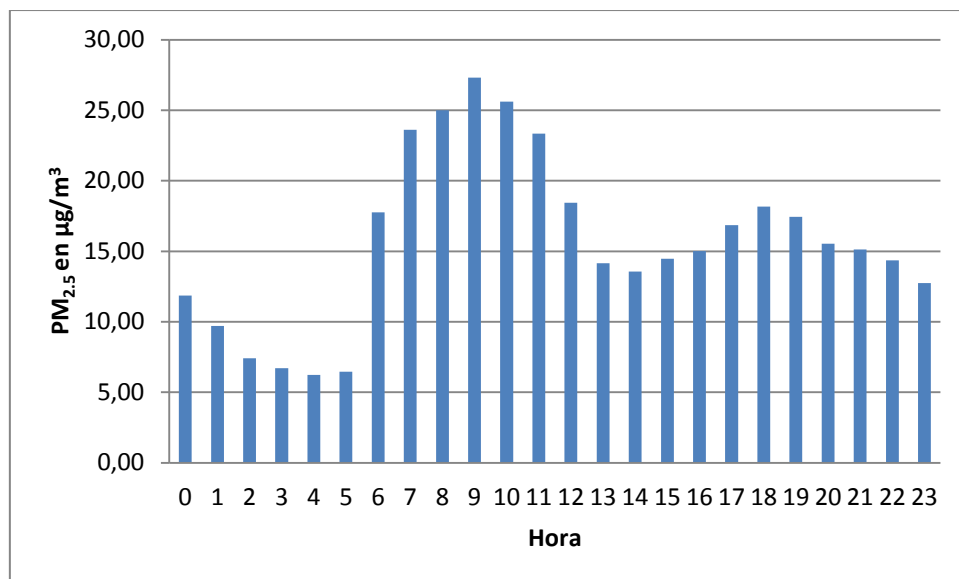


Figura 3.12. Perfil de emisiones horarias de PM_{2,5} de abril 2011 (AQM)

En cuanto a las concentraciones máximas permitidas por la Entidad Ambiental de Control Nacional se manifiesta que la concentración máxima en 24 horas no debe exceder $65\mu\text{g}/\text{m}^3$, para lo cual no se registra superaciones en la norma como puede constatarse en la Tabla 3.12. Por su parte, la EPA, cuyo límite máximo permisible es más bajo, al establecer que no se debe exceder $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ hace que se supere este límite 4 días del mes. La Guía de la OMS presenta un límite aún más bajo, indicando que la concentración máxima en 24 horas no debe exceder $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo se sobrepasa este valor 8 días del mes.

Tabla 3.12. Cumplimiento de las concentraciones máximas permitidas de PM_{2.5} en 24 horas acorde a la Norma Nacional, a la US EPA y a la Guía de la OMS

Fecha	Concentración máxima en 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norma Nacional (no exceder $65\mu\text{g}/\text{m}^3$)	US EPA (no exceder $35\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Guía de la OMS (no exceder $25\mu\text{g}/\text{m}^3$)
01/04/2011	37,70	Sí cumple	No cumple	No cumple
04/04/2011	37,57	Sí cumple	No cumple	No cumple
05/04/2011	17,90	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
06/04/2011	22,33	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
07/04/2011	18,83	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
08/04/2011	28,17	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
11/04/2011	36,90	Sí cumple	No cumple	No cumple
12/04/2011	33,60	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
13/04/2011	17,90	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
14/04/2011	17,17	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
15/04/2011	22,63	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
18/04/2011	24,77	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
19/04/2011	22,60	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
20/04/2011	30,63	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
21/04/2011	20,33	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
22/04/2011	23,70	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
25/04/2011	18,10	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
26/04/2011	33,60	Sí cumple	Sí cumple	No cumple
27/04/2011	18,00	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
28/04/2011	37,43	Sí cumple	No cumple	No cumple

A partir de la Figura 3.13. se puede realizar una comparación de las emisiones de PM_{2.5} previo y durante la ejecución del Pico y Placa a partir de las tendencias obtenidas por el equipo TEI de la Estación Belisario referentes a abril del 2010 y al equipo de monitoreo AQM60 hacia abril del 2011. Como se observa, las líneas de tendencia correspondientes a las emisiones registradas por el equipo AQM en el 2011, disminuyen considerablemente en las horas de la mañana, más por la tarde y noche sus emisiones se presentan constantes a las emisiones previas a un año.

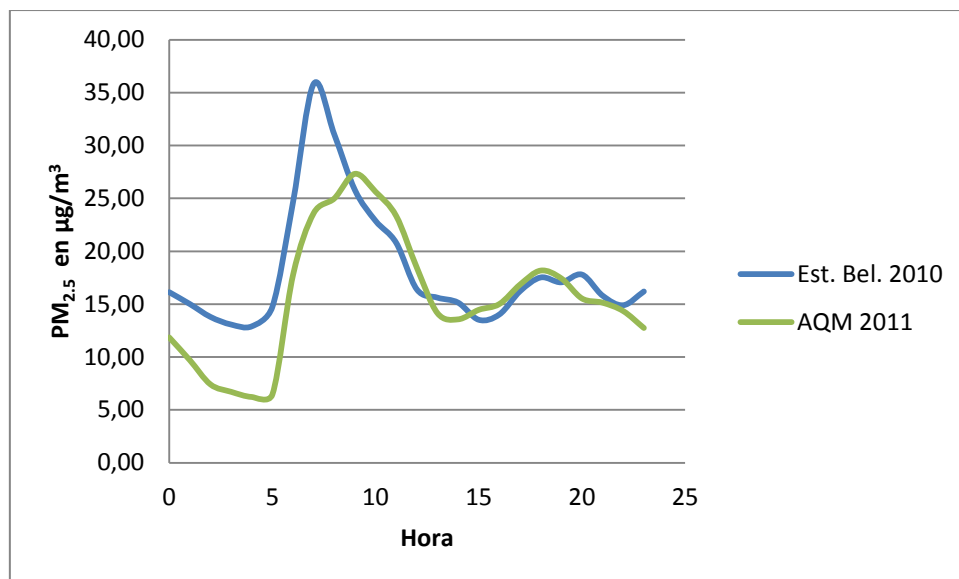


Figura 3.13. Tendencias de PM_{2.5} para los meses de abril 2010 y 2011

Hacia el 2010, los datos obtenidos por la Estación Belisario manifiestan que el pico máximo de concentración en la mañana se registra a las 7h00, donde las emisiones llegan hasta 35,83µg/m³, luego de ello disminuyen progresivamente hasta las 15h00 donde su concentración es de 13,52µg/m³, a partir de lo cual las emisiones ascienden levemente hasta alcanzar su punto máximo correspondiente a las 20h00 donde su concentración es de 17,79µg/m³ y finalmente vuelven a descender hasta la media noche. Un año más tarde, a partir del monitoreo de la calidad del aire llevado a cabo con el equipo AQM y bajo la influencia de la aplicación del Pico y Placa se puede observar que el punto máximo de concentración correspondiente a la mañana ha disminuido a 27,32µg/m³ y se ha desplazado a las 9h00; posteriormente las emisiones disminuyen hasta llegar a 13,56µg/m³ a las 14h00. En la tarde y noche se observa que las emisiones han superado a las del año pasado, alcanzando su punto máximo de 18,17µg/m³ a las 18h00.

En la Figura 3.14 se puede observar la comparación de las emisiones de $PM_{2.5}$ durante las horas en las que rige el Pico y Placa, a partir de lo cual se puede ver que las emisiones matutinas de $PM_{2.5}$ son mayores a las emisiones de la tarde y noche, poniendo en consideración el mayor flujo vehicular existente en la mañana, sabiendo que las partículas finas provienen principalmente de fuentes de combustión como los vehículos de combustión interna. La media de concentración de $PM_{2.5}$ durante las 7h00 a 10h00 es de $25,38\mu\text{g}/\text{m}^3$, $15,96\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la hora valle y de $16,79\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el período que va de 16h00 a 20h00 hacia abril del 2011. Comparando con las emisiones promedio obtenidas por la Estación Belisario en el 2010, se tiene que por la mañana fueron mayores siendo de $28,88\mu\text{g}/\text{m}^3$, $16,29\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la hora valle y durante las 16h00 a 20h00 su concentración promedio es de $16,52\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores se esquematizan en la Figura 3.14.

