



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA  
UNPHU

VICERRECTORIA DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN

PROGRAMA DE MAestrÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

Contaminación Atmosférica en el Túnel Av. 27 de Febrero tramo Av. Churchill - Av. Lincoln

Trabajo de Grado presentado por Ing. Carlos David Pérez Mármol  
para la obtención del grado de Maestría Ingeniería Ambiental

Santo Domingo, Republica Dominicana

2005

## Agradecimientos

---

A Dios principalmente, por estar siempre conmigo, por mostrarme la grandeza de sus obras, por darme la oportunidad de seguir hacia delante, por darme la sabiduría cuando la he necesitado y por cubrirme con el manto de misericordia, gracia y perdón en los momentos difíciles de mi vida.

A mi padre, mi madre, mis hermanos de sangre, abuela y sobrinas, por ser las herramientas que fortalecen mis ansias de ser, de vivir y de continuar.

A mis hermanos en Cristo y muy especialmente a los que colaboraron directa o indirectamente con este proyecto; Gina, Stefanie, Pablo, Cristi, Teresa, Ángel, María ..... Gracias de verdad, que Dios los bendiga a todos.

A mis compañeros de maestría, a todos y muy especialmente a: Idalina, Adelka, Sixto, Ramón, Eliseo, Angélica, gracias por ser parte de mí.....éxito en sus vidas.

A José Andrés, Pedro, Yolanda, mis asesores, gracias a sobremanera por el empeño incondicional de trabajo y de hacer junto conmigo un sueño hecho realidad.

A todos mis maestros, gracias por transmitirme parte de sus conocimientos. Muy especialmente a: Pedro Castillo, Guarocuya González, José Andrés, Yolanda, Belchi, Cavallo. Sigán así enalteciendo al profesorado y trabajando por la competitividad de los profesionales de hoy.

# CONTENIDO

## Página

<b>Capítulo 1. Introducción y Objetivos.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivos generales.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
 <b>Capítulo 2. Fundamentos Teóricos.....</b>	 <b>7</b>
2.1 Origen de la Contaminación Atmosférica (Emisiones).....	7
2.2 Focos antropogénicos de emisión.....	9
2.3 Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles.....	10
2.4 Vehículos Automóviles.....	11
2.4.1 Mecanismos por los cuales se forma contaminación en los motores de forma general.....	13
2.4.2 Contaminación del aire por vehículos de motor.....	13
2.4.3 Composición de los gases de los motores Diesel emitidos por el tubo de escape.....	13
2.4.4 Contaminantes atmosféricos: Características y efectos a la salud.....	14
2.5 Correlación entre las Inmisiones y las Emisiones de Contaminantes.....	23
2.6 Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica....	24
2.7 Atmósfera.....	27
2.8 Temperatura.....	28
2.9 Viento.....	29
2.10 Definiciones de soporte .....	29

<b>Capítulo 3. Estado actual de los conocimientos.....</b>	<b>30</b>
3.1 Origen de los corredores principales de la ciudad de Santo Domingo.....	31
3.2 Características del transporte urbano actual en Santo Domingo.....	32
3.2.1 Ampliación de las vías.....	32
3.3 Descripción del corredor Av. 27 de febrero.....	33
3.3.1 Av. Luperón – Leopoldo Navarro.....	33
3.3.2 Tramo I.- Av. Luperón – c/ Dr. Defilló.....	33
3.3.2.1 Tramo II.- c/ Dr. Defilló – Av. Tiradentes.....	33
3.4 Características físicas del corredor.....	34
3.4.1 Asfalto.....	34
3.4.2 Iluminación, semaforización y señalización.....	34
3.4.3 Iluminación túneles.....	34
3.4.4 Semaforización.....	35
3.4.4.1 Poste semáforos.....	35
3.4.4.2 Semáforos.....	35
3.4.5 Señalización.....	35
3.4.5.1 Señalización vertical.....	35
3.4.5.2 Señalización horizontal.....	35
3.5 Evaluación rápida de la contaminación. ....	35
3.6 Resumen de documentación y estudios existentes.....	37
3.6.1 Cálculo de extractores .....	39

	39
3.6.2.1 Número de extractores necesarios, tomado en cuenta los CFM existentes.....	39
3.6.2.2 Volumen de aire requerido.....	39
3.6.2.3 Relación aire que entra - aire que sale.....	39
3.6.2.4 Extractores.....	41
3.7 Análisis comparativo.- (túnel de la 27 vs. túnel de las América).....	42
3.8 Posible solución según el análisis comparativo.....	43
3.9 Parque vehicular de la República Dominicana.....	44
3.10 Estándares de calidad del aire, según las normas sobre la calidad del aire y control de las emisiones atmosféricas en Republica Dominicana.....	45
3.11 Esquema de extractores.....	47
3.11.1 Plano de ubicación de los extractores.....	47
<b>Capítulo 4. Metodología.....</b>	<b>51</b>
4.1 Conversión de unidades.....	52
4.2 Descripción de equipos y métodos.....	52
4.2.1 Equipos.....	52
4.2.2 Método.....	53
4.3 Plan de monitoreo.....	54
4.4 Plan experimental.....	55
4.5 Plan de trabajo.....	56
4.6 Herramientas para el levantamiento de informaciones.....	57
4.6.1 Modelo de hoja para el conteo realizado en horas de muestreo.....	57
4.6.2 Modelo de hoja para el muestreo realizado en el túnel de la 27.....	58
4.7 Esquema de estaciones.....	59
4.7.1 Plano de ubicación de las estaciones de muestreo.....	59
4.8 Ubicación del objeto en estudio.....	61

# CONTENIDO

<b>Capítulo 5. Resultados</b> .....	51
5.1 Definición del área en estudio.....	63
5.1.1 Características típicas del objeto en estudio (túnel de la 27 Churchill - Lincoln).....	63
5.2 Resultado del muestreo.....	64
5.3 Resumen de los resultados .....	74
<b>Capítulo 6. Análisis y Discusiones</b> .....	77
6.1 Justificación de la estrategia de trabajo.....	78
6.2 Análisis.....	79
6.3 Discusiones.....	79
6.4 Tendencia lineal de los contaminantes.....	82
<b>Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	91
7.1 Conclusiones.....	92
7.2 Recomendaciones.....	94
<b>Capítulo 8. Anexos</b> .....	145
8.1 Conversión de gases.....	97
8.2 Otras conversiones utilizadas.....	98
8.3 Riesgos del monóxido de carbono.....	98
8.3.1 Relación PPM CO - tiempo de exposición – efectos en el hombre.....	99
8.4 Resumen estaciones .....	100

# CONTENIDO

## Índice de Imágenes y Tablas

### IMAGENES

1. Croquis ubicación.....	2
2. Simulación congestión.....	4
3 y 4. Contaminación vehicular por automóviles.....	12
5. Av. 27 de Febrero.....	13
6 y 7. Túnel Av. 27 de Febrero.....	32
8. Boulevard de la Av. 27 de Febrero.....	46
9. Interior Túnel Av. 27 de Febrero.....	46
10. Plano ubicación extractores.....	47
11. Túnel de la Av. 27 de Febrero.....	49
12. Equipo muestreo.....	53
13. Plano ubicación estaciones de muestreo.....	59
14. Mapa polígono central.....	61
15. Relación PPM CO.....	99

### TABLAS

Tabla 1. Focos antropogénicos de emisiones primarias.....	7
Tabla 2. Porcentajes de las emisiones primarias naturales y antropogénicas.....	8
Tabla 3. Efectos en la salud humana por exposición a óxidos de nitrógeno.....	15
Tabla 4. Efectos en la salud por exposición a Monóxido de Carbono.....	19
Tabla 5. Efectos en la salud humana por exposición a Ozono, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS).....	20
Tabla 6. Efectos en la salud humana por exposición a material particulado. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS).....	21

# CONTENIDO

Tabla 7. Efectos en la salud de los niños por exposición al plomo Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS).....	22
Tabla 8. Características de los extractores del túnel.....	37
Tabla 9. Air Change Rate.....	38
Tabla 10. Cálculo del número de extractores requeridos por cantidad de vehículos.....	40
Tabla 11. Parque Vehicular de la Republica Dominicana (2003).....	44
Tabla 12. Características extractores.....	64
Tablas estaciones 1-14m.....	66
Tabla factores de conversión.....	97
Resumen del oxido de nitrógeno.....	101
Muestreo estaciones.....	107
Valores promedio.....	144
Efectos en la salud humana por estaciones.....	168
Valores guías para contaminantes clásicos según la OMS.....	169
Estándares de la EPA de calidad de aire.....	170

# CAPITULO 1

Introducción y Objetivos

Los problemas de contaminación atmosférica a nivel general y sus efectos sobre la salud son ampliamente conocidos por el impacto negativo que producen directa o indirectamente.

En un tema más específico, el automóvil ha aparecido de forma masiva en las ciudades, contribuyendo a incrementar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de los gases contaminantes que se emiten por los tubos de escape. Los principales contaminantes lanzados por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de azufre (SOx) y compuestos de plomo, los cuales van degradando el medio, sus componentes vivos (humanos, animales, plantas), y componentes físicos y químicos.

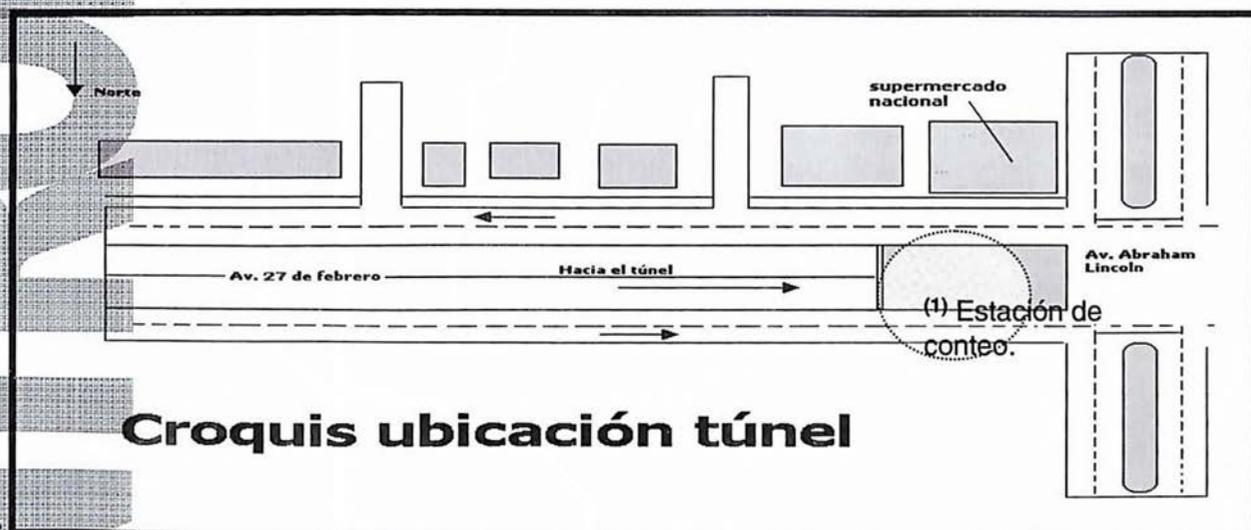
Los gases sulfurados y de otra naturaleza contenidos en los derivados del petróleo, como en la gasolina, el gasoil y el gas propano básicamente, se disipan con cierta facilidad en ambientes bien ventilados (en caso de que las condiciones generales así lo permitan), debido al poder diluyente del aire limpio y oxigenado. Sin embargo, estas emisiones gaseosas se concentran, aumentando extraordinariamente su poder contaminante en ambientes cerrados, con poca o ninguna regeneración del aire.

La ciudad de Santo Domingo tiene aproximadamente tres millones de habitantes, de los cuales más de una tercera parte enfrenta carencias de espacios y otros servicios públicos básicos. La demanda de estos servicios, unida a la nueva realidad del crecimiento en los últimos años, se ha reflejado en un aumento alarmante del parque vehicular del Distrito Nacional. Actualmente se hacen alrededor de 3.46 y 3.86 millones de viajes motorizados diariamente en la ciudad, correspondiendo a una tasa de generación de viajes diaria entre 1.73 y 1.93 viajes por habitante. En Santo Domingo aparte del automóvil particular que mueve entre 833,000 y 967,000 viajes diariamente, se mueven en transporte público más de 2,624,000 usuarios del mismo (2003).

Como forma de agilizar el tránsito en la ciudad capital, nacieron los denominados corredores viales, soluciones que pretendieron hacer más sencillo y menos caótico la circulación vehicular. Los corredores se construyeron de forma elevada, subterránea o simples ampliaciones de avenidas, en función de los proyectos desarrollados.

Al contrario de los elevados y de las ampliaciones viales, los túneles son recintos cerrados por donde ingresan vehículos que contaminan y donde las emisiones de gases fruto de trasiego motorizado, se ven atrapados existiendo pocas posibilidades de evacuación. Por eso, hay que dotarlos de sistemas de extracción, ventilación, mantenimiento, etc. que garanticen una eficaz renovación de aire limpio y evite ocasionar eventos contaminantes, o periodos permanentes de contaminación como se asume que existe en el túnel de la Av. 27 de Febrero.

Nuestra área de estudio es precisamente el Túnel de la Av. 27 de febrero, tramo de las Av. Winston Churchill - Av. Abraham Lincoln (Ver figura A). Dicho proyecto en su fase de diseño contempló sistemas de detección y control de contaminación. En la actualidad éstos sistemas se encuentran fuera de servicio, situación que violenta los criterios de salud ambiental y la implementación y operación de control que debe generar una facilidad de tal magnitud.



**Croquis ubicación túnel**

Figura A. Entrada este – oeste al túnel. (1) Estación de conteo vehicular.

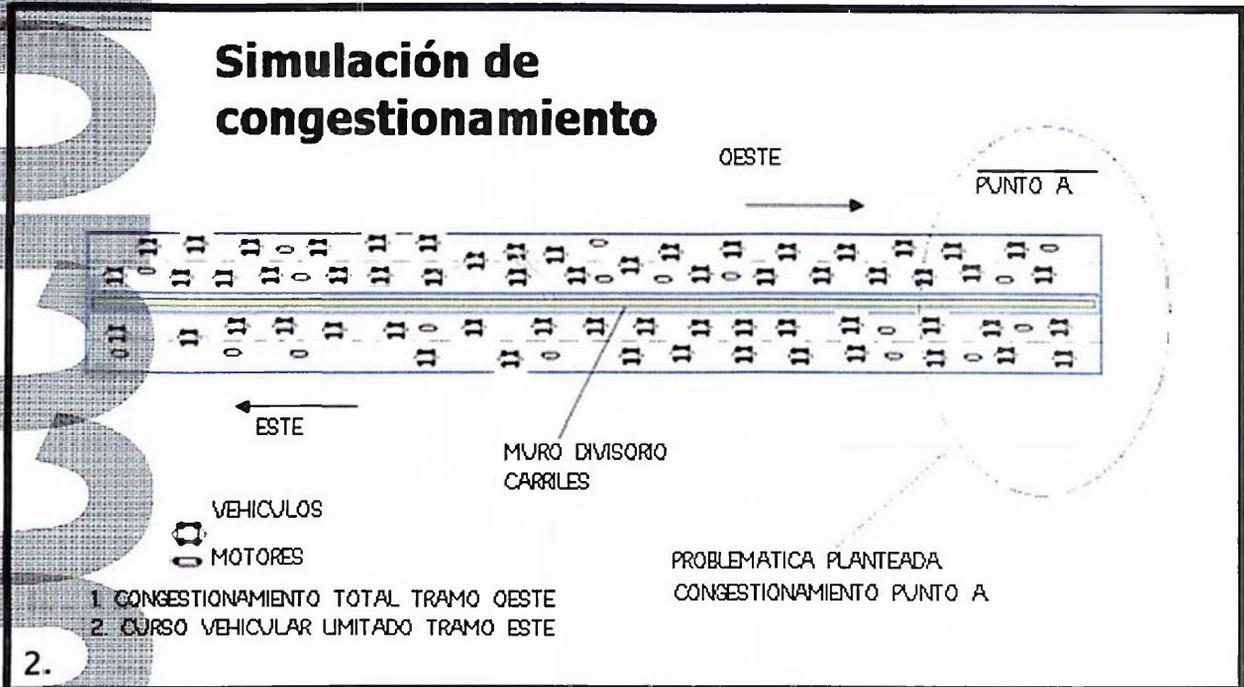
Por tal motivo se decidió realizar una evaluación de las emisiones contaminantes primarias (contaminación) del paso a desnivel (túnel) de la Av. 27 de febrero, específicamente del tramo que corresponde al paso desde la Av. Churchill a la Av. Lincoln, por los focos (fuentes) móviles de origen antropogénicas (ocasionadas por el hombre) que incurren en esa zona (área de estudio).