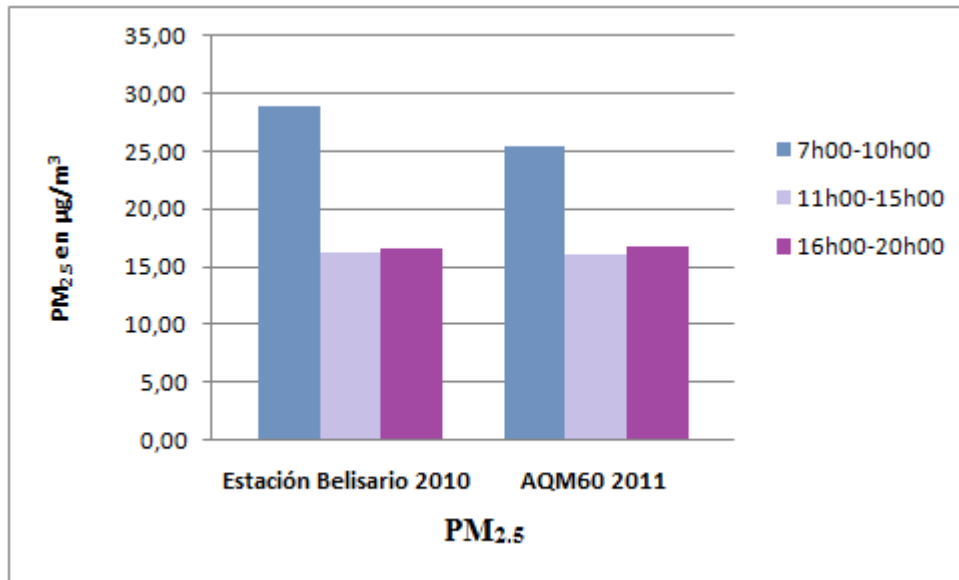


Figura 3.14. Comparación de las emisiones de PM_{2,5} hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico

- Monóxido de carbono

En la Figura 3.15. se muestra el perfil de emisiones de CO de abril del 2011, donde se puede observar que existen dos puntos máximos de concentración distribuidos, en la mañana a las 8h00 cuya concentración es de 1,64mg/m³, y en la tarde a las 18h00 cuya concentración es de 1,91mg/m³.

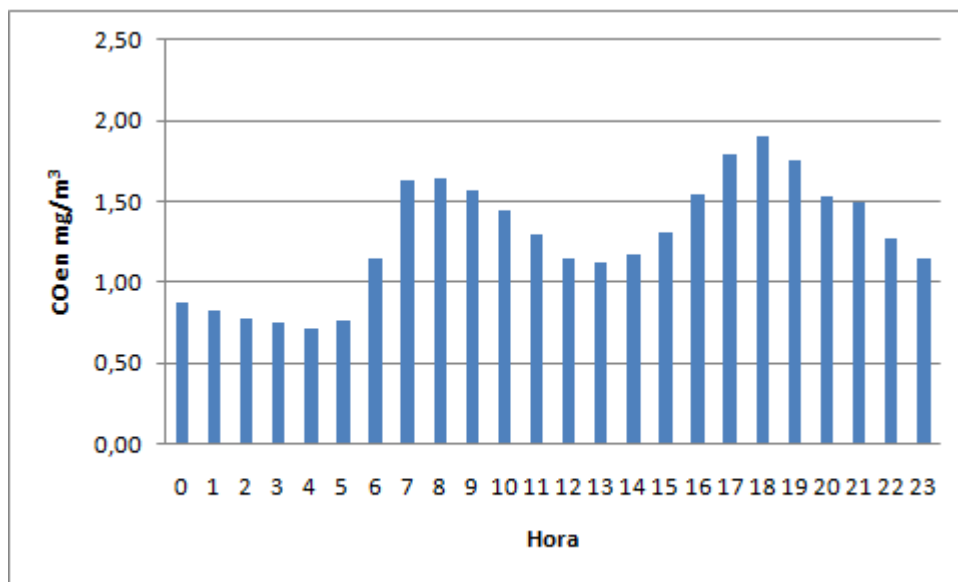


Figura 3.15. Perfil de emisiones horarias de CO de abril 2011 (AQM)

La Norma de Calidad de Aire Ecuatoriana así como los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiente de la EPA manifiestan que la concentración máxima de CO en una hora no debe exceder 40mg/m^3 , para lo cual no se registró valores que superen la norma, ya que los promedios horarios del mes de abril del 2011 se encuentran muy por debajo de ese valor como se muestra en la Tabla 3.13., del mismo modo las emisiones no superan el valor establecido por las guías de la OMS (30mg/m^3).

Tabla 3.13. Cumplimiento de las concentraciones máximas de CO en una hora permitidas acorde a la Norma Nacional y a la Guía de la OMS

Hora	Concentración máxima en 1 hora (mg/m³)	Norma Nacional (no exceder 40mg/m³)	EPA (no exceder 40mg/m³)	Guía de la OMS (no exceder 30mg/m³)
0h00	1,68	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
1h00	1,61	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
2h00	1,42	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
3h00	1,38	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
4h00	1,28	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
5h00	1,31	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
6h00	1,60	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
7h00	4,08	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
8h00	4,20	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
9h00	4,12	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
10h00	4,34	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
11h00	3,78	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
12h00	3,42	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
13h00	3,38	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
14h00	3,54	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
15h00	3,68	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
16h00	3,76	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
17h00	5,81	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
18h00	5,92	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
19h00	5,41	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
20h00	4,12	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
21h00	4,18	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
22h00	3,73	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
23h00	3,76	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple

La tendencia de CO para los meses de abril del 2010 y 2011 se visualizan en la Figura 3.16., a partir de lo cual, se puede ver más claramente la situación de contaminación. Se observa que en el año 2010 la Estación Belisario, registra dos puntos máximo de emisión, uno en la mañana y otro por la tarde, el pico matutino es bastante pronunciado y angosto cuyo punto máximo de concentración se da a las 7h00 y es de 1,76mg/m³, luego inicia su descenso hasta decaer a 0,73mg/m³ a las 11h00, permaneciendo la línea de tendencia constante hasta las

15h00 cuando la influencia vehicular es menor; a partir de las 16h00 comienza su ascenso para formar su segundo pico, el cual es muy leve en comparación al pico de la mañana, cuyo punto máximo de concentración es de $1,15\text{mg/m}^3$ a las 19h00, y finalmente desciende nuevamente hasta las 23h00. Un año más tarde, se observa que el punto máximo de concentración en la mañana se ha desplazado a las 8h00 y desciende a $1,64\text{mg/m}^3$, sin embargo, se forma un pico más ancho el cual es indicador de un aumento de las emisiones, lo cual se corrobora al desglosar las emisiones promedio durante el período de 7h00 a 10h00 que para el 2010 fueron $1,25\text{mg/m}^3$ (Estación Belisario) y en el 2011 las concentraciones son de $1,57\text{mg/m}^3$ (AQM). Al descender la línea de tendencia de CO (AQM) a lo largo de la tarde y noche, se observa que supera a las emisiones correspondientes al año previo, alcanzando hacia las 18h00 su punto máximo cuya concentración es de $1,91\text{mg/m}^3$.

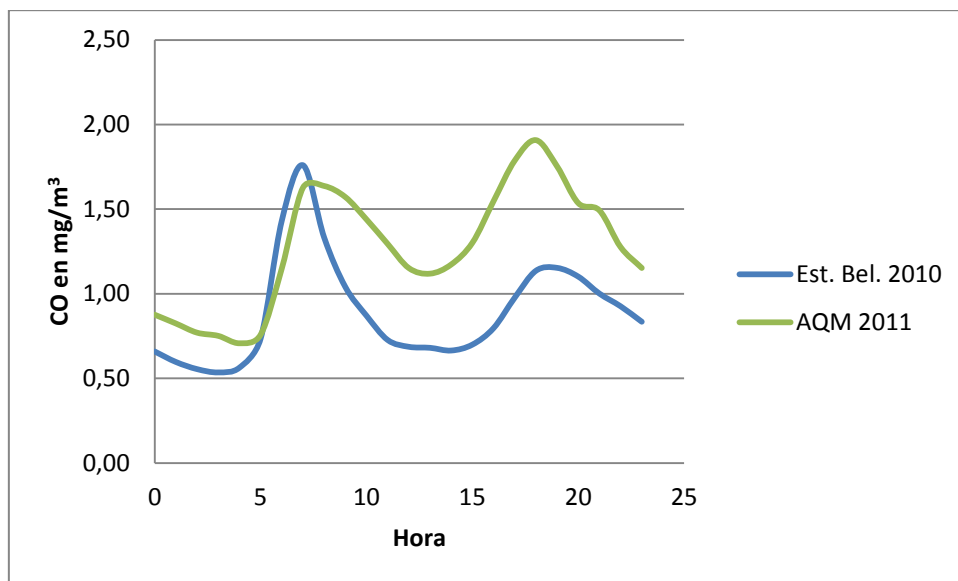


Figura 3.16. Tendencias de CO para los meses de Abril 2010 y 2011

A partir de la figura 3.17. se puede establecer una comparación acerca de las emisiones de CO durante las horas de aplicación del Pico y Placa y la hora valle (11h00-15h00), en dicha gráfica se observa que la concentración promedio de CO hacia abril del 2011 es de 1,57mg/m³ en el lapso de 7h00 a 10h00, disminuyendo a 1,21mg/m³ durante las hora valle y posteriormente aumenta a 1,71mg/m³ en el período que va de 16h00 a 20h00. En cuanto a los datos registrados por la Estación Belisario en abril del 2010 reportan una concentración promedio de 1,25mg/m³ en el período que va de 7h00 a 10h00; 0,69mg/m³ durante a hora valle y 1,03mg/m³ durante las 16h00 a 20h00.

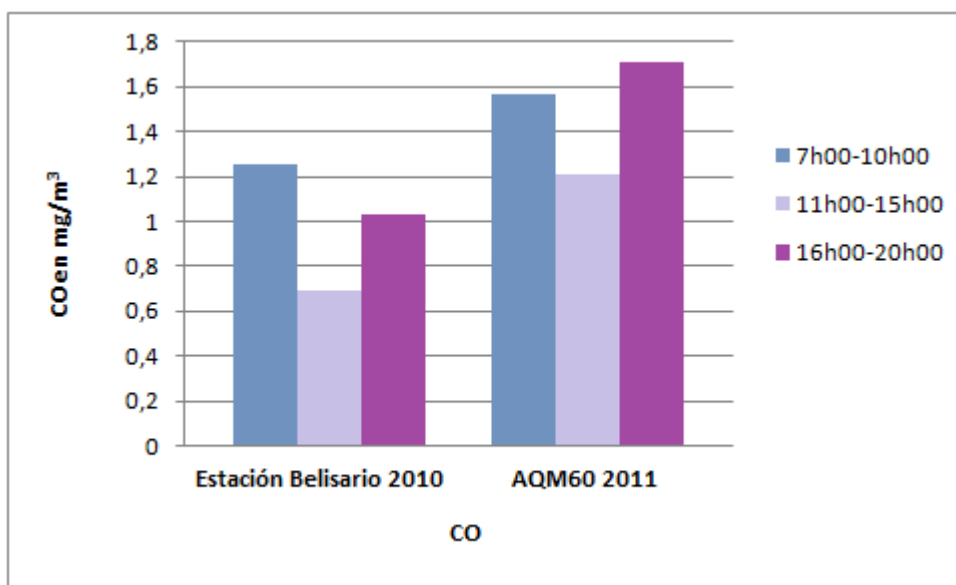


Figura 3.17. Comparación de las emisiones de CO hacia abril del 2010 y 2011 durante las horas pico

A continuación, en la Tabla 3.14. se puede observar en síntesis la concentración promedio de cada especie contaminante hacia abril de 2011 (AQM) y abril 2010 (Estación Belisario), a

partir de cuyos datos se puede apreciar la situación de contaminación previos y durante al Pico y Placa.

Tabla 3.14. Comparación de las emisiones de PM_{2.5}, O₃, NO₂ y CO durante las horas pico

Contaminante	Concentración promedio Abril 2011 AQM		Concentración promedio Abril 2010 E. Belisario		Disminución o aumento del contaminante (%)	
	7:00-10:00	16:00-20:00	7:00-10:00	16:00-20:00	7:00-10:00	16:00-20:00
PM _{2.5} (µg/m ³)	25,38	16,79	28,88	16,52	12,12	1,63
O ₃ (µg/m ³)	14,82	8,01	16,61	8,09	10,78	0,99
NO ₂ (µg/m ³)	41,54	44,51	28,91	26,37	43,69	68,79
CO (mg/m ³)	1,57	1,71	1,25	1,03	25,60	66,02

■ Aumento de la concentración
 ■ Disminución de la concentración

- Dióxido de azufre

No se pudo analizar los datos obtenidos por este contaminante debido a que el sensor de SO₂ cubre un rango hasta 10ppm (26191µg/m³), para lo cual el tanque multigas que se hizo uso en su calibración, no permite llegar hasta esta concentración. Además, el límite de detección del sensor que corresponde a 0,2ppm (523,82µg/m³) es muy alto, ya que en Quito el promedio de concentración para SO₂ es de 15µg/m³, acorde a información obtenida por la REMMAQ.

En el Anexo F se encuentran las gráficas correspondientes a los factores meteorológicos como temperatura interna promedio del equipo AQM60, temperatura ambiente promedio y humedad relativa promedio del ambiente correspondientes al mes de abril de 2011. La temperatura interna del equipo se mantiene relativamente constante durante el día, presentando un mínimo

de 30,44°C a las 20h00 y un máximo de 31,24°C a las 13h00; su desviación estándar es de 0,1440. La temperatura ambiente permanece constante en horas de la madrugada, más a las 6h00 inicia su ascenso de temperatura hasta alcanzar un valor máximo de 23,26°C hacia el medio día (12h00), puesto que los rayos solares inciden con gran intensidad sobre la superficie terrestre principalmente hacia las horas de media mañana, a partir de lo cual inicia su descenso de temperatura hasta llegar a los 14,26°C a las 23h00. En la gráfica de la humedad relativa promedio del ambiente acorde al tiempo, se puede visualizar que la humedad relativa disminuye desde las horas de la mañana hacia el mediodía, se nota que cuando el aire se calienta pero no se humedece, es decir a horas de la mañana, la humedad relativa disminuye y posteriormente aumenta en las horas de la tarde cuando declina la radiación solar y disminuye la temperatura.

En el Anexo H se encuentra los resultados proporcionados por la Policía Nacional de Tránsito respecto al aforo mecánico llevado a cabo en la Av. 12 de Octubre, a partir de estos resultados se puede conocer la variación típica que sigue el volumen de tránsito en la Av.12 de Octubre a lo largo del día, es decir la tendencia que presenta el tráfico en esta área, de este modo se tiene que la madrugada inicia con bajo volumen de vehículos, el mismo que va aumentando hasta que alcanza las cifras más altas de 7h00 a 9h00, luego de ello descienden hasta las 16h00, a partir de las 16h00 hasta las 20h00 el volumen de vehículos incrementa nuevamente, de esta hora en adelante el volumen de vehículos disminuye hasta la madrugada. Acorde al tránsito promedio diario semanal (TPDS) circulan cada día un total de 33 391 vehículos. Pudiendo constatarse que el volumen de vehículos es mayor en las horas pico de la mañana y tarde, lo cual contribuye a que las emisiones de gases y material particulado sean también más elevadas durante estos períodos.