En condiciones normales del paso vehicular a través del túnel, se observan condiciones atmosféricas preocupantes. Para conductores que se transportan con los cristales abajo, la temperatura es un factor sofocante dentro del túnel y los olores fuertes no pasan desapercibidos. Para los usuarios que conducen con cristales arriba, la poca visibilidad en el área le hace pensar que las cosas internamente no andan bien, asumiendo que el problema radica en la acumulación de humos producto del paso normal de los vehículos dentro del túnel.

Ante la preocupación de riesgo a la salud, es una necesidad que un gran número de usuarios al llegar al túnel, cierran inmediatamente los cristales, sin importar la temperatura, época del año, etc.

Una de las situaciones que motivó el desarrollo de este trabajo, fue la hipótesis planteada (Ver figura B) al momento de un accidente dentro del área en estudio. Desde esta perspectiva la problemática es aun más preocupante, debido a que se estima que en caso de un estancamiento vehicular en el túnel, las emisiones de los vehículos allí presentes saturarían el área produciendo un evento de alto riesgo a las personas. Es este caso el que por motivos de seguridad se quiere evitar, ya que el tiempo de exposición en el que estarían las personas, sería una incertidumbre.

Figura B. Simulación de congestionamiento.



Tal y como se mencionó, el mayor problema se efectuará en el caso de producirse un accidente vehicular en las horas picos en unos de los extremos de salida en cualquiera de las dos direcciones. Habrá un congestionamiento total, al tiempo en que todos los vehículos estarán estacados expulsando al aire el gas contaminante. Igualmente en la vía contraria se realizará un lento tráfico por la zona, aportando concentraciones de gases sin salir, altas temperaturas, y opacidad en el área.

Existen suficientes razones que dan peso a nuestra investigación. De esta forma, el trabajo estuvo orientado a determinar los niveles de contaminación en el área de estudio, por medio de la realización de pruebas de campo y la valoración de la difusión de dichos contaminantes en la atmósfera del túnel.

### 1.2.1 Objetivos Generales

Realizar una evaluación de la contaminación por fuentes móviles en la Av. 27 de febrero, específicamente en el túnel correspondiente al tramo Av. Winston Churchill – Av. Abraham Lincoln.

Determinar o establecer si realmente existe o no una contaminación significativa que pueda causar daño a la salud de los usuarios de tan importante vía de tránsito.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar los niveles de contaminación atmosférica.

Calcular las posibles concentraciones de gases en sus horas picos y horas bajas.

Dar a conocer el flujo vehicular en la zona y la estructura del mismo.

Evaluar los sistemas generales del túnel.

Verificar la funcionalidad de los sistemas internos del área en estudio.

Verificar si la cantidad de los extractores existentes son los necesarios para la adecuada ventilación de los gases generados.

Determinar los tiempos de exposición de los usuarios en distintas situaciones.

# CAPITULO 2

Fundamentos Teóricos

**II. Fundamentos Teóricos**

**2.1 Origen de la Contaminación Atmosférica (Emisiones)**

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas.

Las emisiones primarias originadas por los focos naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos. Por su parte, los principales focos antropogénicos de emisiones primarias los podemos clasificar en:

**Tabla 1. Focos antropogénicos de emisiones primarias**

<b>Focos fijos</b>	Industriales	Procesos industriales
		Instalaciones fijas de combustión
	Domésticos	Instalaciones de calefacción
<b>Focos móviles</b>	Vehículos automóbiles	
	Aeronaves	
	Buques	
<b>Focos compuestos</b>	Aglomeraciones industriales	
	Áreas urbanas	

Todo el material colocado como Fundamento Teórico fue extraído de:  
 Contaminación del aire por la industria, Albert Parker. Editorial Reverté. (1993)  
 La contaminación atmosférica, José Manuel Sanz SA. CPSGTM OPT Madrid, (1991)

Si atendemos a la distribución espacial de la emisión de contaminantes, podemos clasificar los focos en: puntuales, tales como las chimeneas industriales aisladas; lineales, por ejemplo, las calles de una ciudad, las carreteras y autopistas; y planos, las aglomeraciones industriales y las áreas urbanas son los ejemplos más representativos.

En el cuadro siguiente se muestra la proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

**Tabla 2. Porcentajes de las emisiones primarias naturales y antropogénicas.**

(<http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf4.html>)

Contaminante	Focos de emisión	
	Antropogénicos %	Naturales %
Aerosoles	11.3	88.7
SO <sub>x</sub>	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Tabla 2

Las cifras anteriores muestran la gran importancia que, en cuanto a emisiones globales, tienen las fuentes naturales de emisión de contaminantes en relación con los antropogénicos, excepto en el caso de las emisiones de anhídrido sulfuroso en que casi se igualan ambas.

Otra circunstancia a tener en cuenta es que los focos de emisión antropogénicos están concentrados, por lo general, en áreas urbanas e industriales.

Este conjunto de circunstancias hacen que la contribución de las emisiones antropogénicas al problema de la contaminación atmosférica a escala regional sea predominante.

## 2.2 Focos antropogénicos de emisión

Los principales focos de contaminación atmosférica de origen antropogénico son las chimeneas de las instalaciones de combustión para generación de calor y energía eléctrica, los tubos de escape de los vehículos automóviles y los procesos industriales. (A lo que a nosotros respecta solo emitiremos juicio a los tubos de escape de los vehículos automóviles)

## 2.3 Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles

En las últimas décadas, el automóvil ha aparecido de forma masiva en las ciudades, contribuyendo a incrementar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de los gases contaminantes que se emiten por los tubos de escape. Los principales contaminantes lanzados por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo.

No todos los vehículos lanzan los distintos tipos de contaminantes en las mismas proporciones; éstas dependerán del tipo de motor que se utilice. Los vehículos que emplean gasolina como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. La emisión de este último tipo de contaminante se debe a la presencia en algunos tipos de gasolina de tetraetilo de plomo, aditivo que se añade para aumentar su índice de octano.

Los principales contaminantes emitidos por los vehículos que utilizan motores de ciclo diesel (camiones y autobuses, por ejemplo) son partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

#### 2.4 Vehículos Automóviles

El motor de combustión interna (componente primordial de los vehículos) ha contribuido de manera importante al alto nivel de vida que se disfruta en la mayoría de los países del mundo, y en nuestro caso; en el transporte de todo tipo. Particularmente, esta es la fuente de contaminación de los que a nosotros respecta, por lo que se proporcionará algunas variables para la mejor comprensión del tema a tratar.

La popularización de los motores de combustión interna ha originado problemas de medio ambiente. Los gases de escape debidos al transporte son en extremo molestos, ya que se originan a nivel del suelo y no existen chimeneas de ventilación como las que hay para los gases residuales de las fuentes fijas de contaminación, como pueden ser las centrales térmicas.

Los principales contaminantes que expulsa un motor de combustión interna son:

- 1.- Monóxido de carbono.
- 2.- Hidrocarburos sin quemar.
- 3.- Oxido de nitrógeno.
- 4.- Oxido de azufre.
- 5.- Compuestos de plomo
- 6.- Humo.
- 7.- Partículas
- 8.- Olor.

Los componentes más notables del escape de los motores de gasolina son monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, partículas y plomo, mientras que el motor diesel emite hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, oxido de azufre, humo y olor.

### 2.4.1 Mecanismos por los cuales se forma contaminación en los motores de forma general.

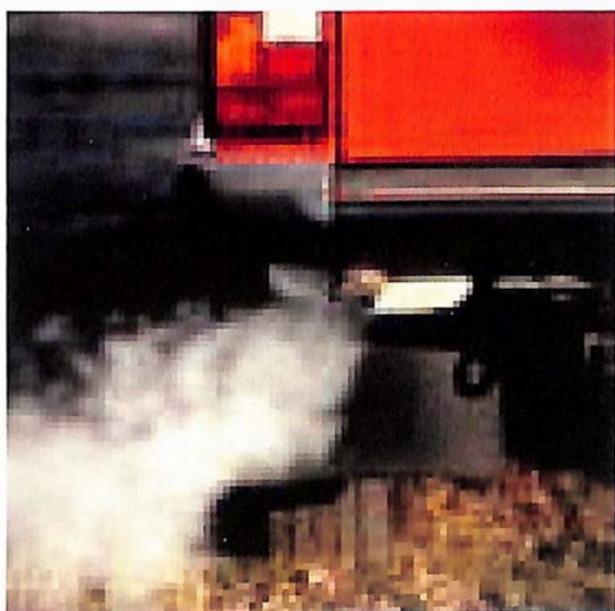
Los compuestos liberados por los motores fueron mencionados anteriormente, los cuales son catalogados como contaminantes en su totalidad. El monóxido de carbono y los hidrocarburos provienen de la combustión incompleta del combustible en el motor, los óxidos de nitrógeno se forman durante la combustión a causa de la alta temperatura del gas. También se originan en la combustión, compuesto de plomo y óxidos de azufre, debido a la inclusión de estos en el combustible.

La gasolina se compone de cierto número de hidrocarburos distintos, obtenidos de diferentes relaciones de hidrogeno y carbono. La descripción de esta mezcla de hidrocarburos suele simplificarse refiriéndola a un único compuesto de valor promedio, el octeno  $C_8H_{16}$ . Durante el refinado se mezclan distintos aditivos con el petróleo, siendo el principal el plomo tetraetilo (PTE), es un compuesto antidetonante que previene la explosión espontánea el combustible antes de que se encienda mediante la bujía, y de gran importancia, pues permite a los motores de gasolina funcionar a una relación de compresión mayor de la que se obtendría sin él. Puesto que aumenta la relación de compresión, mejora la eficacia del motor y el vehículo recorre mas distancia por litro o galón de gasolina. En la gasolina también hay compuesto de fósforo y de azufre. No son aditivos, sino que se presentan de modo natural en el crudo y no se eliminan totalmente en el refinado. La cantidad de azufre en la gasolina depende de la calidad del crudo y del proceso del refinado. Existen también otros tipos de aditivos, los cuales son el dibromuro y dicloruro de etileno, los cuales son denominados limpiadores.

Se están dictando muchas normas y leyes en todo el mundo para controlar las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno para los motores de gasolina, y humos de los motores diesel, tendencia que seguirá manifestándose. Estos tipos de emisiones se pueden controlar con la introducción de ciertos reactores catalíticos, además de estudiar los procesos de combustión interna de los motores para de una manera tratar de reducirlos desde esa etapa, para ellos se está estudiando el caso de los motores de carga estratificada la cual será una posible solución pero a largo plazo, por lo que no se aportara como posibles soluciones.



3.



4.

3. Y 4. contaminación vehicular por automóviles

2.4.2 Contaminación del aire por vehículos de motor

Los vehículos de motor descargan contaminantes a la atmósfera, entre los que son importantes los hidrocarburos, el plomo, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Esto ocurre de la siguiente forma:

- 1.- Pérdidas por evaporación en el tanque de gasolina y en el carburador: 20 % de los hidrocarburos
- 2.- Respiradero del cráter: 25 % de los hidrocarburos
- 3.- Tubo de escape: 50 % de los hidrocarburos y la casi totalidad del plomo, monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno

2.4.3 Composición de los gases de los motores Diesel emitidos por el tubo de escape

- 1.- Monóxido de carbono: menos de 1000 ppm
- 2.- Óxidos de nitrógeno: de 10 a 1000 ppm
- 3.- Hidrocarburos: de 100 a 600 ppm
- 4.- Formaldehído: de 5 a 20 ppm



5. Av. 27 de Febrero. Santo Dgo.

#### 2.4.4 Contaminantes atmosféricos: Características y efectos a la salud

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).** Contaminante producido durante el proceso de combustión de los combustibles con contenido de azufre. Las emisiones de este contaminante provienen principalmente de la industria, y de los motores de combustión interna. Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos, éstos se hidratan con la humedad de las mucosas conjuntiva y respiratoria y constituyen un riesgo para la salud al producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen absorberse en las partículas suspendidas, lo que da lugar a un riesgo superior, puesto que su acción conjunta es sinérgica.

##### Efectos principales

###### Salud

La exposición del hombre a este contaminante causa constricción de los conductos respiratorios y ataques asmáticos. Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema, etc.

###### Materiales.

Produce corrosión a los metales. Deteriora los sistemas eléctricos, el papel, textiles, pinturas, materiales de construcción y monumentos históricos.

###### Vegetación.

Produce daño directo a la fotosíntesis, así como la decoloración y lesión en el follaje. El daños mas grande, es la forma de SO<sub>2</sub> en lluvia ácida.

**Tabla 3. Efectos en la salud humana por exposición a óxidos de nitrógeno, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS)**

(<http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>)

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto Observado
5	14 horas	Individuos normales, Incremento de la resistencia de las vías aéreas. Aumento de la hiperreactividad bronquial
2.5	2 horas	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 horas	Individuos normales: Pequeño cambio en la capacidad vital forzada.
0.5-5	3 - 60 min.	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas
0.5	20 min.	Individuos asmáticos: con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de la tasa máxima de flujo espiratorio

**Monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** Gas sin olor que se produce con la combustión y forma parte del humo. Este gas es un asesino silencioso, un depredador de la sangre, un veneno furtivo que se conoce por su aparición con la combustión del carbón, de la leña y de los motores.

El monóxido de carbono, o CO, es un gas tóxico incoloro e inodoro. Es el producto de la combustión incompleta de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Los artefactos domésticos alimentados con gas, petróleo, kerosén, carbón o leña pueden producir CO. Si tales artefactos no están debidamente instalados y mantenidos y no son correctamente utilizados, se puede acumular CO, y este puede llegar a niveles peligrosos, e incluso letales, en automóviles, casas o zonas con ventilación deficiente.