En definitiva, la contaminación del aire de Quito generada por la emisión de gases y material particulado proveniente principalmente de las fuentes móviles, puede ser analizada mediante el monitoreo de la calidad de aire, el cual nos permite obtener las concentraciones de cada analito en tiempo real con el fin de analizar la situación de contaminación que éstos generan en la ciudad durante la aplicación de la medida de restricción vehicular Pico y Placa, con el fin de conocer si esta medida implica cambios positivos para la conservación del aire ambiente. Para llevar a cabo este estudio se hizo uso del equipo de la calidad del aire AQM60, el cual fue inicialmente contrastado con el equipo de la estación automática de Belisario perteneciente a la REMMAQ, el mismo que constituye su fuente de referencia en la determinación de la concentración de los contaminantes atmosféricos (CO, O₃, NO₂ y PM_{2.5}) que son base de estudio en la presente investigación que se realizó en el mes de abril del 2011 con el objetivo de conocer el episodio de contaminación generado durante la medida de restricción vehicular Pico y Placa, más para poder conocer los cambios provocados por esta medida vehicular se requiere realizar una comparación con los datos de concentración de los contaminantes previos a la aplicación de dicha medida (3 de mayo de 2010); la Estación Belisario cuenta con dichos datos pues monitorea la calidad del aire las 24 horas del día desde el año 2003 por ello se tomó como referencia sus datos para la comparación de las concentraciones de los contaminantes previos al Pico y Placa. Los resultados del estudio de emisiones horarias manifiestan que las emisiones de O₃ registradas en abril del 2011 disminuyen tanto en las jornadas matutinas como vespertinas y nocturnas del Pico y Placa, las emisiones de PM_{2.5} disminuyen únicamente durante el período de la mañana y por otro lado las emisiones de NO₂ y CO aumentan tanto hacia la mañana como por la tarde y noche.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Acorde a los resultados obtenidos en el presente trabajo se destaca las siguientes conclusiones y recomendaciones:

4.1. CONCLUSIONES

- El estudio de la contaminación generada por la emisión de gases y material particulado provenientes de las fuentes móviles de Quito, previos a la medida “Pico y Placa” y durante su ejecución mediante el monitoreo de la calidad del aire permite conocer la situación real de contaminación que experimenta la ciudad, mediante la identificación y cuantificación de CO, NO₂, O₃ y PM_{2.5}.
- El monitoreo de la calidad del aire mediante el sistema Aeroqual constituye un proceso eficaz de muestreo continuo semifijo, ya que dispone de una medición continua e instantánea, datos en tiempo real, sencillo manejo, bajos costos directos y fácil instalación del equipo. Además, cabe recalcar que el equipo AQM60 se comportó dentro de las especificaciones sugeridas a lo largo del estudio, en cuanto a sensibilidad, tiempo de respuesta, resolución lo cual es indicador de que es una buena alternativa para monitoreo de la calidad del aire semifijo.

- La comparación del monitor AQM60 y el equipo de monitoreo de la calidad del aire Thermo Environmental Instruments de la Estación automática de Belisario perteneciente a la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito es un proceso de gran importancia, pues, permite contrastar los resultados obtenidos evidenciando que la tendencia de los sensores de O₃, CO y PM_{2.5} es la misma que presenta el equipo TEI de la Estación Belisario.
- Acorde al perfil de emisiones mensual se tiene que las emisiones promedio para PM_{2.5} son de 15,70µg/m³; 16,51µg/m³ para O₃; 37,79µg/m³ para NO₂ y 1,26mg/m³ para CO.
- Este trabajo que ha logrado evaluar de manera cuantitativa la calidad del aire constituye una base para futuras investigaciones relacionadas a la contaminación atmosférica generada por el tráfico vehicular y el impacto que ello implica al aire ambiente y al bienestar de las personas.

4.2. RECOMENDACIONES

- Si bien se han observado mejoras representadas por el descenso de los niveles de concentración de contaminantes como el $PM_{2.5}$, se requiere de la colaboración ciudadana para que continúe ejecutando la medida de restricción vehicular “Pico y Placa”, respetando las reglas que ésta determina, incrementando los niveles de ocupación de los autos livianos, evitando la adquisición de más vehículos e incentivando el uso del transporte público. Además, cabe mencionar que durante los primeros meses de aplicación del “Pico y Placa”, se minimizó la intensidad de la congestión vehicular en las horas de mayor actividad, más con el paso del tiempo parece ser que ya no surge el mismo efecto inicial, ya sea, por el aumento de la flota vehicular o la salida más temprana o tardía de los ciudadanos desde sus respectivos hogares; por ello se recomienda que esta medida extienda su período de aplicación a todo el día y no únicamente a ciertas horas.
- Para que el monitoreo de la calidad del aire se desarrolle eficazmente con resultados precisos y confiables se recomienda cumplir con el aseguramiento de la calidad que manifiesta dejar encendido al equipo 24 horas previas a su uso para que alcance estabilidad, permaneciendo operativo durante todo el tiempo que dure el monitoreo, se recomienda verificar periódicamente la línea base al inicio y finalización de cada muestreo, verificar los flujos de cada uno de los sensores, revisar continuamente la temperatura interna del equipo, realizar una calibración punto cero y punto span, programar un mantenimiento periódico, y llevar a cabo una organizada revisión de datos.

- Para lograr aminorar las emisiones contaminantes se recomienda que se mejore la calidad de los combustibles que consumen los vehículos de la ciudad, se incorpore convertidores catalíticos a todos los vehículos los cuales deben someterse, además, a la Revisión Técnica Vehicular que permitirá mantener los niveles de las emisiones bajo los límites máximos permisibles establecidos de acuerdo a la normativa vigente de la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corpaire, (2009). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito 2007*, 1ra edición, Quito.
- [2] Manahan, S.E. (2007), *Introducción a la química ambiental*, Editorial Reverté S.A., México.
- [3] Vega de Kuyper, J., (2007). *Química del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales*, 2da edición, Editorial Alfaomega, Santiago, Chile.
- [4] Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 4.
- [5] Baird, C. (2004). *Química Ambiental*, 2da edición, Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- [6] Sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México, (2011). Recursos técnicos Monitoreo de contaminantes: Lluvia ácida, <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=7>, 14 de febrero de 2011.
- [7] Corpaire, (2011). Los contaminantes comunes del aire y sus efectos sobre la salud humana, <http://remmaq.corpaire.org/paginas/articulos/efectos.pdf>, 25 de enero de 2011.
- [8] Sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México, (2011). Recursos técnicos Monitoreo de contaminantes: Partículas, <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=3>, 18 de febrero de 2011.
- [9] Colás Aroche, J.A. (2005). *Impacto de emisiones gaseosas en calderas de tubos de fuego*. Centro de investigaciones del Petróleo (CEINPET), Cuba.

- [10] Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico Swisscontact, (2001). *Manual de Laboratorio*. Guatemala.
- [11] United States Environmental Protection Agency, (2011). Ground level ozone, <http://www.epa.gov/air/ozonepollution/>, 22 de enero de 2011.
- [12] Corpaire, Fundación Natura, Fundación Ecogestión, DMQ, (2005). *Seminario Internacional La calidad del aire: Responsabilidad de todos*. Quito.
- [13] Dirección de Medio Ambiente, (2010). *Plan Maestro de Gestión Ambiental 2004-2010*. Quito.
- [14] Distrito Metropolitano de Quito, (2011). Pico y Placa, <http://www.quito.gov.ec/laciudad/pico-y-placa-modelo.html>, 27 de febrero de 2011.
- [15] Aeroqual, (2011). Aeroqual GSS technology, <http://www.aeroqual.com/about/technology>, 27 de febrero de 2011.
- [16] Aeroqual, (2010). *Environmental Station User Guide*. Auckland, New Zealand.
- [17] Met One Instruments, E-Sampler Operation Manual, <http://www.metone.com/aerosoldocs/E-SAMPLER-9800%20Rev%20A.pdf>, 2 de marzo de 2011.
- [18] Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales, (2005). Contaminación atmosférica caso Bogotá. <http://www.humboldt.org.co/iavh/documentos/politica/conpes/CONPES%203344%20CONTAMINACION%20AIRE.pdf>, 19 de agosto de 2011.
- [19] FisicaNet, (2011). Conceptos básicos de instrumentación y control, http://www.fisicanet.com.ar/quimica/industrial/ap04_instrumentacion.php, 19 de agosto de 2011.
- [20] Corpaire, (2007). *Informe Anual 2007 La Calidad de Aire en Quito*. Quito, Ecuador.