En el proceso respiratorio normal el aire es aspirado a los pulmones y en los alvéolos el oxígeno pasa a la sangre, combinándose con la hemoglobina de los glóbulos rojos como oxihemoglobina, que transporta el oxígeno a todos los tejidos. Pero si el aire se contamina con monóxido de carbono este ocupa el lugar del oxígeno en la hemoglobina.

Los efectos del monóxido de carbono en la salud humana son consecuencia de su capacidad para combinarse en forma casi irreversible con la hemoglobina, produciendo carboxihemoglobina, la cual se forma al desplazar un átomo de hierro, estableciendo una fuerte unión con la hemoglobina, impidiendo su remoción de la sangre. El transporte de oxígeno por la sangre, desde los pulmones hasta los tejidos, asegurado por la oxihemoglobina (hemoglobina combinada con el oxígeno) queda así comprometido debido a la ocupación del centro activo de la hemoglobina por el monóxido de carbono. Los diferentes niveles de carboxihemoglobina pueden provocar diferentes tipos de efectos en los individuos afectados, tales como dificultades respiratorias y asfixia. La transformación del 50% de hemoglobina en carboxihemoglobina puede conducir a la muerte.

La afinidad del monóxido de carbono por la hemoglobina, que es la que transporta el oxígeno en la sangre por nuestro organismo, es 250 veces mayor que la del oxígeno, formando carboxihemoglobina, disminuyendo la cantidad de oxígeno que llega a los distintos tejidos y actuando como agente asfixiante. Los síntomas típicos son mareos, dolor de cabeza concentrado, náuseas, sonoridad en los oídos y golpeteo del corazón (latidos intensos). La exposición a altas concentraciones puede tener efectos graves permanentes, y en algunos casos, fatales.

Cualquier persona o animal que se encuentre dentro de un espacio compartido con un dispositivo capaz de generar CO debe considerarse en riesgo de ser envenenado por CO. Las exposiciones al CO afectan sobre todo a bebés en el útero, infantes y personas con anemia o un historial de enfermedades cardíacas. El aspirar niveles bajos del compuesto químico puede causar fatiga y aumentar el dolor en el pecho en las personas con enfermedades cardíacas crónicas.

### Efectos sobre la salud y niveles

A bajos niveles, el CO puede causar falta de aliento, náusea y mareos ligeros y puede afectar la salud después de un tiempo.

A niveles moderados, el CO puede causar dolores de cabeza, mareos, confusión mental, náusea o desmayos, pero puede causar la muerte si estos niveles, aunque moderados, se respiran durante mucho tiempo.

Efectos crónicos: Estrés en el sistema cardiovascular, baja tolerancia al ejercicio, ataque cardíaco.

Máximo permitido: 10 mg/m<sup>3</sup> (9 ppm) en 8 hr; 30 mg/m<sup>3</sup> en 1 hr (26 ppm)

El nivel de carboxihemoglobina es un marcador útil para estimar el monóxido de carbono interior, es decir, de la dosis que el individuo ha recibido. La cantidad de carboxihemoglobina formada es dependiente de la concentración y duración de exposición al monóxido de carbono, ejercicios, temperatura ambiente, estado de salud y el metabolismo del individuo.

El nivel de carboxihemoglobina en la sangre puede determinarse directamente por el análisis de sangre o midiendo el monóxido de carbono en la reaspiración exhalada.

La causa principal de la toxicidad del monóxido de carbono a los niveles de exposición bajos es la hipoxia (falta de oxígeno) de los tejidos por el monóxido de carbono ligado a la hemoglobina, pero, además, parece tener mecanismos secundarios de toxicidad por la captación intracelular de monóxido de carbono.

### Efectos cardiovasculares

Un nivel bajo de *carboxihemoglobina* entre 2,4 y 4,3 % ya produce disminución de la capacidad de trabajo, lo cual puede tener implicancias en la salud de la población general por lo que se refiere al acortamiento potencial de ciertas actividades profesionales o recreativas con alguna exigencia física.

El grupo de riesgo más sensible para la exposición al monóxido de carbono son los pacientes con insuficiencia coronaria; agravándose la enfermedad coronaria con niveles de carboxihemoglobina de 3,6 - 4,5 %.

Los niveles de *carboxihemoglobina* debajo del 10 % generalmente no se asocian con síntomas. Saturaciones entre 10 y 30 % pueden dar dolores de cabeza, mareo, debilidad, náusea, confusión, desorientación y trastornos visuales. Y niveles mayores de 50 % producen convulsiones, coma y paro cardiorrespiratorio.

El monóxido de carbono durante el embarazo tiene alto riesgo para la madre y el niño, aumentando las complicaciones, desórdenes del desarrollo, lesiones cerebrales por anoxia y muerte fetal.

*El nivel de carboxihemoglobina no excede de 2,5 %* si la concentración de monóxido de carbono del aire no supera ciertas cantidades, en ciertos períodos de tiempo tales como:

100 mg / m<sup>3</sup> ( 87 ppm) por 15 minutos.

60 mg / m<sup>3</sup> ( 52 ppm) por 30 minutos.

30 mg / m<sup>3</sup> ( 26 ppm) por 1 hora.

10 mg / m<sup>3</sup> ( 9 ppm ) por 8 horas.

En ciudades de alta concentración de monóxido de carbono la población general suele tener el 5 % de su hemoglobina bloqueada, y si la persona fuma puede llegar hasta el 17 % de bloqueo de su hemoglobina.

Los efectos que producen estos contaminantes sobre la salud, según la Organización Panamericana de la Salud son los siguientes:

La constante exposición al CO, a corto plazo, provoca la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia. A mediano plazo, disminuye la capacidad de acción física y produce dolor de cabeza, desmayos y colapsos nerviosos.

**Tabla 4. Efectos en la salud humana por exposición a Monóxido de Carbono, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS).**

(<http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>)

Concentración de Carboxihemoglobina en la sangre(%)	Efecto observado
2,3 - 4,3	Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables
2,9 - 4,5	Disminución en la duración de ejercicios, debido a dolor de pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón
5 - 5,5	Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida en la capacidad sensorial, motora y de vigilancia
5,0 - 17,0	Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio
7,0 - 20,0	Dolor de cabeza, decaimiento
20,0 - 30,0	Mareos, nauseas, debilidad
30,0	Confusión, colapso durante el ejercicio
40,0	Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa
50,0	Muerte

•El Ozono (O<sub>3</sub>). Oxidante fotoquímico, llamado también “smog fotoquímico” es el ozono que se encuentra a nivel del suelo. Es un contaminante secundario que se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar. Su concentración en un determinado lugar depende de factores como la concentración de NO<sub>2</sub> y COV en el área, la intensidad de la luz solar y las condiciones del clima.

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición al ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado.

Los efectos que causa el ozono son nocivos para las personas, especialmente nonatos, neonatos, anciano y enfermos, y plantas. Llegando incluso a destruir variados cultivos.

**Tabla 5. Efectos en la salud humana por exposición a Ozono, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS)**

(<http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>)

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto observado
0.08 - 0,15		Tos y dolor de cabeza
0,12	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Disminuye la Tasa Máxima de Flujo respiratorio y la Capacidad Vital Forzada. Incrementa la sensibilidad de las vías aéreas, lo cual podría significar un aumento en la respuesta a otros contaminantes.
0,12	2 - 5 horas	Disminución de la función pulmonar en niños y adultos, durante ejercicio fuerte
0,24	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Incremento en la frecuencia respiratoria, disminución en la resistencia de las vías aéreas, disminución de la función pulmonar.

Partículas fracción respirable (PM10). Estándar para la medición de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera cuyo diámetro es igual o inferior a 10 micrómetros y que dictan el comportamiento de las partículas dentro de los pulmones: las partículas más pequeñas PM10 penetran a las partes más profundas del pulmón. Por estudios clínicos y epidemiológicos, se les ha identificado ser la causa que afecta a grupos de población sensibles, tales como niños e individuos con enfermedades respiratorias.

Partículas suspendidas totales (PST). Cualquier material que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera cuyo diámetro aerodinámico es mayor que las moléculas individuales pero inferior a 100 micro milímetros o 100 micrómetros. La exposición a las partículas suspendidas totales puede causar reducción en las funciones pulmonares, lo cual contribuye a aumentar la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas (como el asbesto) pueden provocar cáncer de pulmón y muerte prematura.

El material particulado puede tener efectos en la salud y bienestar del hombre. Puede contribuir en el aumento de enfermedades cardiovasculares, aumento en la velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre y disminución de la visibilidad.

**Tabla 6. Efectos en la salud humana por exposición a material particulado. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS)**

(<http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>)

Concentración (g/m3)	Efecto observado	Impacto
200	Disminución en la capacidad respiratoria	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en niños y ancianos	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adultos mayores y enfermos	Muy grave

**Plomo (Pb):** (Aunque, según nuestras autoridades, la gasolina utilizada en nuestro país ya no contiene plomo, se analizará este elemento a manera de difundir el conocimiento que se tiene acerca de sus efectos).

El plomo es una sustancia natural que abunda en el ambiente. Gracias a sus propiedades físicas que le permiten formarse y moldearse fácilmente es empleado en muchas aplicaciones. Una de éstas fue utilizarlo como aditivo en la gasolina para desacelerar el proceso de combustión en los motores. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, es emitido como material particulado constituyendo así, un contaminante importante en el aire, tóxico para los humanos.

Su difícil remoción del cuerpo hace que se acumule en varios órganos y puede dañar el sistema nervioso central (bioacumulable). Un gran número de estudios científicos ha documentado los efectos nocivos de la exposición al plomo.

**Tabla 7. Efectos en la salud de los niños por exposición al plomo**  
**Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS)**

(<http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>)

<b>Concentración de plomo en la sangre (g/100ml)</b>	<b>Efectos observados</b>
	Inhibición de la actividad de la enzima AAL=D Edad gestacional reducida (exposición prenatal)
10	Bajo peso al nacer (Exposición prenatal) Retardo en el crecimiento
12	Interferencia en el metabolismo de la vitamina D
15 - 20	Elevación de protoporfirinas eritrocitarias Alteraciones electrofisiológicas en el SNC
20	Alteraciones conductuales, déficit en la atención

30	Disminución en la conducción nerviosa periférica
40	Aumento del AAL en el suero y del AAL-U Aumento de las CP-0 Reducción en la producción de hemoglobina Velocidad de conducción nerviosa periférica reducida Alteraciones en el aprendizaje Nefropatía (aminoaciduria) Síntomas gastrointestinales
50	Disminución marcada del cociente de inteligencia
70	Anemia franca Nefropatía grave
80	Encefalopatía Daño cerebral grave Retardo mental grave

**2.5 Correlación entre las Inmisiones y las Emisiones de Contaminantes**

Desde los focos de contaminación se produce la mezcla y dilución de los contaminantes en el aire, dando lugar a una distribución de la concentración de los mismos, variable tanto en el espacio como en el tiempo.

La cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los lanzados y producidos en la misma y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Estos procesos de autodepuración atmosférica pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación, suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento. (En nuestro caso este punto no posee relevancia significativa)

En las áreas en que se dé una fuerte concentración de focos emisores de contaminantes pueden producirse episodios de fuerte contaminación local como consecuencia de la persistencia de situaciones meteorológicas adversas para la difusión de los contaminantes.

En otros casos los contaminantes pueden alcanzar bastante altura e introducirse en las masas de aire que forman las corrientes generales de vientos sobre la tierra, siendo arrastrados a muchos kilómetros de las fuentes de emisión.

## 2.6 Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica

La concentración de contaminantes a nivel del suelo varía como consecuencia del desequilibrio entre los índices de producción de contaminantes y los de dilución y desaparición de los mismos. Es decir, la concentración de contaminantes dependerá de la relación de fuerzas entre las fuentes contaminantes y las condiciones de autodepuración atmosférica.

La importancia de las condiciones meteorológicas en el grado de contaminación atmosférica se reconoce observando las variaciones de la calidad del aire en una zona determinada de unos días a otros, aún cuando las emisiones permanecen prácticamente constantes.

Las principales variables meteorológicas a considerar por su influencia sobre la calidad del aire son:

A. El transporte convectivo horizontal, que depende de las velocidades y direcciones del viento; y

B. El transporte convectivo vertical, que depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera.

Transporte convectivo horizontal. El viento, al transportar los contaminantes, produce su dispersión horizontal y determina la zona que va a estar expuesta a los mismos. Por lo general, una mayor velocidad del viento reducirá las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla.

No obstante, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar y las de valle y montaña, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se produce una acumulación progresiva de contaminantes, que da lugar a un aumento de la concentración de los mismos en las zonas barridas por este tipo de vientos. Efectos similares se producen cuando los vientos fuertes inciden perpendicularmente a las crestas montañosas, a un valle o sobre los edificios altos; en estas condiciones, los efectos aerodinámicos de estos obstáculos pueden tener consecuencias negativas para la dispersión de contaminantes, acumulándolos en determinadas zonas.

**Transporte convectivo vertical.** El principal factor que determina el grado de difusión vertical de contaminantes es la variación vertical de temperaturas en la atmósfera.

Podemos determinar la capacidad de difusión vertical de contaminantes comparando la variación vertical de temperaturas de un estrato de aire atmosférico con el gradiente vertical adiabático del aire, que corresponde a una variación de  $-1^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de altura. De esta forma se obtienen tres clases diferentes de estabilidad atmosférica en el estrato, según que la variación de la temperatura con la altura sea mayor, igual o inferior que la correspondiente al gradiente vertical adiabático.

Si en la capa de aire la temperatura desciende con la altura bastante menos de un grado cada 100 metros, los movimientos verticales del aire están muy limitados por lo que hay poca o nula dispersión vertical de contaminantes. En estas condiciones se dice que la clase de estabilidad atmosférica es del tipo estable.

Cuando la temperatura del estrato desciende con la altura más de un grado cada 100 metros de altura, la estabilidad atmosférica será del tipo inestable y los movimientos verticales del aire están muy favorecidos difundiéndose los contaminantes verticalmente hasta donde alcance la inestabilidad. Por último, tenemos el caso de la estratificación indiferente o nula, que se da cuando coincide la variación de temperatura del estrato con la gradiente vertical adiabático. En estas condiciones la dispersión vertical de contaminantes no está limitada.

Cuando la temperatura del aire aumenta con la altura, aparece el fenómeno de la inversión térmica. Este fenómeno produce una fuerte acción limitadora en la dispersión de contaminantes. La inversión de la temperatura del aire se puede producir como consecuencia del enfriamiento del suelo, por la gran irradiación de calor que se produce en las noches despejadas. El aire se va enfriando progresivamente desde el suelo hacia arriba, produciendo una fuerte estabilidad atmosférica que impide la difusión vertical de los contaminantes.

La inversión térmica se forma durante la noche y suele desaparecer progresivamente durante la mañana, cuando la radiación solar calienta de nuevo el suelo y éste a las capas de aire que están en contacto con él.

Existen otros tipos de inversiones que, generalmente, se producen a más altura y que actúan como una capa que limita la dispersión de contaminantes en sentido vertical, incrementando notablemente las concentraciones de contaminantes en los estratos de aire que quedan bajo ellos.

Estos tipos de inversiones son las llamadas de subsistencia, que tienden a formarse en las áreas anticiclónicas, y las inversiones frontales, producidas por la superposición de una masa de aire cálido sobre una de aire más frío. Este último tipo de inversión suele tener por lo general una permanencia escasa.