- [21] Secretaria de Ambiente, (2010). *Informe Anual 2010 La Calidad del Aire en Quito*. Quito, Ecuador.
- [22] Harrison, R.M. (2003), *El medio ambiente - Introducción a la química medioambiental y a la contaminación*, Editorial Acribia S.A., España.
- [23] Doménech, X. (1993), *Química atmosférica Origen – Origen y efectos de la contaminación*, Miraguano Ediciones, España.
- [24] Organización Mundial de la Salud (OMS), (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra, Suiza.
- [25] Christian, G.D. (2009). *Química Analítica*. Sexta edición, Mc Graw Hill, México.
- [26] Secretaría de Movilidad de Quito, (2010). Hacia un nuevo modelo de movilidad en el DMQ, uisrael.ec/ctt/index.php?option=com_docman&task=doc, 5 de noviembre de 2011.
- [27] United States Environmental Protection Agency, (2011). National Ambient Air Quality Standards, <http://www.epa.gov/air/criteria.html>, 7 de noviembre de 2011.
- [28] Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, (2002). *Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano*. Nairobi, Kenia.
- [29] Secretaría de Movilidad del DMQ, (2011). *Síntesis de los estudios de evaluación de la aplicación del Pico y Placa*. Quito, Ecuador.
- [30] Díaz, V., Páez, C. (2005). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras*. Corporación para el mejoramiento del aire de Quito (CORPAIRE), Ecuador.

[31] Universidad Politécnica Salesiana, (2011). Análisis de tráfico urbano, <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/148/3/Capitulo%202.pdf>, 11 de febrero de 2012.

ANEXO A

INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES DESAGREGADO, DMQ

2009

Tabla A1. Inventario de emisiones de fuentes móviles desagregado, DMQ 2009

Fuentes Móviles	Contaminantes Primarios			
	CO (%)	SO₂ (%)	NO_x (%)	PM_{2.5} (%)
Particulares gasolina	29,7	2,8	10,2	3,0
Taxis a gasolina	7,9	0,6	3,2	0,6
Busetas a gasolina	5,3	0,2	0,8	0,1
Buses a gasolina	1,1	0,0	0,2	0,1
Pick up a gasolina	21,0	1,2	8,2	1,2
Pesados a gasolina	9,3	0,1	0,6	0,4
Motos	6,9	0,2	0,3	0,3
Particulares a diesel	0,1	0,2	0,2	1,0
Taxis a diesel	0,0	0,0	0,0	0,0
Busetas a diesel	0,0	0,1	0,0	0,1
Buses a diesel	4,1	1,9	8,6	9,0
Pesados a diesel	11,8	4,6	20,0	29,8
Total	97,3	11,9	52,3	45,6

ANEXO B

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Tabla B1. Comparación de técnicas de monitoreo de la calidad del aire

Técnica	Ventajas	Desventajas
Muestreadores pasivos	<ul style="list-style-type: none"> -Muy bajo costo -Muy simples -Útiles para estudios base 	<ul style="list-style-type: none"> -No para todo contaminante -Promedios semanales -Requiere análisis de laboratorio
Muestreadores activos	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo costo -Fácil de operar - Confiables en operación 	<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona concentraciones pico o alerta -Trabajo intenso -Requiere análisis de laboratorio
Analizadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> -Alto funcionamiento -Datos horarios -Datos online -Bajos costos directos 	<ul style="list-style-type: none"> -Complejos y caros -Requiere técnicos calificados -Altos costos de operación
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> -Útiles para mediciones verticales en la atmósfera 	<ul style="list-style-type: none"> -Complejos y caros -Difíciles de operar, calibrar y operar -No son comparables con analizadores convencionales
Bioindicadores	<ul style="list-style-type: none"> -Baratos -Útiles para identificar contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> -Difícil estandarización -Algunos requieren análisis de laboratorio