Un aspecto interesante de la contaminación atmosférica es el de la micrometeorología urbana. Las grandes ciudades crean a su alrededor un microclima propio, el efecto «isla urbana de calor», produciendo un penacho térmico que tiene gran incidencia en la capacidad de difusión de los contaminantes urbanos. A menudo, da lugar a la circulación de vientos locales que elevan el aire caliente del centro de la ciudad, creando una corriente compensada de aire frío de la zona rural circundante que penetra en la zona urbana a niveles bajos.

## 2.7 Atmósfera

La atmósfera es la mezcla de gases que rodea un objeto celeste (como la Tierra) cuando éste cuenta con un campo gravitatorio suficiente para impedir que escapen. La atmósfera terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón (0,9%), el dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.

El contenido en vapor de agua del aire varía considerablemente, de 190 partes por millón (ppm) a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta 42.000 ppm a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otros elementos que en ocasiones constituyen parte de la atmósfera en cantidades minúsculas son el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y óxidos, como los de azufre y nitrógeno cerca de los volcanes, arrastrados por la lluvia o la nieve. No obstante, el principal riesgo se centra en los óxidos y otros contaminantes emitidos a la atmósfera por las industrias y los vehículos debido a los efectos dañinos que originan cuando forman la lluvia ácida. Hay, además, muchas posibilidades de que el progresivo incremento de dióxido de carbono, producido sobre todo por los combustibles fósiles desde el siglo pasado, pueda afectar al clima planetario a través del llamado efecto invernadero. El estudio de muestras indica que hasta los 88 km. por encima del nivel del mar la composición de la atmósfera es sustancialmente la misma que al nivel del suelo. El movimiento continuo ocasionado por las corrientes atmosféricas contrarresta la tendencia de los gases más pesados a permanecer por debajo de los más ligeros. En la parte más baja de la atmósfera está presente, en proporciones muy reducidas, el ozono, un isótopo del oxígeno con tres átomos en cada molécula. La capa atmosférica que va de los 19 a los 48 km tiene un mayor contenido en ozono, producido por la radiación ultravioleta procedente del Sol. Pero, incluso en este estrato, el porcentaje es sólo de un 0,001 por volumen. Las perturbaciones atmosféricas y las corrientes descendentes arrastran distintas proporciones de ozono hacia la superficie terrestre.

En las capas bajas de la atmósfera, la actividad humana incrementa la cantidad de ozono, que se convierte en un contaminante capaz de ocasionar daños graves en las cosechas.

La capa de ozono se ha convertido en motivo de preocupación desde comienzos de la década de 1970, cuando se descubrió que los clorofluorocarbonos (CFC), o clorofluorometanos, estaban siendo vertidos a la atmósfera en grandes cantidades a consecuencia de su empleo como refrigerantes y como propelentes en los aerosoles. La preocupación se centraba en la posibilidad de que estos compuestos, a través de la acción solar, pudiesen atacar fotoquímicamente y destruir el ozono estratosférico, que protege la superficie del planeta del exceso de radiación ultravioleta. Los posteriores estudios acerca de la amenaza que en la actualidad representa la actividad humana para la capa de ozono no son concluyentes. La atmósfera se divide en varios niveles. En la capa inferior, la troposfera, la temperatura suele bajar  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 1.000 metros. Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 16 km. en las regiones tropicales (con una temperatura de  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y hasta unos 9,7 km. en latitudes templadas (con una temperatura de unos  $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A continuación está la estratosfera. En su parte inferior la temperatura es prácticamente constante, o bien aumenta ligeramente con la altitud, especialmente en las regiones tropicales. Dentro de la capa de ozono, aumenta más rápidamente, con lo que, en los límites superiores de la estratosfera, casi a 50 km. sobre el nivel del mar, es casi igual a la de la superficie terrestre. El estrato llamado mesosfera, que va desde los 50 a los 80 km., se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura.

## 2.8 Temperatura

Propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico. El concepto de temperatura se deriva de la idea de medir el calor o frialdad relativos y de la observación de que el suministro de calor a un cuerpo conlleva un aumento de su temperatura mientras no se produzca la fusión o ebullición. En el caso de dos cuerpos con temperaturas diferentes, el calor fluye del más caliente al más frío hasta que sus temperaturas sean idénticas y se alcance el equilibrio térmico. Por tanto, los términos de temperatura y calor, aunque relacionados entre sí, se refieren a conceptos diferentes: la temperatura es una propiedad de un cuerpo y el calor es un flujo de energía entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

## 2.9 Viento

Aire en movimiento. Este término se suele aplicar al movimiento horizontal propio de la atmósfera; los movimientos verticales, o casi verticales, se llaman corrientes. Los vientos se producen por diferencias de presión atmosférica, atribuidas, sobre todo, a diferencias de temperatura. Las variaciones en la distribución de presión y temperatura se deben, en gran medida, a la distribución desigual del calentamiento solar, junto a las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas. Cuando las temperaturas de regiones adyacentes difieren, el aire más caliente tiende a ascender y a soplar sobre el aire más frío y, por tanto, más pesado. Los vientos generados de esta forma suelen quedar muy perturbados por la rotación de la Tierra.

## 2.10 Definiciones de soporte

Viaje.- trasiego de un punto a otro, sin importar distancia transcurrida o tiempo usado.

Horas pico.- horas de mayor trasiego vehicular. Para términos de este estudio, se consideraron las horas pico: 7 AM - 8.30 AM, 12.00 M - 2.00 PM.

Horas bajas.- horas de menor trasiego vehicular. Para términos de este estudio, se consideraron las horas de madrugada (12.00 AM - 5.00 AM), como las de menor tránsito motorizado.

Todo el material colocado como Fundamento Teórico fue extraído de:  
Contaminación del aire por la industria, Albert Parker. Editorial Reverté. (1993)  
La contaminación atmosférica, José Manuel Sanz SA. CPSGTM OPT Madrid, (1991)

# CAPITULO 3

Estado Actual de los Conocimientos

### III. Estado Actual de los Conocimientos

#### 3.1 Origen de los corredores principales de la ciudad de Santo Domingo.

A través del préstamo no. 3350-DO BIRF-SEOPEC 1992-1995, el consorcio SERCITEC-DELCAN realizó un estudio del transporte urbano en la ciudad de Santo Domingo. Este arrojó una serie de resultados concentrándose básicamente en la creación de los corredores principales en la ciudad de Santo Domingo.

Los corredores principales, son aquellos que dan servicio a los principales centros urbanos y comerciales y a las distintas zonas con mayor densidad poblaciones de la ciudad, a la vez que llevan los principales flujos de transporte público.

Los principales elementos incluidos en el plan estratégico fueron:

1. Identificación de un conjunto de corredores prioritarios de transporte público:
  - 27 de febrero - Av. Las Américas
  - Kennedy - San Vicente de Paúl
  - Av. Máximo Gómez
2. Introducción de un conjunto de rutas nuevas en los tres corredores principales con canal exclusivos.
3. Eliminación de todas las rutas de concho.
4. Eliminación de las terminales del centro de la ciudad y en la plaza Independencia.
5. Terminal interurbano en el Km 9 ½ de la autopista Duarte.

Algunas recomendaciones arrojadas por el estudio fueron:

- La renovación de la flota vehicular
- La construcción de un puente paralelo al puente Duarte
- La ampliación a seis carriles de la Av. Las Américas

Un proyecto integral de mejoras en el corredor de la Av. 27 de febrero y de la Av. John F. Kennedy, consistente en la canalización de carriles, la construcción de pasos a desnivel, el rediseño geométrico de las intersecciones del corredor, la creación del canal exclusivo para las guaguas, una señalización tanto horizontal como vertical, ajustada a las necesidades.

- Ampliación de la Av. John F. Kennedy en el tramo comprendido entre la entrada a los alcarrizos y la Av. Abraham Lincoln (recuperación marginal)
- Ampliación de la autopista 30 de mayo a seis carriles.
- Prolongación de la Av. Luperón hasta la Av. 30 de mayo.

El estudio destaca como punto importante; no permitir la circulación de otros tipos de vehículos de transporte público en los canales exclusivos.

### 3.2 Características del transporte urbano actual en Santo Domingo

La República Dominicana cuenta con una flota vehicular de 2,114,432 (2003), en donde en Santo Domingo se encuentra el 52% de la flota vehicular total (Datos suministrados en la sección correspondiente).

Basándose en los resultados del estudio, en la realidad que para el año 2005 en la ciudad de Santo Domingo circulará un millón de vehículos, y con el propósito de crear una ciudad más moderna, se procedió con la construcción del proyecto antes citado, lo cual fue dividido en varias etapas, en donde el corredor de la 27 de febrero resultó como la primera ejecución.

La puesta en funcionamiento del mismo ameritaba:

- Mejorar la flota vehicular (creación de la A.M.E.T, autoridad metropolitana de transporte y de la O.M.S.A, oficina metropolitana de servicios de autobuses)
- Adecuar las vías para recibir la nueva flota (ampliaciones).

#### 3.2.1 Ampliación de las vías

Se diseñaron cada uno de los corredores, teniendo en cuenta los conteos realizados en cada una de las intersecciones, tanto en la Av. 27 de febrero como en la Av. John F. Kennedy.

El corredor en la Av. 27 de febrero debía ser ampliado a diez (10) carriles, construcción de pasos a desnivel en sus intersecciones más neurálgicas, Winston Churchill, Abraham Lincoln, Tiradentes, Máximo Gómez, en su primera etapa, y el rediseño de las demás intersecciones. El primer tramo intervenido es el comprendido entre la Av. Luperón y la Leopoldo Navarro.

La inversión en el corredor de la Av. 27 de febrero, es recuperada por el estado en un corto tiempo. Los ahorros en horas pico, asumiendo 5 horas pico diarias y 290 días con tránsito similar por año, equivalen a ahorros anuales en costos de operación y de tiempo de viaje de RD\$ 200 millones de pesos (SEOPEC).

6.



7.



6 y 7 Túnel Av. 27 de Febrero tramo Av. Churchill - Av. Lincoln

### 3.3 Descripción del corredor Av. 27 de febrero;

#### 3.3.1 Av. Luperón - Leopoldo Navarro

En agosto del 1997 se inició la ampliación y remodelación del corredor de la 27 de febrero, con la finalidad de solucionar la saturación del tráfico existente y dotar a dicha vía de una capacidad acorde con la demanda actual y futura en el tramo comprendido entre la Av. Luperón hasta la calle Leopoldo Navarro con un total de 8 kilómetros de longitud.

Para la realización de dichos trabajos se realizaron los siguientes estudios;

Estudios de tráfico

Estudios topográficos

Estudios de obras hidráulicas (drenaje pluvial, desvíos tuberías aguas potable, modificaciones drenajes sanitarios)

Estudios de mecánica de suelo.

Análisis de semaforización y señalización.

Estudios de iluminación.

Los trabajos antes mencionados se desglosan en los diferentes tramos;

#### 3.3.2 Tramo I.- Av. Luperón - c/ Dr. Defilló.

##### 3.3.2.1 Tramo II.- C/ Dr. Defilló - Av. Tiradentes.

La solución vial más importante, consistente en la construcción de un túnel de 16 mts. de ancho y gálibo de 4.60 mts. de altura, que permite canalizar los carriles centrales de la Av. 27 de febrero por debajo de las intersecciones de la Av. Winston Churchill y la Av. Abraham Lincoln con una longitud de 869 mts techado y dos rampas de 250 mts. cada una. (Objeto en estudio)

Para la solución del drenaje pluvial de estos pasos a desnivel se construyeron galerías de descarga por gravedad, con una sección de 1.40 mts. de ancho y 2.10 mts de altura:

Galería de drenaje Av. Winston Churchill 160.00 ML

Galería de drenaje Av. Abraham Lincoln 450.00 ML

Galería de drenaje Av. Tiradentes 160.00 ML

Se desviaron las tuberías de 8", 12", y 36" de la corporación de alcantarillado de Santo Domingo (CASSD) en las intersecciones de la Av. 27 de febrero con las Av. Winston Churchill, Av. Abraham Lincoln y Av. Tiradentes.

El tramo antes citado incluye la construcción de un boulevard sobre la plataforma de 18.00 mts. a base de elementos arquitectónicos, jardinería, pasos peatonales, servicios, pantallas, y gasebos de la mayor calidad estética y funcional.

#### 3.3.3 Tramo III.- Av. Tiradentes - C/ Leopoldo Navarro

### 3.4 Características físicas del corredor

#### 3.4.1 Asfalto

En los túneles se utilizó una base asfáltica de menor contenido en betún para obtener una mejor plasticidad y con adición de cemento para dar mayor estabilidad en presencia de agua.

En las vías superiores se hizo una regulación del pavimento con un hormigón asfáltico más fino y oscilando las pulgadas colocadas entre 2" y 15".

#### 3.4.2 Iluminación, semaforización y señalización.

El proyecto dispone de un sistema de iluminación con alimentación eléctrica soterrada de alto nivel estético, así como canalizadores para la fibra óptica a lo largo de todo el trayecto, y semaforización de gran calidad.

Para el caso específico de los túneles se construyó un edificio de control de 786 m<sup>2</sup>, ubicado en la Av. 27 de febrero esq. C/ Santísima Trinidad, dotado de generadores eléctricos, telecomunicación y servicios para poder controlar las diferentes variables de seguridad y funcionamiento dentro del túnel, que incluye un sistema de ventilación (actualmente fuera totalmente de servicio, con todos los extractores en muy mal estado) y control de gases (que nunca entró en funcionamiento), sistema de circuito cerrado de vigilancia, control de incendios (inadecuado), señalización y luces de emergencia, servicio de grúa y de emergencias medicas.

#### 3.4.3 Iluminación túneles.

El sistema de iluminación fue diseñado para cada túnel de manera individual. Está constituido por luminarias de alta presión de sodio en diferentes intensidades, complementadas por luminarias de luz fría, que eliminarán las altas temperaturas por causa de luminarias.

El escenario de iluminación es diferente dependiendo del flujo de tráfico: durante las horas de mayor tránsito están encendidas una mayor cantidad de luminarias que durante las horas de la madrugada; esto permite ahorro sustancial de energía.

### 3.4.4 Semaforización

#### 3.4.4.1 Poste semáforos

Postes y brazos de acero galvanizado, brazos tipo telescopio, siendo este el recomendado para las ciudades expuestas a huracanes.

#### 3.4.4.2 Semáforos

Semáforos con tres y cinco caras, con un sistema que consiste en una serie de unidades controladoras para cada una de las intersecciones. Con estos controladores se tiene la capacidad de poder programar distintos planes de control de flujo vehicular, basándose en la demanda en las distintas horas del día. En algunas intersecciones se han instalado detectores en las calles menores para eficientizar la distribución el tiempo de verde de la calle principal, en este caso en la Av. 27 de febrero. Los semáforos de tal avenida están interconectados y son supervisados por una computadora central ubicada en el centro de control. Esta computadora se utiliza para el monitoreo y coordinación de los semáforos a todo lo largo de la avenida.

### 3.4.5 Señalización

#### 3.4.5.1 Señalización vertical

Consiste en la rotulación de las vías que intervienen; pórticos, semi-pórticos y el papel utilizado de grado diamante, éste posee la mayor reflectividad de todos los que están el mercado en la actualidad.

#### 3.4.5.2 Señalización horizontal

Pintura termoplástica alcalina con microesferas de vidrio, que reflejan la luz y se hacen visibles en las noches cuando son iluminadas por los vehículos.