ANEXO C

GRÁFICAS DE CALIBRACIÓN PUNTO CERO Y PUNTO SPAN DE LOS SENSORES CO, NO₂, O₃

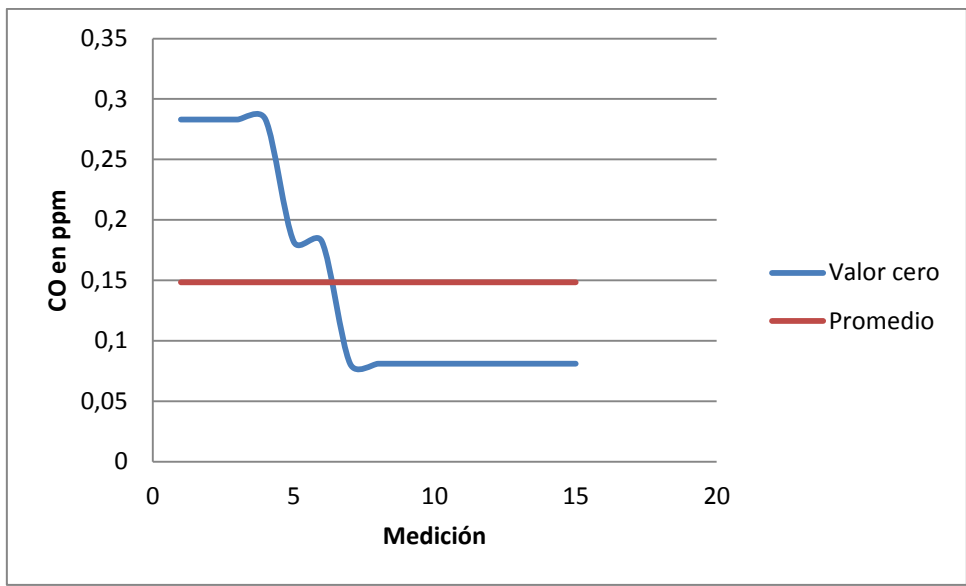


Figura C.1. Gráfica de calibración punto cero del sensor de CO

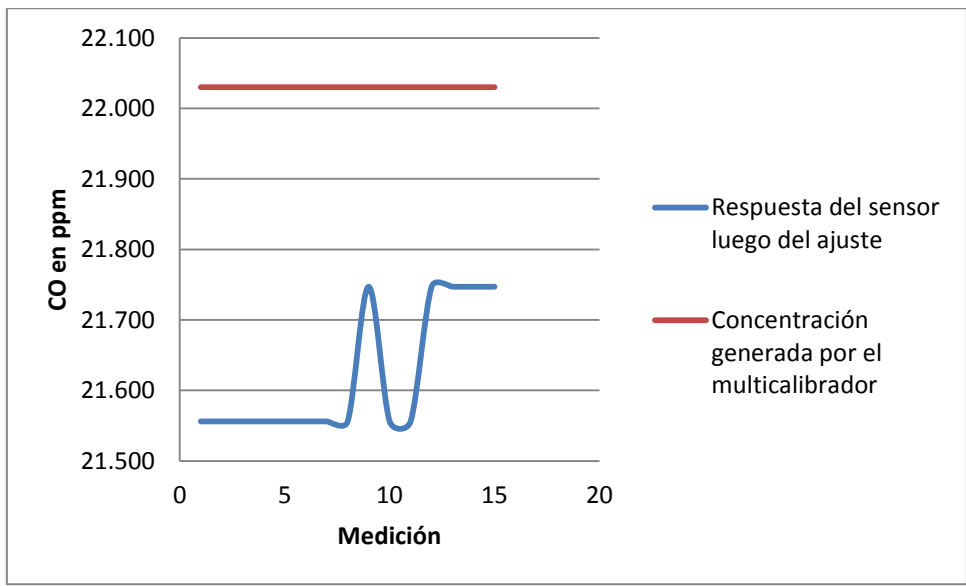


Figura C.2. Gráfica de calibración punto span del sensor de CO

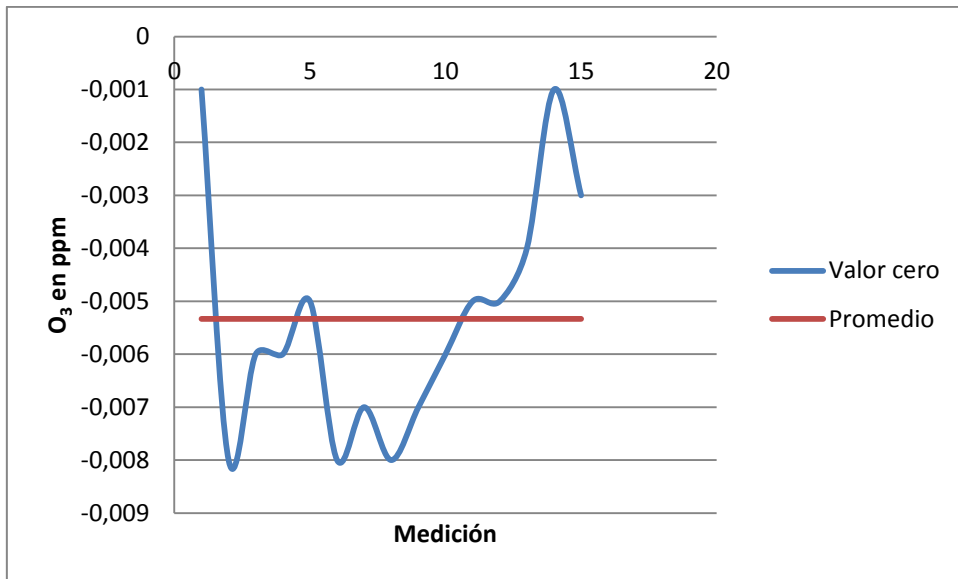


Figura C.3. Gráfica de calibración punto cero del sensor de O₃

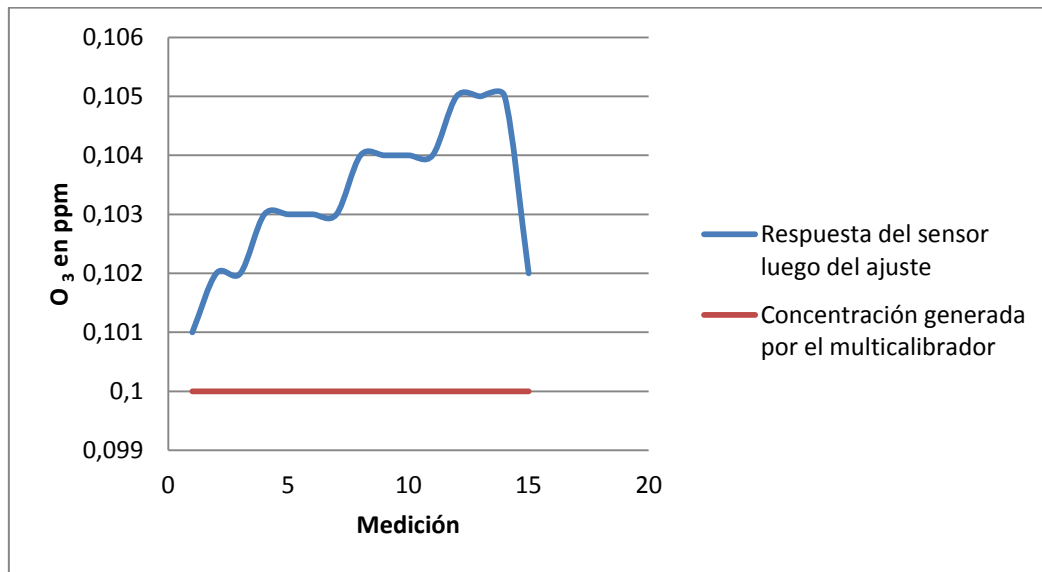


Figura C.4. Gráfica de calibración punto span del sensor de O₃

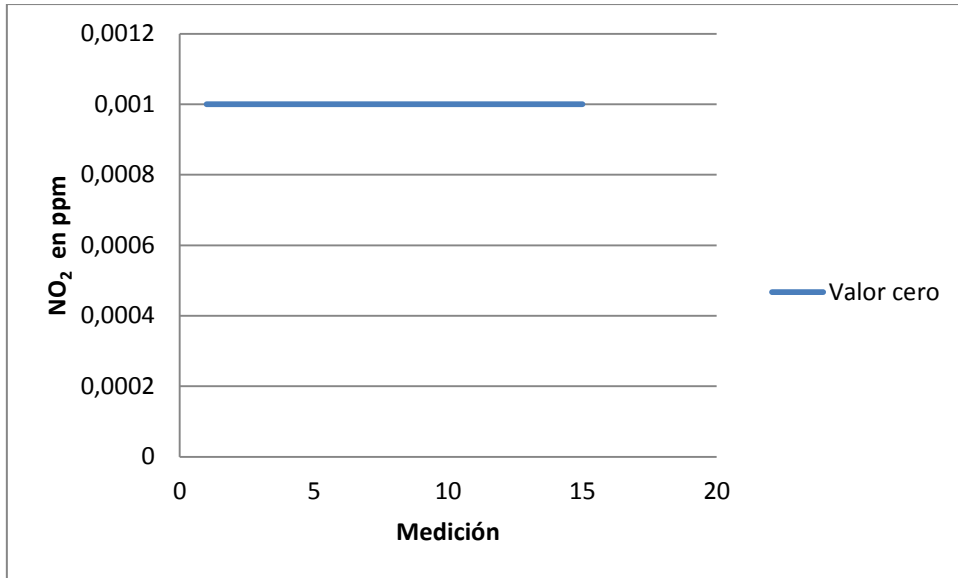


Figura C.5. Gráfica de calibración punto cero del sensor de NO₂

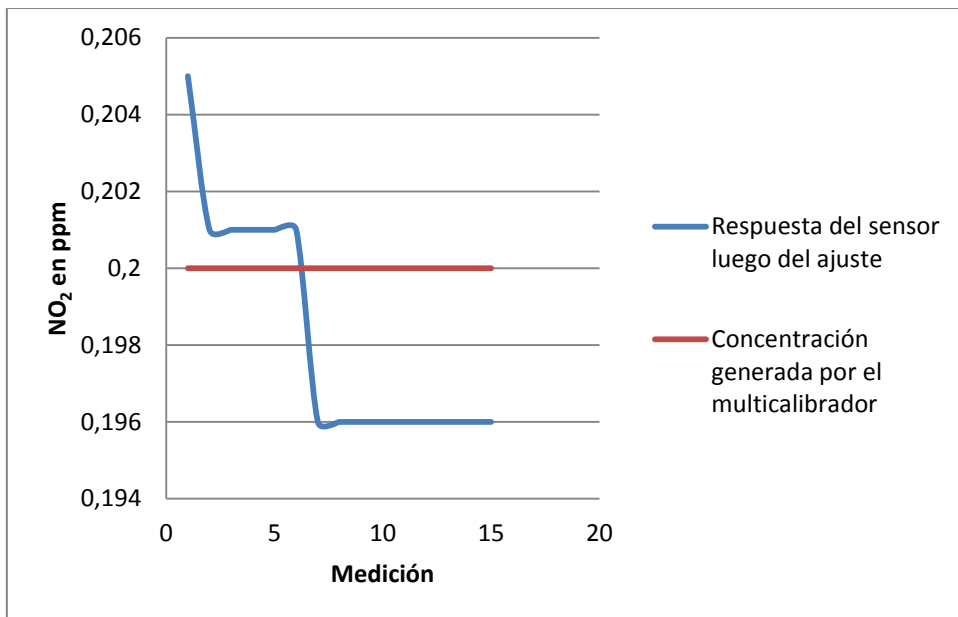


Figura C.6. Gráfica de calibración punto span del sensor de NO₂

ANEXO D

CÁLCULOS

- Cálculo de la media aritmética

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

$$C_{CO} = \frac{324,35ppm}{15}$$

$$C_{CO} = 21,62ppm$$

- Cálculo de la densidad

$$\delta_{cont} = \frac{M \times P}{R \times T}$$

$$\delta_{CO} = \frac{28g/mol \times 1atm}{0,082atmL/molK \times 298K}$$

$$\delta_{CO} = 1,14g/L$$

- Corrección de la concentración medida

$$C_{CN} = C_n \times \delta_{cont}$$

$$C_{CO} = 22,03ppm \times 1,14g/L$$

$$C_{CN} = 25,11mg/m^3$$

$$C_{O_3} = 0,02ppm \times 1,9643g/L$$

$$C_{O_3} = 0,03929mg/m^3 \times 1000\mu g/mg$$

$$C_{O_3} = 39,29\mu g/m^3$$

- Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{N - 1}}$$

Donde,

s: Desviación estándar

x_i : Mediciones individuales

x : Media aritmética

N-1: Grados de libertad

Tabla D1. Resultados de los valores de cero y span obtenidos en la calibración del sensor de CO