### 3.5 Evaluación rápida de la contaminación.

Como este proyecto previamente (mayo/2002) fue escogido como tema a evaluar por nuestra persona, las investigaciones realizadas para ese entonces se tomaron como base de partida (luego haber sido recomprobadas) para las consecuentes elocuciones. Ahora con un mayor grado profundidad, acertamiento, profesionalismo y dedicación se ampliarán los conceptos emitidos anteriormente.

El trabajo mencionado del cual se hace referencia, reflejó básicamente que la cantidad de extractores colocados según los requerimientos de diseño del túnel, no fueron suficientes, tomando como parámetros comparativos, recomendaciones dadas por la Engineering Resource Guide, la cual muestra cómo rápidamente se pueden estimar las cantidades de CFM (cubic feet per minute) – caudal de aire, para extractores, según la demanda en ambientes específicos. A partir de esas condiciones, y observando objetivamente las características visualmente presente en el túnel (temperatura, opacidad, falta de operación de los extractores, y no funcionamiento de sistemas detectores de CO), determinamos que las condiciones del mismo no eran adecuadas y por ende la contaminación era inminente.

En una investigación auspiciada por el Instituto Dominicano de Tecnología (INDOTEC) se hace mención del túnel como parte de una evaluación general de la calidad del aire de la ciudad de Santo Domingo, sin embargo, propiamente un estudio particular de nuestro objeto de estudio, no se ha realizado. Esta publicación inicialmente fue de gran valor, sin embargo, para un estudio profundizado y específico, poco nos sirvió de referencia. Los datos y resultados obtenidos en esa investigación eran únicamente para la calidad del aire en la 27 de febrero, por lo que no será necesario el detalle de los mismos. Esa razón nos hace utilizar el estudio inicialmente discutido, como la base para el estado actual de los conocimientos al momento de nuestra evaluación particular, y desde el cual nos auxiliamos, en el caso necesario, para extraer alguna información específica.

También, se tuvo acceso a informaciones impresas de la construcción de la 27 de febrero y todas sus etapas constructivas, la cual hacia hincapié en la realización del túnel. De ahí se tomó la información de las características generales del túnel, y una que otra información de gran utilidad. Esta edición fue realizada por la Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones (SEOPC), la cual nunca se publicó aunque se imprimió y se entregó a la parte ejecutiva de orden público.

### 3.6 Resumen de documentación y estudios existentes.

Para el cálculo de extractores (según investigación anterior), se utilizó parte de los conocimientos citados por la Engineering Resource Guide, la cual hace referencia a las características de los extractores y cómo calcular a partir de éstos; la capacidad de aire de renovación, el Cfm, el Fpm, el Bhp, etc.

Por la falta de información sobre la existencia y características de los extractores colocados en el túnel, solo partiremos de la capacidad de renovación de aire a través de los Cfm para comprobar si la cantidad de extractores son suficientes y a la vez determinar el flujo de aire entrante y que debe salir.

Tabla 8. Características de los extractores del túnel.

Casa fabricante	Denyo
Marca	Extractor magnetek century farm rated
Capacidad	5 HP
Diámetro abanico	36"
No. De aspas	6
Voltios	230
Velocidad del abanico	1133 r.p.m.
R.P.M. (motor)	1740
CFM (capacidad de extracción)	26,000 pie <sup>3</sup> /min de aire

Entendemos que esta metodología es la de mayor singularidad en su aplicación por lo que procedimos con los cálculos de los mismos.

A continuación detallaremos el procedimiento a utilizar;

Para calcular el volumen de aire requerido por minuto (renovación por minuto), se requiere la siguiente información;

- 1.- Utilidad del espacio
- 2.- Cantidad de aire a evacuar por minuto. (tabulado)

Entonces se utiliza la siguiente tabla, requerida por la fórmula (\*) para calcular el Air Change Rate.

Tabla 9. Air Change Rate

Tipo de área / utilidad del espacio	Minutos para cambio
Túnel vehicular, cuarto de maquinas.	1-3 min.

Se utilizará 1 min. por la concentración de los gases.

Entonces la fórmula a utilizar sería,

$$(*) \text{Volumen de aire} = \frac{\text{Volumen del área (m}^3\text{)}}{\text{Minutos para cambio (tabla)}}$$

Otro procedimiento de comprobación, el cual será utilizado como comparativo, dice que para cada vehículo se necesita 3'500 Cfm (valor 1), según la tabulación de procesos. Entonces la formula a utilizar será

$$\text{Cantidad vehicular} = \frac{\text{Longitud}}{\text{Espacio por vehículo}}$$

$$\text{Espacio por vehículos total} = (\text{Cantidad vehicular}) \times (\text{no. Carriles})$$

$$\text{Cantidad de Cfm requerido} = (\text{Espacio por vehículos total}) \times (3500 \text{ Cfm})$$

$$\text{No. De extractores} = \frac{\text{Cantidad de Cfm requerido}}{26 \text{ mil Cfm (no. extractores actuales)}}$$

La relación además debe ser 1 = 1 en la siguiente ecuación para comprobar si la cantidad de extractores colocados son suficientes. Para el uso de esta formula se necesita el AIR RATE CHANGE.

$$\frac{\text{AIR RATE CHANGE (volumen del túnel en pie}^3\text{)}}{26,000 \text{ Cfm} \times 56 \text{ motores existentes}} \text{ Igual a 1 (Cantidad adecuada)}$$

$$\frac{\text{AIR RATE CHANGE (volumen del túnel en pie}^3\text{)}}{26,000 \text{ Cfm} \times 56 \text{ motores existentes}} \text{ menor a 1 (supradiseñado)}$$

$$\frac{\text{AIR RATE CHANGE (volumen del túnel en pie}^3\text{)}}{26,000 \text{ Cfm} \times 56 \text{ motores existentes}} \text{ mayor a 1 (infradiseñado)}$$

Entonces;

$$\frac{\text{AIR RATE CHANGE (volumen del túnel en pie}^3\text{)}}{26,000 \text{ Cfm}} = \text{Cant. extractores necesarios}$$

Con esta metodología podemos verificar si las cantidades de extractores que existen son suficientes, y la cantidad en caso de que no, necesaria para evacuar todo el aire acumulado.

Dicho estudio arrojó los siguientes resultados:

### 3.6.2 Cálculo de extractores

#### 3.6.2.1 Número de extractores necesarios, tomado en cuenta los CFM existentes.

##### Datos

869.11 mts. (Longitud del túnel)

5 mts (Espacio ocupado promedio por un vehículo)

4 carriles (Dos en dirección este - oeste, y dos en dirección contraria)

3´500 Cfm (Valor recomendado) Valor 1.

Entonces;

$869.11 / 5 = 174$  vehículos en una dirección

$174 \times 4 = 696$  vehículos pueden transitar al mismo tiempo en el túnel.

El paso normal de vehículos no excede el 60% de la capacidad por minuto.  
(420)

$696 \times 3´500 \text{ Cfm} = 2,436,000$  (cantidad de Cfm necesario).

Luego;

$2,436,000 / 26,000 = 94$  (cantidad extractores necesarios, utilizando los requerimientos existentes en el caso más adverso - total congestión del túnel.)

#### 3.6.2.2 Volumen de aire requerido

##### Datos

2,570,605.41 pie<sup>3</sup> (volumen del túnel)

1 - 3 min. (Air change para esta actividad) Tabla 1.

$2,570,605.41 / 1 = 2,570,605.41$  pie<sup>3</sup> (volumen de aire requerido en el túnel)

#### 3.6.2.3 Relación aire que entra - aire que sale

##### Datos

2,570,605.41 m<sup>3</sup> (volumen de aire requerido en el túnel)

26,000 Cfm (capacidad de extracción de los extractores)

56 extractores existentes.

Luego;

2,570,605.41 pie<sup>3</sup> (1)

$26,000 \times 56 = 1,456,000$  p<sup>3</sup> /min. (renovación) (2)

Entonces;

$(1) / (2) = 1.76$  por tanto el aire que entra es mayor que el que sale por los extractores.

Por esta vía, calcularemos la cantidad de extractores necesarios para compararlo con el otro calculo;

$2,570,605.41 / 26,000 = 99$  extractores muy parecido al calculo antes hecho, que resulto 94 extractores de esa capacidad (26,000 Cfm).

A continuación se presenta el conglomerado de los cálculos según esta técnica;

Cantidad de vehículos	Coefficiente Cfm's	Cantidad de Cfm's necesarios	Cantidad de extractores necesarios
10	3500	35000	1.35
20	3500	70000	2.69
30	3500	105000	4.04
40	3500	140000	5.38
50	3500	175000	6.73
60	3500	210000	8.08
70	3500	245000	9.42
80	3500	280000	10.77
90	3500	315000	12.12
100	3500	350000	13.46
110	3500	385000	14.81
120	3500	420000	16.15
130	3500	455000	17.50
140	3500	490000	18.85
150	3500	525000	20.19
160	3500	560000	21.54
170	3500	595000	22.88
180	3500	630000	24.23
190	3500	665000	25.58
200	3500	700000	26.92
210	3500	735000	28.27
220	3500	770000	29.62
230	3500	805000	30.96
240	3500	840000	32.31
250	3500	875000	33.65
260	3500	910000	35.00
270	3500	945000	36.35
280	3500	980000	37.69

**Tabla 10. Cálculo del número de extractores requeridos por cantidad de vehículos**

290	3500	1015000	39.04
300	3500	1050000	40.38
320	3500	1120000	43.08
340	3500	1190000	45.77
360	3500	1260000	48.46
380	3500	1330000	51.15
400	3500	1400000	53.85
420	3500	1470000	56.54
440	3500	1540000	59.23
460	3500	1610000	61.92
480	3500	1680000	64.62
500	3500	1750000	67.31
520	3500	1820000	70.00
540	3500	1890000	72.69
580	3500	2030000	78.08
600	3500	2100000	80.77
620	3500	2170000	83.46
640	3500	2240000	86.15
650	3500	2275000	87.50
660	3500	2310000	88.85

Al paso combinado de 420 vehículos por minuto en el túnel, la cantidad de extractores no son suficientes para sacar los gases generados (en caso de estar en función).

Los resultados de dicha investigación desde esta perspectiva fueron los siguientes;

#### 3.6.2.4 Extractores

En la determinación del número de extractores pudimos verificar que la cantidad existente actualmente (56) no son los suficientes en caso de que haya una aglomeración total en el túnel, incluyendo las dos direcciones y los 4 carriles. Mas aun, solo aguantaría el 60% de su capacidad, tomado en consideración que todos los extractores están funcionando adecuadamente. (Ver cuadro de cálculo) Para el paso normal de los vehículos, sin ningún detenimiento, el número existente proporciona cierta seguridad en cuanto extracciones de gases contaminantes. Sin embargo, sabemos actualmente, que ningún extractor está en funcionamiento por lo que tal conclusión no se puede aludir.

Los cálculos numéricos determinan que aparentemente no hubo coeficiente de seguridad en el diseñamiento de capacidades o cantidad de éstos.

Por otra parte, el estudio analizado presenta también las siguientes discusiones:

### 3.7 Análisis comparativo.- (Túnel de la 27 Vs túnel de las América)

El túnel de Las Américas tiene prácticamente la misma extensión que su homólogo de la 27 de febrero, incluso tienen la misma dirección (Este - Oeste); sin embargo, en el primero la problemática en congestión no es y posiblemente nunca llegue a ser un problema de gran consideración; no obstante en el segundo, la misma se torna insoportable para el que transite en el túnel en horas pico, o si en alguna ocasión le ocurriese algún incidente dentro del mismo. ¿Por qué ocurre esto?, O más bien ¿cuál es la diferencia entre uno y otro?

Las características que definen al objeto en estudio (túnel de la 27 de febrero), condicionan a que las emisiones vehiculares se concentren en grandes cantidades dentro del túnel, por ende la autodepuración es más lenta, y la contaminación es más peligrosa. Tales características son las siguientes: la altura de los techos del túnel en cuestión son muy bajos, poseen circulación de doble vía y apertura de entrada y salida de descenso y ascenso que prácticamente taponan o más bien, impiden la entrada o salida del aire hacia o desde el interior, ósea, en cualquier dirección de entrada o salida ya sea, de Este a Oeste o viceversa, siempre se va perdiendo o ganando nivel en la entrada y salida, y por ende no hay un curso normal del viento ni de los gases originados en esa área.

Cuando el aire se calienta en medio del túnel automáticamente se eleva y se pega del techo experimentando movimientos giratorios que lo mantienen prácticamente en el mismo lugar, pues los vehículos que se desplazan en dirección Este - Oeste empujan los gases en esa misma dirección, mientras que los automóviles que transitan en vía contraria lo empujan justamente en la dirección opuesta provocando una especie de remolino que nunca termina.

Comparando el túnel en cuestión con su homólogo, el túnel de las Américas, encontramos, que el comparativo doblaga al objeto en estudio en la altura de los techos, el de las Américas tiene una pared central, que el de la 27 no la tiene, la cual separa ambos carriles de circulación vehicular, por lo que evita el “efecto remolino” y lo más importante que se deriva de lo anterior, el “tiro de brisa” (o dirección del aire en combinación con la pendiente natural), va en una sola dirección. Cabe señalar, que el túnel de la 27 no posee estas cualidades, por lo que los extractores y respiraderos naturales no pueden funcionar correctamente, ya que las características propias del túnel contraponen el funcionamiento indicado de estos equipos. El túnel de las Américas posee condiciones similares al de la Núñez de Cáceres, por lo que también puede ser utilizado como modelo comparativo.

Abundando y agrupando más en los aspectos antes mencionados, concluimos que el “tiro de brisa” (como se conoce técnicamente a esta combinación del diseño asociado al proceso natural de la inclinación de la pendiente y la dirección de los vientos), es una de las cualidades más importantes que posee el túnel de las Américas, ya que todo el tiempo se va ascendiendo o descendiendo, de acuerdo a la dirección escogida. Esto proporciona un mecanismo conformado por el empuje del aire y la inclinación del terreno, que en combinación con las paredes centrales, hacen que la contaminación interna en ese túnel, al menos no sea detectada por el usuario. Lamentablemente algunos de estos puntos no se pueden considerar para el túnel de la 27.

### 3.8 Posible solución según el análisis comparativo

Bajo estas circunstancias la posible solución, sería la instalación de extractores centrales que succionen el aire viciado del interior, para evitar de esa manera, el fenómeno puntual del remolino ocasionado por el va y ven en direcciones opuestas de los vehículos que transitan, repercutiendo un estancamiento de los gases en un remolino estacionario. Los cálculos electromecánicos solamente toman en cuenta el volumen de aire que los extractores deben movilizar en el transcurrir normal de los vehículos sin haber tomado precauciones de lugar en caso de accidentes o entaponamientos.

Este problema se pudo prever en el diseño si se le hubiese incluido una cantidad adicional de extractores, y en lugar de colocarse en series laterales paralelas o intercaladas, se hubiesen colocado succionadores centrales. No obstante esa tampoco sería solución 100% eficiente (pero si a considerar) ya que los respiraderos naturales también son insuficientes para la entrada de aire fresco y los dos extremos del túnel funcionan como si fuese una cápsula de gas, pues en ambos casos se desciende o asciende hacia una parte baja y plana. A todo esto se le debe agregar que los extractores existentes, además de insuficientes, actualmente ni uno está en funcionamiento.