Medición	Concentración generada API 700E (ppm)	Respuesta del sensor luego de ajuste (ppm) x_i	$x_i - x$	$(x_i - x)^2$
1	22,03	21,56	-0,06	0,0036
2	22,03	21,56	-0,06	0,0036
3	22,03	21,56	-0,06	0,0036
4	22,03	21,56	-0,06	0,0036
5	22,03	21,56	-0,06	0,0036
6	22,03	21,56	-0,06	0,0036
7	22,03	21,56	-0,06	0,0036
8	22,03	21,56	-0,06	0,0036
9	22,03	21,75	0,13	0,0169
10	22,03	21,56	-0,06	0,0036
11	22,03	21,56	-0,06	0,0036
12	22,03	21,75	0,13	0,0169
13	22,03	21,75	0,13	0,0169
14	22,03	21,75	0,13	0,0169
15	22,03	21,75	0,13	0,0169
x	22,03	21,62	Suma	0,1205

$$s = \sqrt{\frac{0,1205}{15 - 1}}$$

$$s = 0,0927$$

- Cálculo de coeficiente de variación

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{s}{x} \times 100\%$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{0,0927}{21,62} \times 100\% = 0,4288\%$$

- Cálculo de error medio

$$\text{Error medio} = \text{valor verdadero medio} - \text{valor medido medio}$$

$$\text{Error medio} = 22,03\text{ppm} - 21,62\text{ppm}$$

$$\text{Error medio} = 0,4110\text{ppm}$$

- Cálculo de error relativo

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error medio}}{\text{valor verdadero promedio}} \times 100\%$$

$$\text{Error relativo} = \frac{0,4110}{22,03\text{ppm}} \times 100\%$$

$$\text{Error relativo} = 1,866\%$$

- Cálculo de exactitud relativa

$$\text{Exactitud relativa} = \frac{\text{Valor medido promedio}}{\text{Valor verdadero promedio}} \times 100\%$$

$$\text{Exactitud relativa} = \frac{21,62\text{ppm}}{22,03\text{ppm}} \times 100\%$$

$$\text{Exactitud relativa} = 98,14\%$$

- Cálculo del nivel de confianza

$$\text{Nivel de confianza} = x \pm \frac{t \times s}{\sqrt{N}}$$

Donde,

x : Media aritmética

t : Factor estadístico que depende del número de grados de libertad y el nivel de confianza que se desee

s : Desviación estándar

N : Número de mediciones

En el nivel de confianza de 95% y catorce grados de libertad, $t = 2,145$

$$\text{Nivel de confianza} = 21,62 \pm \frac{2,145 \times 0,0927}{\sqrt{15}}$$

$$\text{Nivel de confianza} = 21,62 \pm 0,0513\%$$

ANEXO E

VERIFICACIÓN DE FLUJOS DE LOS MÓDULOS DE LOS SENSORES DE CO, NO₂,

O₃

Tabla E1. Verificación de flujos del sensor de O₃

Medición	Medida del flujo por el flujómetro (L/min)
1	0,12
2	0,13
3	0,13
4	0,11
5	0,12
6	0,13
7	0,13
8	0,11
9	0,12
10	0,12
Promedio	0,12
Especificación	0,10-0,15
Desviación estándar	0,0079

Tabla E2. Verificación de flujos del sensor de NO₂

Medición	Medida del flujo por el flujómetro (L/min)
1	0,065
2	0,061
3	0,063
4	0,062
5	0,062
6	0,061
7	0,062
8	0,062
9	0,061
10	0,062
Promedio	0,062
Especificación	0,060-0,070
Desviación estándar	0,0012

Tabla E3. Verificación de flujos del sensor de CO

Medición	Medida del flujo por el flujómetro (L/min)
1	0,062
2	0,065
3	0,065
4	0,062
5	0,066
6	0,063
7	0,062
8	0,062
9	0,065
10	0,065
Promedio	0,064
Especificación	0,050-0,25
Desviación estándar	0,0016

ANEXO F

**GRÁFICAS DE TEMPERATURA INTERNA DEL EQUIPO AQM60,
TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE**

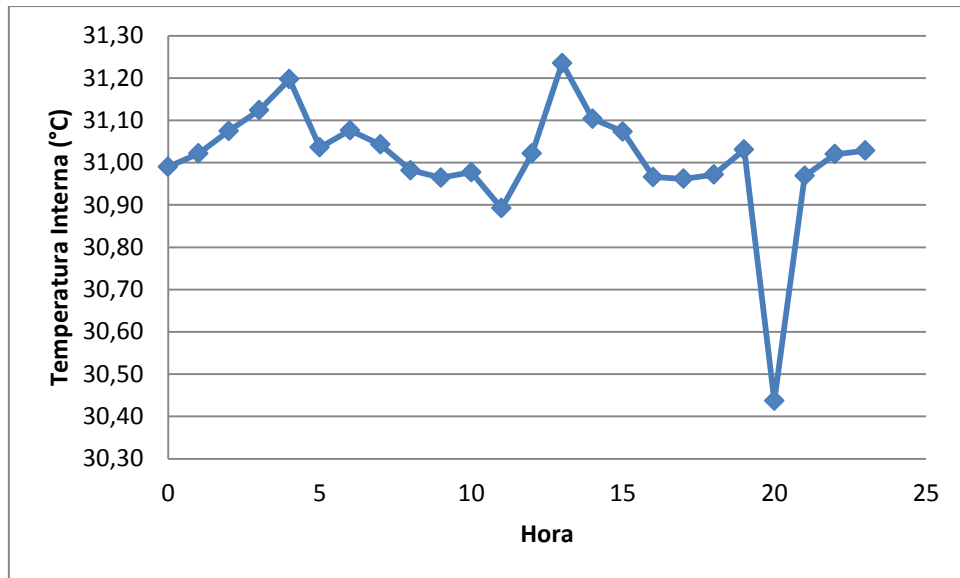


Figura F1. Gráfica de temperatura interna (°C) promedio del equipo AQM60 acorde al tiempo (abril 2011)

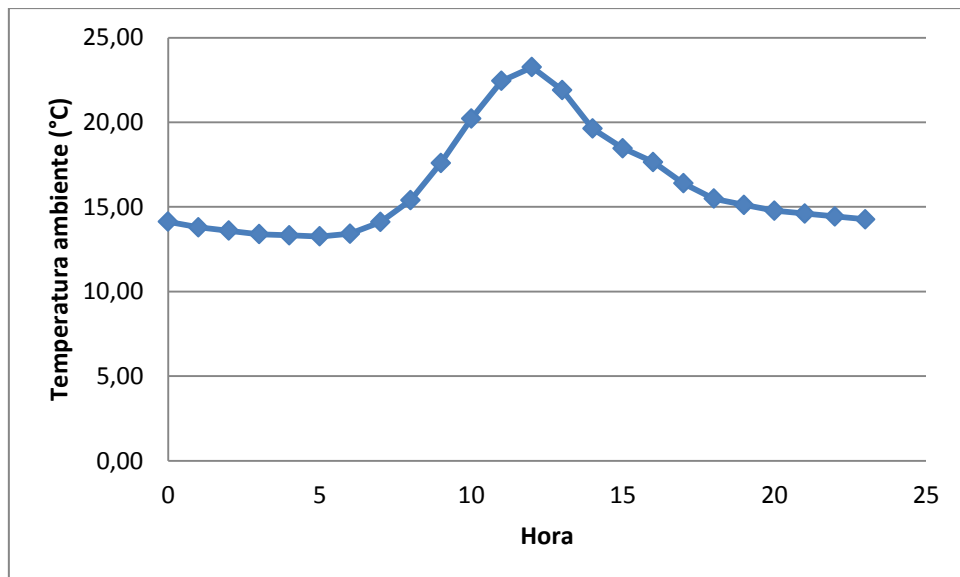
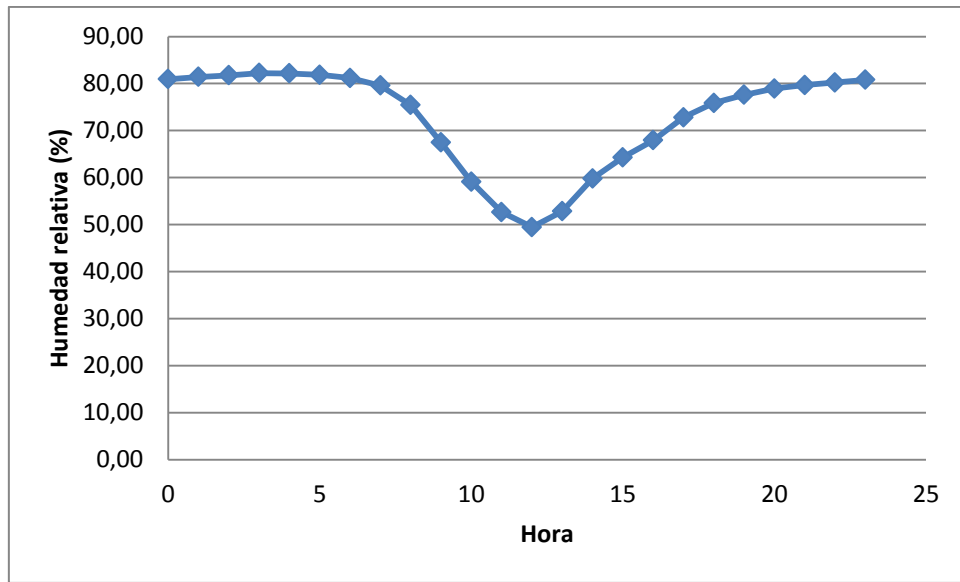


Figura F2. Gráfica de temperatura ambiente (°C) promedio acorde al tiempo (abril 2011)



**Figura F3. Gráfica de humedad relativa (%) promedio del ambiente acorde al tiempo
(abril 2011)**

ANEXO G

**NORMAS GENERALES PARA LAS CONCENTRACIONES MÁXIMAS
PERMITIDAS DE LOS CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE ESTABLECIDO
POR LA ENTIDAD AMBIENTAL DE CONTROL**

Tabla G1. Normas generales para las concentraciones máximas permitidas de los contaminantes comunes del aire establecido por la Entidad Ambiental de Control

Contaminante	Valor*	Período de medición	Excedencia permitida
CO	10mg/m ³	Concentración en 8 horas consecutivas	1 vez por año
	40mg/m ³	Concentración máxima en 1 hora	1 vez por año
O₃	120µg/m ³	Concentración máxima en 8 horas consecutivas	1 vez por año
	160µg/m ³	Concentración máxima en una hora	1 vez por año
NO₂	100µg/m ³	Promedio aritmético de todas las muestras en 1 año	No se permite
	150µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas de todas las muestras colectadas	2 veces por año
SO₂	80µg/m ³	Promedio aritmético de todas las muestras en 1 año	No se permite
	350µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas de todas las muestras colectadas	1 vez por año
PM_{2.5}	15µg/m ³	Promedio aritmético de todas las muestras en 1 año	No se permite
	65µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas de todas las muestras colectadas	2 veces por año

*Reportados en condiciones de referencia (25°C de temperatura y 760mm Hg de presión atmosférica)

ANEXO H

**RESULTADOS DEL CONTEO VOLUMÉTRICO DE TRÁFICO REALIZADO EN LA
AV. 12 DE OCTUBRE**

Tabla H1. Conteo manual volumétrico de tráfico en la Av. 12 de Octubre (02/02/2012)

Sentido	8h00 – 9h00			
	Livianos	Buses	Pesados	Total
Norte - Sur	1373	110	4	1487
Sur- Norte	1262	129	5	1396
Total	2635	239	9	2883
	9h00-10h00			
	Livianos	Buses	Pesados	Total
Norte - Sur	1250	90	4	1344
Sur- Norte	1007	102	2	1111
Total	2257	192	6	2455
	12h00-13h00			
	Livianos	Buses	Pesados	Total
Norte - Sur	989	109	6	1425
Sur- Norte	1003	121	4	1128
Total	1992	230	10	2232
	16h00-17h00			
	Livianos	Buses	Pesados	Total
Norte - Sur	1026	109	2	1137
Sur- Norte	1124	128	3	1255
Total	2150	237	5	2392
	17h00-18h00			
	Livianos	Buses	Pesados	Total
Norte - Sur	1335	114	1	1450
Sur- Norte	1235	130	3	1368
Total	2570	244	4	2818

ANEXO I

CERTIFICADO TANQUE MULTIGAS



Praxair México, S.A. de C.V.
 Laboratorio de Control de
 Calidad de Producto y
 Producción de Materiales de
 Referencia
 Planta Santo Domingo
 Autopista Méx-Qro. Km. 32.5
 54900 Tultitlán, Edo. de México.
 Tels.: 5899-3000 • 5899-3024
 Fax: 5899-3075

INFORME DE ENSAYO GASES ESPECIALES

CLIENTE:
 ATENCION:
 DIRECCION:

FECHA INFORME: 2010, Febrero 7.
 No. DE CONTROL: 43726
 PLANTA PRODUCTORA: Santo Domingo
 SOLICITUD: SDRS_2005_0281641*2
 FECHA DE MEDICION: 2010, Febrero 3.

A la mezcla de calibración solicitada bajo el pedido referido, se le ha efectuado el ensayo de Laboratorio obteniéndose los siguientes resultados.

MENSURANDO	RESULTADO DE ENSAYO	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (U, k = 2)
Oxido Nítrico	52,5 µmol / mol	+/- 1,0 µmol / mol (+/- 2 % rel.)
Bióxido de Azufre	30,6 µmol / mol	+/- 0,6 µmol / mol (+/- 2 % rel.)
Monóxido de Carbono	3024 µmol / mol	+/- 60 µmol / mol (+/- 2 % rel.)
Nitrógeno	Balance	
NOx= 52,6 µmol / mol		

GRADO	No. DE CILINDRO	No. LOTE	CADUCIDAD
Patrón de Calibración	CC78379	L-502923	2012, Febrero 3

TIPO DE CILINDRO	PRESION	VOLUMEN	CONEXIÓN
" AS "	13,79 MPa igual a 2000 psig	4,05 m3 a 21 °C, 1013 hPa (1 atm)	CGA-660

METODO DE LLENADO	PROCEDIMIENTO INTERNO DE ENSAYO	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
Gravimétrico de acuerdo al ZZI-02-021 (*)	QQ/I-02-056/0	QQ/I-02-043 "Muestreo de Cilindros"

(*) Referencia ISO 6142:2001, "Analysis Gas - Preparation of Calibration Gas Mixture - Gravimetric Method"

PATRON DE REFERENCIA UTILIZADO

Tipo	No. de Cilindro	Fecha de Caducidad	Concentración	U K=2
NO-02-150-0404	(*) CC 89879	2010, Marzo 31	NO-NOx 50,23-50,42 µmol / mol / N2	+/- 0,39 µmol / mol
RHS-02-150-0802	(**) CC63804	2010, Agosto 1	SO2 51,05 µmol / mol / N2	+/- 0,4 µmol / mol
CO-02-550-0102	(***) CC 132921	2011, Enero 1	CO 3013 µmol / mol / N2	+/- 21 µmol / mol

(*) Trazable a SRM-1683b, No. de Serie FF16538 , Composición NO-NOx 46,7-46,7 µmol / mol / N2, Incertidumbre +/- 0,3 µmol / mol

(**) Trazable a SRM-1694a, No. de Serie CAL010686 , Composición SO2 97,6 µmol / mol / N2, Incertidumbre +/- 0,05 µmol / mol

(***) Trazable a SRM-2638a, No. de Serie CAL011669 , Composición CO 4910 µmol / mol / N2, Incertidumbre +/- 21 µmol / mol

Todos los patrones primarios procedentes del NIST y NMI, fueron registrados ante la DGN con folios: DGN.312.07.2003.2513 y DGN.312.07.2004.562, DGN.312.07.2004.3074. En cumplimiento de los artículos 26 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 20 y 24 de su reglamento en relación con la autorización de Trazabilidad hacia patrones extranjeros.

IMPORTANTE

La información aquí contenida ha sido preparada por personal experto de Praxair México a manera de orientación hacia el usuario. Las Técnicas analíticas sugeridas han demostrado una alta confiabilidad en sus resultados, sin embargo el uso que se de esta información estará bajo la responsabilidad exclusiva del usuario. Este informe no puede ser reproducido sin autorización del Laboratorio de Control de Calidad de Producto y Producción de Materiales de Referencia de Praxair México, S.A de C.V., Planta Santo Domingo.

QQ/R-02-032/1

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Michelle Espín Bahamonde, C.I. 1722815741 autor del trabajo de graduación intitulado: “Estudio de la Contaminación Generada por la Emisión de Gases y Material Particulado de las Fuentes Móviles en el Aire de Quito, previos al Pico y Placa y durante su Ejecución mediante el Sistema Aeroqual”, previa a la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 12 de abril de 2012

Srta. Michelle Espín Bahamonde

C.I. 1722815741