Quizás en la planificación y diseño solo se tomó en cuenta los aspectos estructurales, éticos, visuales, y funcionales, sin tomar en cuenta este último aspecto, que también en la funcionabilidad u operación, los efectos de la contaminación pueden causar daños al medio y sus componentes., y básicamente al hombre que transita por la vía tratando de llegar de una manera rápida y "segura" a su objetivo.

### 3.9 Parque vehicular de la República Dominicana

El parque vehicular de la República Dominicana está conformado por un total de 2,114,432 en el último conteo a finales del 2003. Estos datos y su composición serán utilizados para el planteamiento y estimación de los problemas potenciales. A continuación detallaremos la composición del parque vehicular, el cual asumiremos por igual composición en la ciudad capital;

**Tabla 11. Parque Vehicular de la Republica Dominicana (2003).**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Cantidad por tipo</b>	<b>Porcentaje del total (100%)</b>
Automóviles	510,200	24.00
Autobuses	45,644	2.20
Jeep	76,918	3.63
Carga	252,154	11.92
Motocicletas	1,188,435	56.00
Volteos	12,808	0.61
Maquinas pesadas	13,348	0.63
Otros	14,925	0.71
<b>Total</b>	<b>2,114,432</b>	<b>100%</b>

**3.10 Estándares de calidad del aire, según las normas sobre la calidad del aire y control de las emisiones atmosféricas en República Dominicana. (tabla comparativa a utilizar con los resultados arrojados en el estudio)**

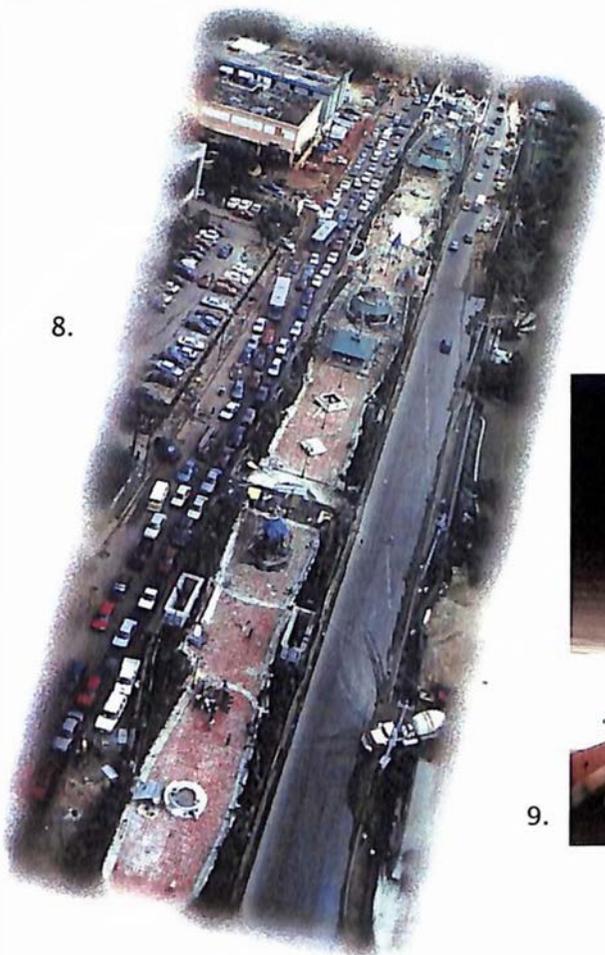
Contaminante	Tiempo promedio	Limite permisible (Ug/m3)	Limite permisible (PPM)
Partículas suspendidas totales (PST)	Anual	80	
	24 horas	230	
Partículas fracción (PM-10)	Anual	50	
	24 horas	150	
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	100	
	24 horas	150	
	1 hora	200	0.0765625
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Anual	100	
	24 horas	300	
	1 hora	400	0.326666667
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas	160	
	1 hora	250	
Monóxido de carbono (CO)	Media diaria	—	
	8 horas	10,000	
	1 hora	40,000	35
Hydrocarburos no metanos (CH)	3 horas	160	
Plomo (Pb)	Trimestral	1.5	
	Anual	2.0	

Esta norma establece los valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito fundamental de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular. En este sentido, se incluyen márgenes de seguridad.

Esta tabla exhibe las concentraciones máximas permisibles según la normativa de la calidad del aire puesta en circulación por la Secretaría de Estado Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARENA) de la República Dominicana en junio en 2003, y avalada bajo la Ley general sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00) promulgada en agosto del año 2000, cuyo principio fundamental lo es establecer las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos naturales, asegurando su uso sostenible. Además de prever, regular y controlar cualquier causa o actividad que incida en el deterioro al medio ambiente, etc., como objetivo principal.

Por la falta normativa que rijan las concentraciones máximas permitidas en un túnel vehicular, se tomarán las concentraciones expuestas por la norma ambiental de la calidad de aire en sus estándares de calidad del aire.

Este estudio también busca crear una base para la fundamentación de una normativa que regule la operación de túneles vehiculares desde el punto de vista ambiental.



8.



9.

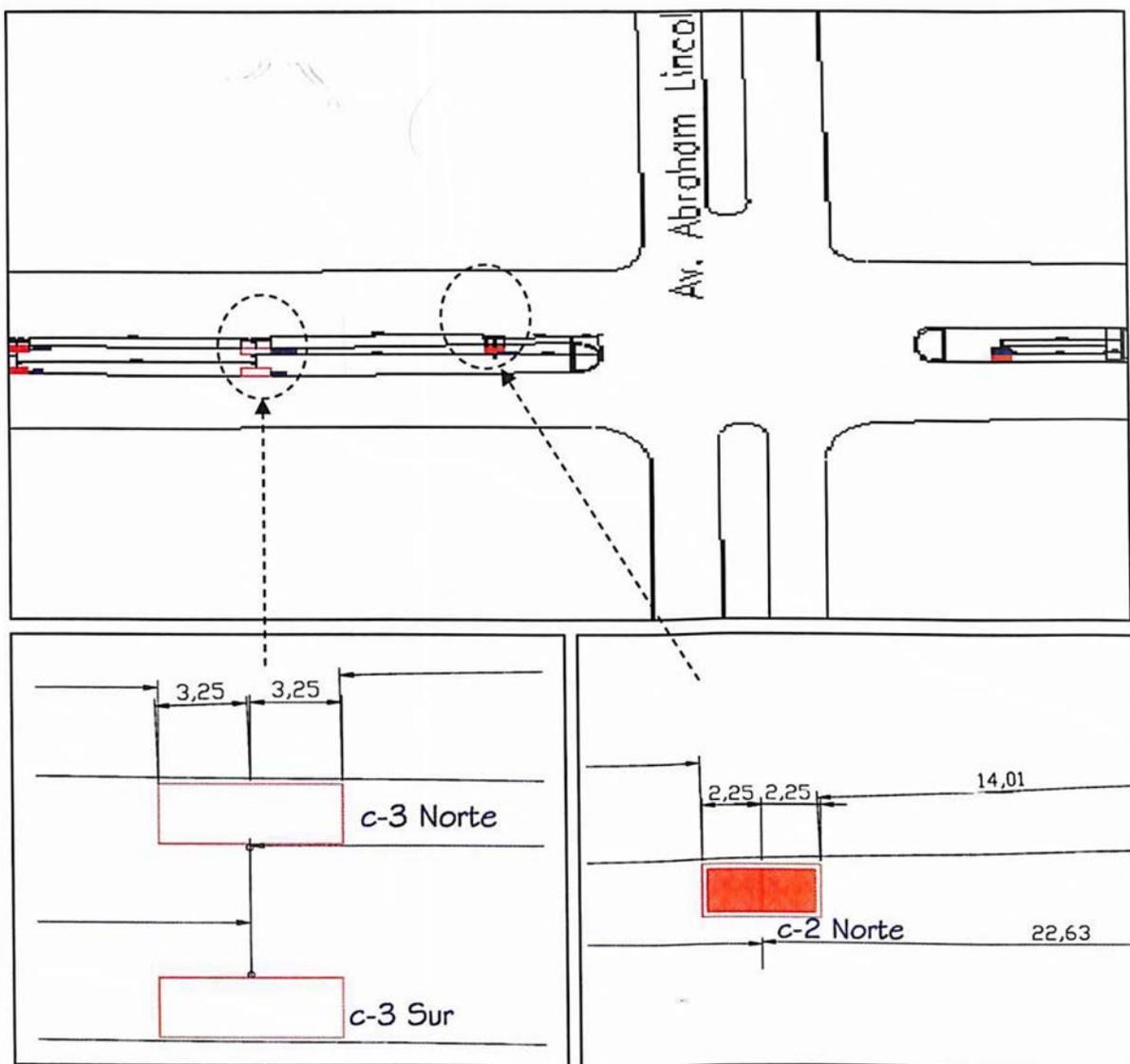
8. Boulevard de la 27 en construcción  
9. Interior Túnel de la "27 de Febrero"

### 3.11 Esquema de extractores

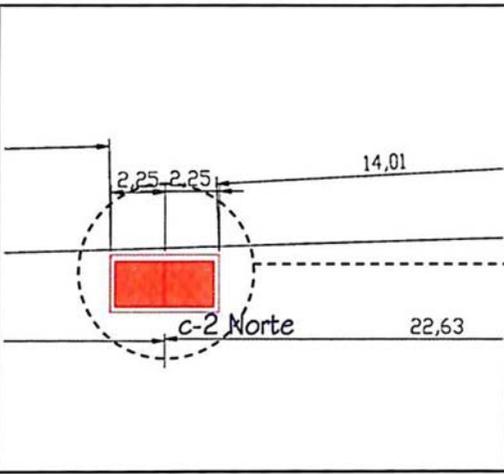
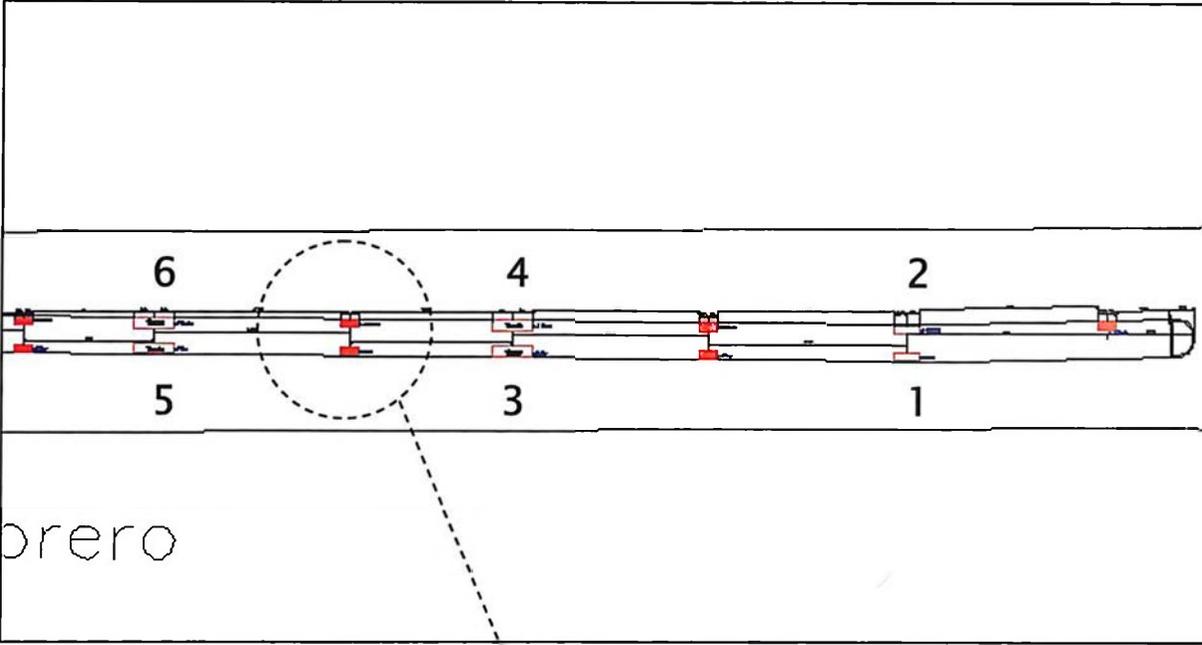
#### 3.11.1 Plano de ubicación de los extractores

Estos esquemas representan la ubicación de los extractores en el plano del túnel desde una vista en planta. La numeración de los extractores no se basó en ningún planteamiento o asunción. Simplemente se numeraron para una mejor identificación, escogiéndose en dirección este - oeste y en orden alternados sur - norte.

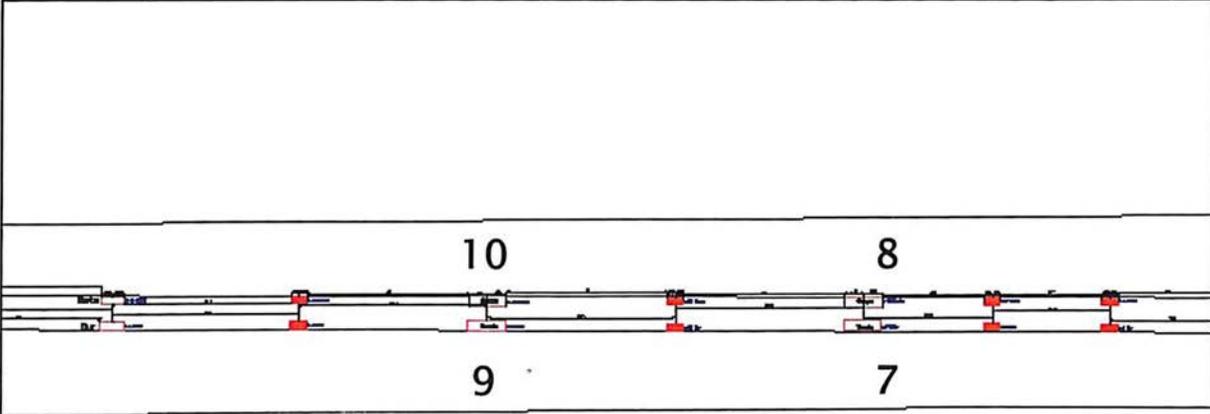
Las numeraciones se asignaron según las condiciones planteadas, y encima del extractor correspondiente.



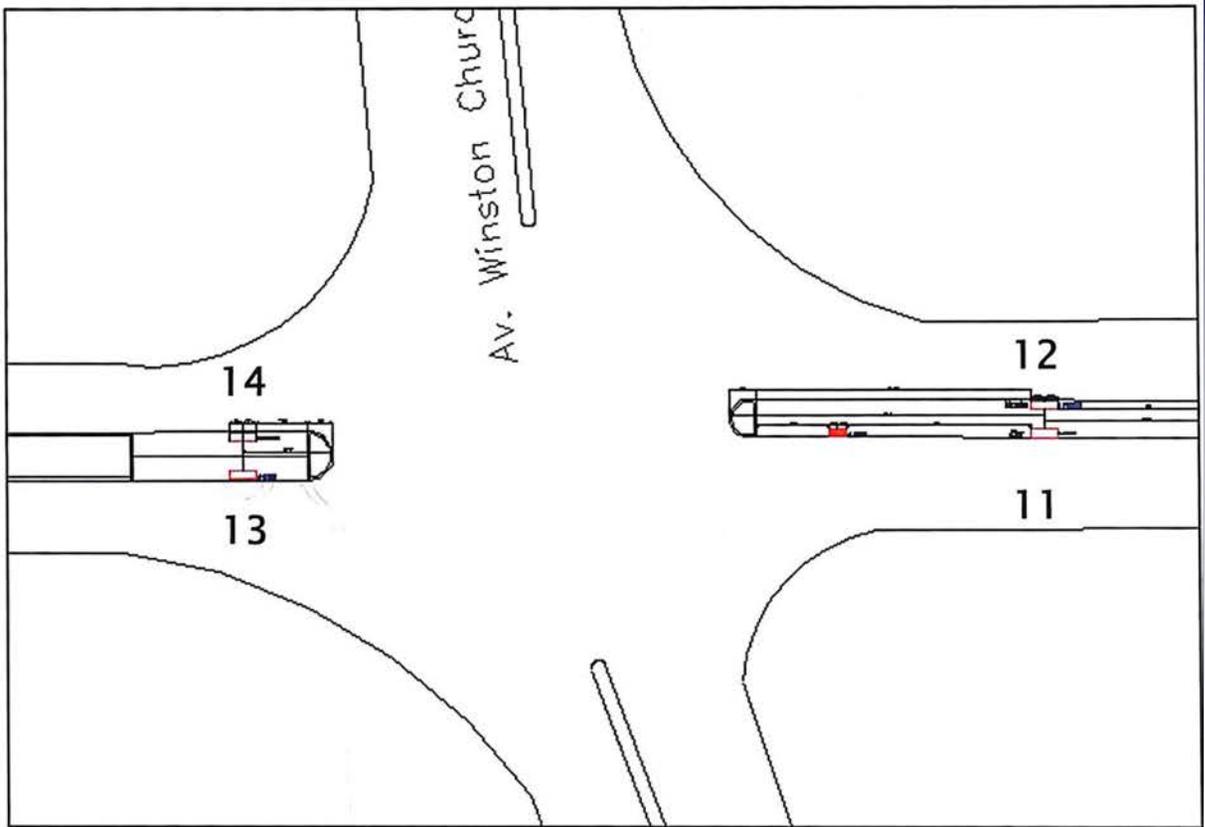
10. Plano ubicación extractores



10. Fosa del muestreo



Avenida 27 de Febrero



11. Túnel Av. 27 de Febrero tramo Av. Churchill – Av. Lincoln



# CAPITULO 4

Metodología

#### IV. Metodología

La forma en que se ha abordado la investigación del tema representa un estudio denominado evaluación rápida, el cual no está basado en ningún sistema predeterminado, sino que se proyecta con esquemas de trabajos idealizados en combinación con aplicaciones de conocimientos y facilidades de equipamientos.

Aún cuando dicha evaluación de la contaminación trata de ser específica en la identificación de un problema de contaminación, la misma trata también de ser objetiva en la solución, o al menos determinar cuales serian las conclusiones y recomendaciones a seguir. Otros de los propósitos fundamentales de este tipo de evaluación es utilizar esta herramienta para poder discernir la gravedad del asunto, determinar si necesita o no de una evaluación más exhaustiva, o si es suficiente con esta identificación. Además, es una evaluación que depende de la variable económica, del tiempo, etc., como su nombre lo indica, y con cierto grado de acertamiento confiable al problema existente. Para nuestro caso en particular podemos deducir que tal evaluación excedió los parámetros estipulados, debido a la similitud de los resultados en todas las estaciones.

La metodología aplicada en el proyecto de investigación, está basada en los conceptos teóricos - prácticos de toda evaluación ambiental, el cual tiene como objeto: identificar, cualificar, cuantificar y determinar las condiciones contaminantes (sí las hay) de las compuestos o elementos que lo producen, de manera directa (medible) o indirecta (estimada o asumida). Además, con los conceptos del método científico utilizados para la investigación (observación, hipótesis, experimentación, análisis de resultados y conclusiones), la metodología utilizada se fundamenta sobre cimientos confiables.

#### 4.1 Conversión de unidades.

Si bien es cierto que existe una gran cantidad de datos, parte de la metodología estuvo basada en la simplificación de los mismos, de manera que la interpretación de eventos fuera solo una tarea de aplicación de conocimientos, además, la conversión de unidades dentro del proyecto se realizó para hacer una comparación real con las normas de calidad de aire que rigen en nuestro país. En este caso la conversión de concentraciones de PPM a microgramo/m<sup>3</sup>, se hizo según como muestra la ecuación siguiente;

$$\text{Microgramo/m}^3 = \frac{\text{PPM} \times (\text{Peso Molecular} \times 1000)}{24.5}$$

Siendo 24.5 la constante de presión en gases para temperatura de 25° C, utilizado en los países centroamericanos. (Véase anexo 1)

#### 4.2 Descripción de equipos y métodos.

##### 4.2.1 Equipos

Para las mediciones de las concentraciones de los contaminantes dentro del túnel, utilizamos básicamente un analizador modelo KM9106 de la marca KANE-MAY, diseñado y provisto de varios sensores para cada contaminante. Según el fabricante, dicho equipo, es utilizado eficazmente para determinar concentraciones de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, además de temperatura, CO<sub>2</sub>, % de humedad, etc. de forma inmediata. En nuestro caso en particular, solo utilizamos el analizador para cuantificar las concentraciones del CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, para luego ser comparados con los requerimientos de la norma competente.

El equipo, a simple vista sencillo, es de fácil manejo y de ventajosa utilización para la tarea realizada. El mismo está compuesto básicamente por un modulo central o cajón operativo, el cual está formado por las conexiones que permiten la medición, y, el control remoto desde donde se manejan las funciones que ofrece. El equipo en sí, está conformado por sensores de oxígeno, puertos de presión, censor principal con una longitud de mas de 3 metros, analizadores, printer, procesador, etc.

El equipo fue facilitado por la Sub-secretaria de Gestión Ambiental, dependiente de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARENA), la cual a la vez supervisó el trabajo realizado.

El analizador KANE-MAY fue una herramienta indispensable en la labor realizada, el cual de manera automática es calibrado al momento del encendido, y manualmente recomendable recalíbralo en un intervalo mínimo de 2 horas de uso seguido según su fabricante. El equipo fue adquirido por la subsecretaria, desde el extranjero con un costo actual por encima de los RD\$ 300,000.00. La capacitación y el ensamblaje del mismo, además de la calibración inicial (usos de gases específicos) fueron realizados por la compañía extranjera distribuidora. Al final de la jornada, el analizador debe ser purgado en aire fresco libre de contaminación para ser guardado hasta la próxima labor.

12A. Equipo de muestreo-



#### 4.2.2 Método

El método específico utilizado para la evaluación en particular, está determinado fundamentalmente de forma generalizada de la siguiente manera: Inicialmente un levantamiento de datos; acerca de las características intrínsecas y extrínsecas del túnel, diseño arquitectónico y mecánico, operabilidad, condiciones actuales, equipamiento, etc.

Luego, visitas al lugar de estudio, planificación y justificación de la estrategia de trabajo. Siguiendo con el muestreo y conteo vehicular de manera conjunta, según un esquema planteado, para proseguir con el asentamiento de los datos. Esquemmatización de los mismos, aplicación de conocimientos, comparación con las normas, interpretación de datos, verificación de lógica, asentamiento de resultados finales, recomendaciones y conclusiones. Y finalmente, asentamiento de la evaluación general en libro. De todo esto, cabe destacar, que el conteo vehicular y el muestreo fueron las dos etapas de mayor sacrificio dentro del estudio, por lo cual se merece principal atención en el detalle de los mismos.

Por último, entendemos que la metodología aplicada y la estrategia de trabajo llenaron las expectativas de muestreo esperadas, y confirmaron lo que inicialmente habíamos planteado, por lo que llegamos a la conclusión que el método de forma generalizada cumplió con sus objetivos.

#### 4.3 Plan de monitoreo

La metodología usada durante el estudio para determinar los niveles o concentración de los gases tóxicos presente en el área del túnel, se realizó a través de mediciones directas con un equipo o analizador modelo KM9106 de la marca KANE-MAY, diseñado y provisto de varios sensores para cada contaminante, como se menciona anteriormente. Los contaminantes medidos fueron Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), temperatura y otros componentes como el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), etc.

Los puntos de muestreo se determinaron aprovechando el diseño y la infraestructura existente del túnel, que está compuesta por catorce fosas (14) y 56 motores (4 por fosa), los cuales no fueron muestreados, y catorce (14) fosas naturales, las cuales sí fueron muestreadas según se había descrito. Además, se tomó en cuenta la densidad del tránsito vehicular sujeto a las horas de mayor (es) (horas picos) y menor densidad del flujo vehicular. Para determinar el flujo vehicular se realizó un conteo de vehículos simultáneamente a las mediciones de los contaminantes.



12B. Equipo de muestreo

#### 4.4 Plan experimental

1. Para determinar el tamaño de la muestra, no hubo que tomar el plan estadístico de muestreo, en vista de que el tamaño de la misma está dada por la cantidad totales de respiraderos existente. No obstante se tenía inicialmente entendido monitorear todos los puntos posibles del boulevard, dísece extractores, sin embargo, las características de las tiendas y cajones (cubiertas) no permitieron llevar a cabo dicho plan, por lo que solo nos vimos obligados a tomar los respiraderos naturales como estación (ampliado anteriormente).
2. La ubicación de cada punto de muestreo fue georeferenciado con GPS Marca Magellan SporTrak, además, los mismos fueron ubicados racionalmente desde el Este - Oeste, y Sur - Norte para una definición de puntos estratégicos defiriéndose al recorrido que se realizó. De antemano se le añade que el orden de las estaciones no afectará el resultado del estudio.
3. La selección de los horarios de muestreo se determinó tomando como criterio la densidad del flujo vehicular (hora pico y hora baja), con el objetivo de hacer la diferencia de los resultados en ambas horas. Se utilizaron las horas picos de mañana y medio día únicamente.
4. El periodo de medición en cada estación está acorde con el flujo vehicular y fue de una hora (1h), además, se acogió siguiendo el plan de muestreo que establece la norma dominicana.
5. El intervalo de tiempo entre una medida y otra fue de aproximadamente tres minutos (3 min.+/-1 min), lo que resultó un total de aproximadamente 20 mediciones por hora en cada estación.
6. Para realizar las mediciones se procedió a colocar los sensores a través de las fosas hasta un nivel dentro del área del túnel, de tal manera que el área y el punto de altura en ella, resultará representativa para las mediciones.

## 4.5 PLAN DE TRABAJO

No. Estación	Día de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Ubicación
1	Lunes	19 Mayo 2003	8.00 AM - 9.00 AM	1era ubicada de Este a Oeste al Sur
2	Lunes	19 Mayo 2003	12.30 PM - 1.30 PM	1era ubicada de Este a Oeste al Norte
3	Lunes	19 Mayo 2003	1.30 PM - 2.30 PM	3era ubicada de Este a Oeste al Sur
4	Martes	20 Mayo 2003	8.00 AM - 9.00 AM	3era ubicada de Este a Oeste al Norte
5	Martes	20 Mayo 2003	12.30 PM - 1.30 PM	5ta ubicada de Este a Oeste al Sur
6	Martes	20 Mayo 2003	1.30 PM - 2.30 PM	5ta ubicada de Este a Oeste al Norte
7	Miércoles	21 Mayo 2003	8.00 AM - 9.00 AM	7ma ubicada de Este a Oeste al Sur
8	Miércoles	21 Mayo 2003	12.30 PM - 1.30 PM	7ma ubicada de Este a Oeste al Norte
9	Miércoles	21 Mayo 2003	1.30 PM - 2.30 PM	8va ubicada de Este a Oeste al Sur
10	Jueves	22 Mayo 2003	8.00 AM - 9.00 AM	8va ubicada de Este a Oeste al Norte
11	Jueves	22 Mayo 2003	12.30 PM - 1.30 PM	10ma ubicada de Este a Oeste al Sur
12	Jueves	22 Mayo 2003	1.30 PM - 2.30 PM	10ma ubicada de Este a Oeste al Norte
13	Viernes	30 Mayo 2003	12.30 PM - 1.30 PM	12ava ubicada de Este a Oeste al Sur
14	Viernes	30 Mayo 2003	1.30 PM - 2.30 PM	12ava ubicada de Este a Oeste al Norte
3	Martes	27 Mayo 2003	4.00 AM - 4.30 AM	3era ubicada de Este a Oeste al Sur
8	Martes	27 Mayo 2003	4.30 AM - 5.00 AM	7ma ubicada de Este a Oeste al Norte
11	Martes	27 Mayo 2003	5.00 AM - 5.30 AM	10ma ubicada de Este a Oeste al Sur
14	Martes	27 Mayo 2003	5.30 AM - 6.00 AM	12ava ubicada de Este a Oeste al Norte

Nota.-Solo se escogieron los respiraderos naturales como estaciones de monitoreos.

El número de ubicación está relacionado al numero total de fosas.

#### 4.6 Herramientas para el levantamiento de informaciones.

##### 4.6.1 Modelo de hoja para el conteo realizado en horas de muestreo.

Este modelo utilizado para el conteo vehicular de los móviles que transitan por el túnel, fue elaborado tomando en cuenta las características de los vehículos que regularmente transitan por el área, sin atender las prohibiciones imperantes. Con la información recopilada en la hoja, se pretendió averiguar la cantidad de vehículos que transitan en el túnel en las distintas horas del día, además de la caracterización del flujo vehicular. Con esto se buscó relacionar las concentraciones muestreadas con el número de vehículos o con su caracterización, de manera que se suponga alguna variación al momento de que el flujo motorizado aumente o la caracterización varíe.

### HOJA DE CONTEO VEHICULAR

Hora de finalización.-  
Realizado por.-

ORIENTACIÓN ENTRADA VEHÍCULOS (ESTE – OESTE) \_\_\_\_\_

HORAS \_\_\_\_\_

(OESTE – ESTE) \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_

FLUJO VEHICULAR TOTAL AL FINAL DE LA JORNADA

Tipo vehículo	Cantidad	Total
Automóvil		
Camioneta		
Camión		
Jeep		
Jeepeta		
Motor		
Guagua		
Minibús		
Otros		
<u>Combustible</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Total</u>
Gasoil		
Gasolina		
GLP		

\* **nota.-** el total de la sumatoria de los tipos de vehículos y del tipo de combustible, debe ser igual.

Observaciones.- \_\_\_\_\_

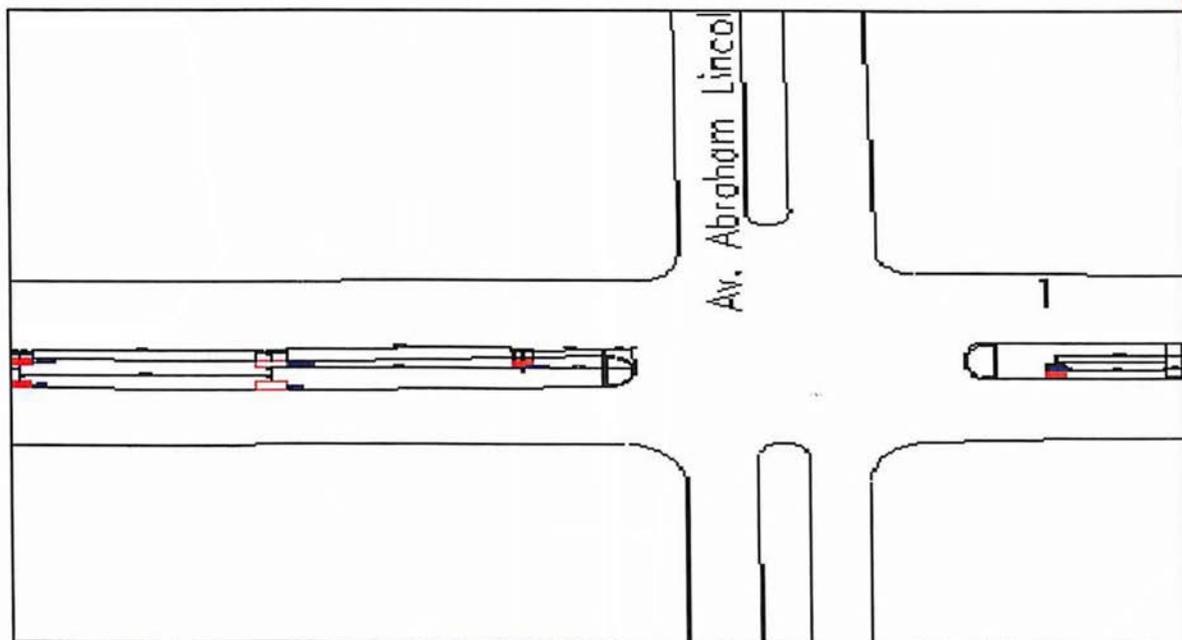


## 4.7 Esquema de Estaciones

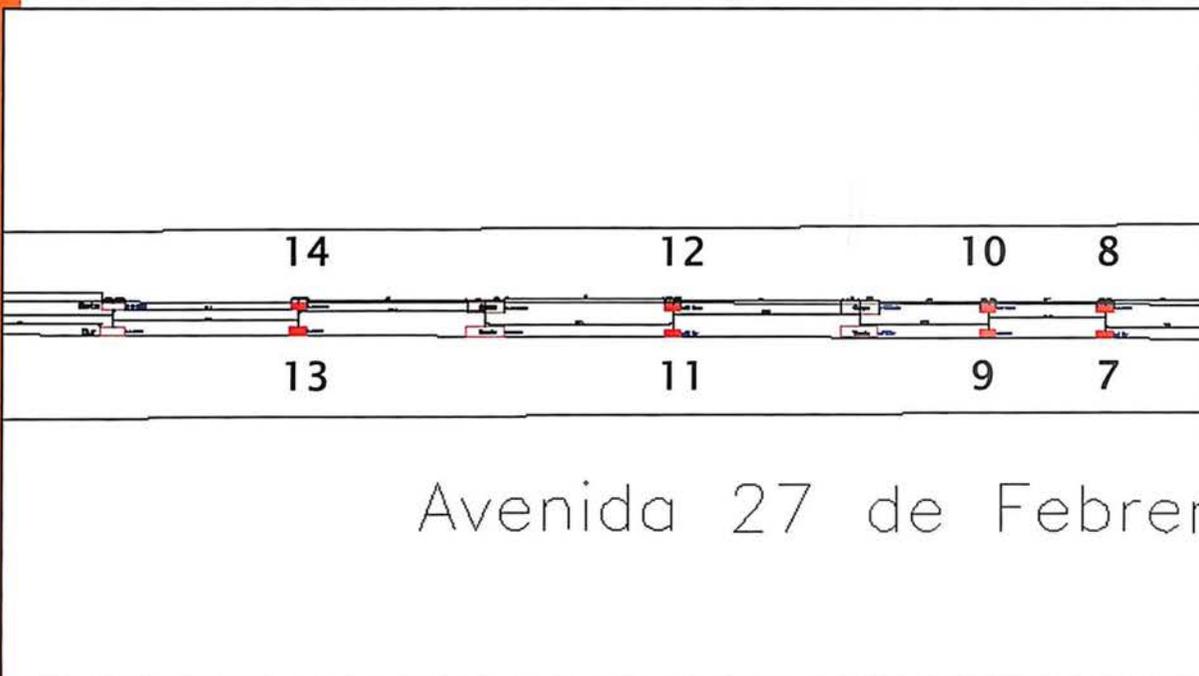
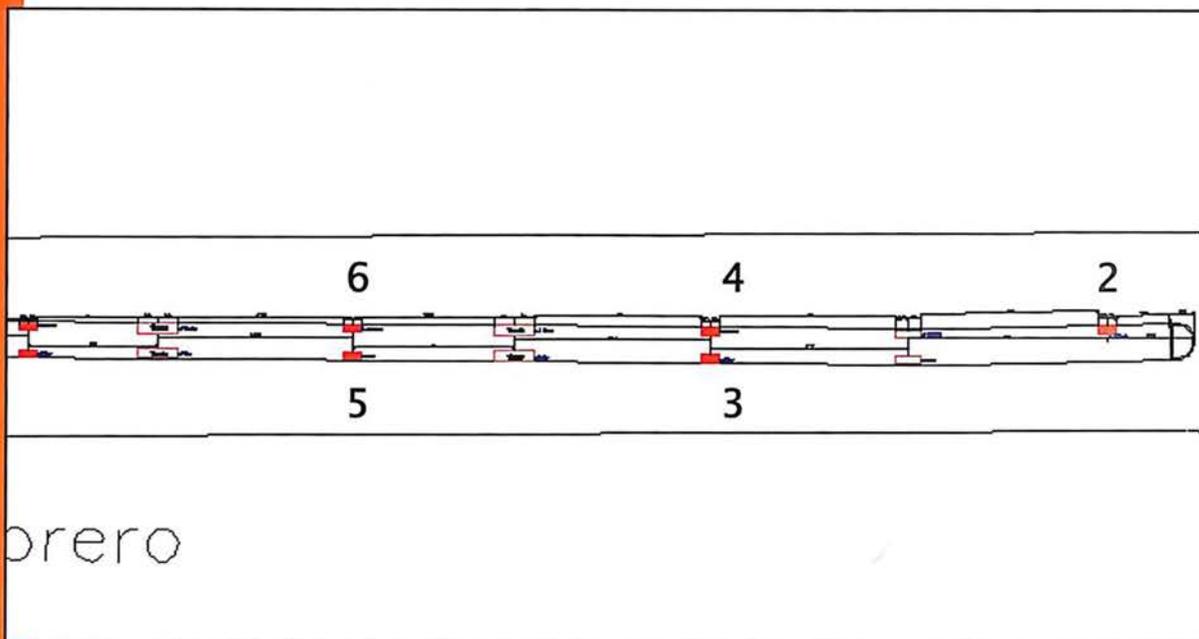
### 4.7.1 Plano de ubicación de las estaciones de muestreo

Estos esquemas representan la ubicación de las estaciones en el plano del túnel desde una vista en planta. La numeración de las estaciones no se basó en ningún planteamiento o asunción. Simplemente se numeraron para una mejor identificación, escogiéndose en dirección este - oeste y en orden alternados sur - norte.

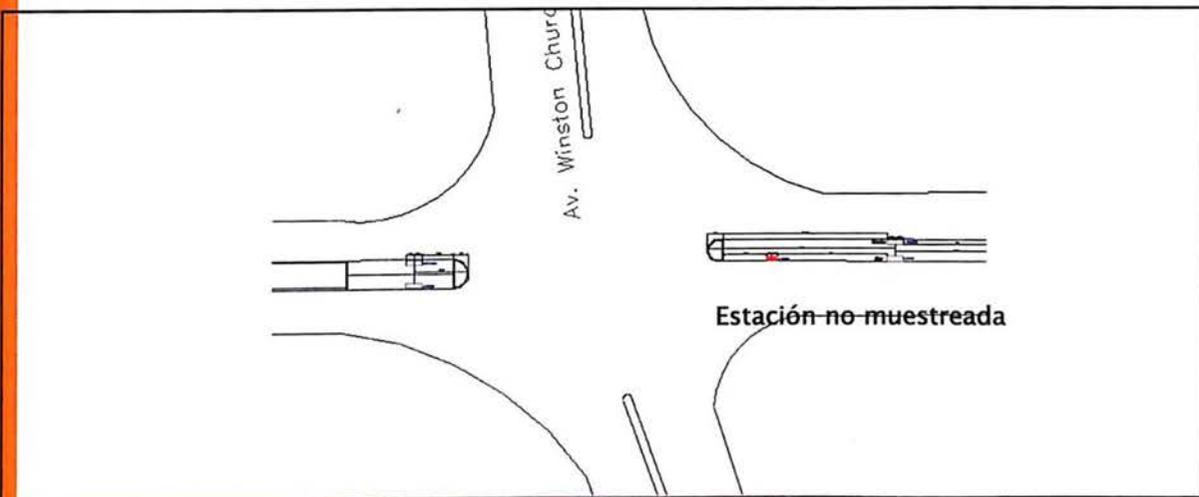
Las numeraciones se asignaron según las condiciones planteadas, y encima de la estación correspondiente. A continuación se presenta el plano general en planta del túnel, y luego el detalle de las estaciones:



13. Plano ubicación estaciones de muestreo.

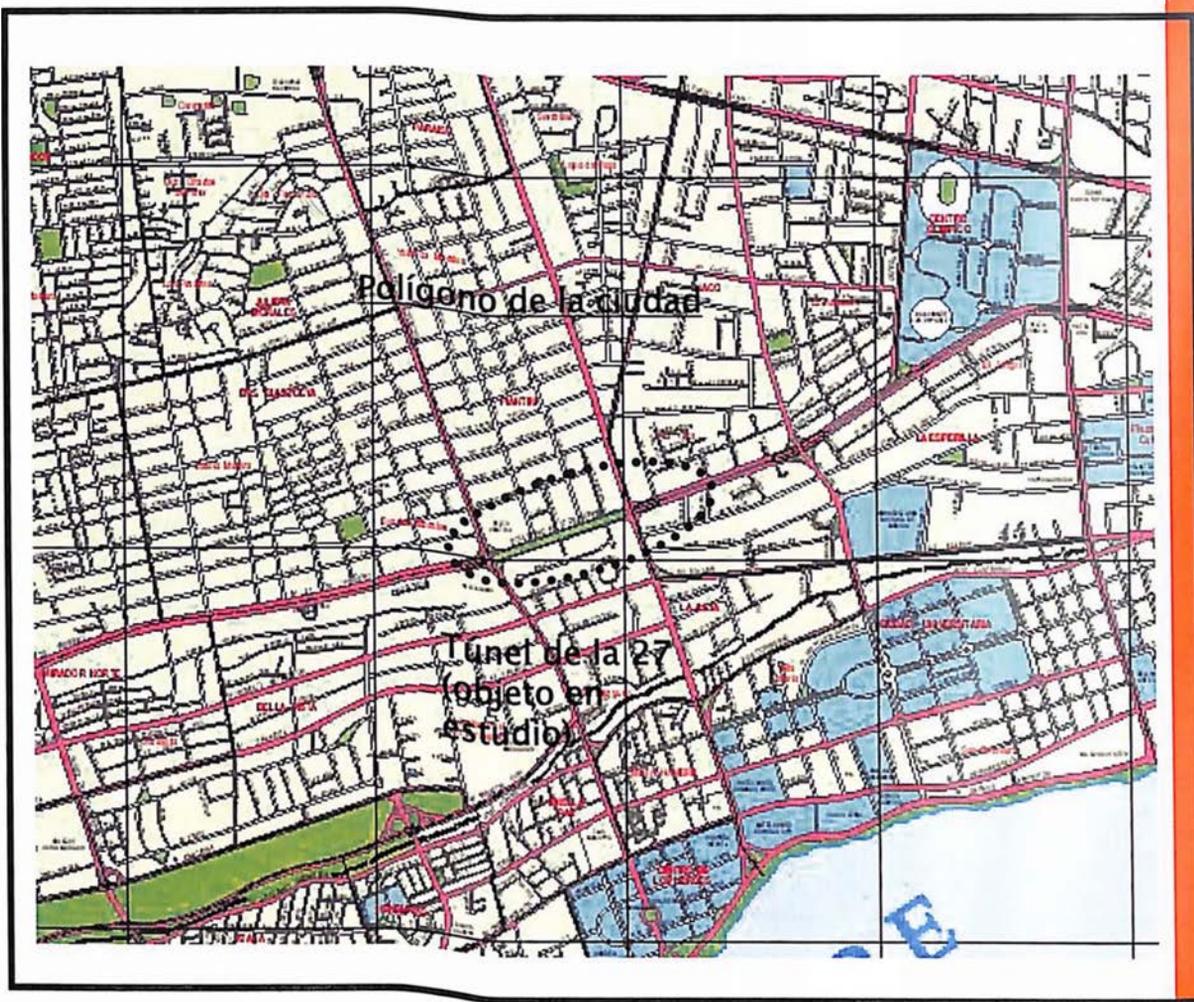


Avenida 27 de Febrero



## 4.8 Ubicación del objeto en estudio

Este esquema muestra la ubicación del objeto en estudio en el plano de la ciudad. Ejemplariza de una manera macro las vías y formas de acceso, y su colocación con respecto al llamado polígono de la ciudad.



14. Mapa Polígono Central

# CAPITULO 5

Resultados

## V. Resultados

### 5.1 Definición del área en estudio

El área de estudio está definida y limitada únicamente por el recinto que determina el túnel de la 27, muy específicamente, el paso a desnivel que inicia desde el Este; un poco antes de cruzar la Av. Abraham Lincoln y termina luego de la intersección de las Av. 27 de febrero y Av. Winston Churchill. Dicho estudio en conjunto con los resultados arrojados, reflejan únicamente el comportamiento interno del túnel desde la perspectiva de la calidad del aire envuelta en una evaluación rápida de la contaminación atmosférica.

El túnel de la 27, está determinado según sus características arquitectónicas de la siguiente forma; 16 mts. de ancho y gálibo de 4.60 mts. de altura, que permite canalizar los carriles centrales de la Av. 27 de febrero por debajo de las intersecciones de la Av. Winston Churchill y la Av. Abraham Lincoln con una longitud de 869 mts. techado y dos rampas de 250 mts. cada una.

#### 5.1.1 Características típicas del objeto en estudio (túnel de la 27 Churchill - Lincoln)

El diseño electromecánico del túnel muestra 14 fosas de 4 secciones cada una con motores de 5 HP (características antes definidas), sumando un total de 56 motores únicamente para la extracción de gases (todos actualmente fuera de servicio) y varios respiraderos naturales (14 en total) para el reciclado natural del aire (utilizados como estaciones de monitoreos). Estos respiraderos suman 7 pares paralelos en total con 3 secciones para la identificación de los mismos. Poseen 8 cámaras de vigilancia para los accidentes vehiculares monitoreados las 24 horas desde la torre de control ubicada en la 27 de febrero en el mismo tramo de estudio. Además, hay 30 puestos de extintores ABC de 20 lbs., distribuidos equitativamente a todo lo largo del túnel.

Las condiciones de mantenimiento vienen dadas mensualmente por el organismo competente (SEOPC), en donde proceden con el lavado de las paredes, calles y alcantarillado.

La compañía que se encargó del diseño del túnel en todas sus vertientes fue Sercitec S, A (incluyendo el diseño electromecánico para la extracción de los gases).

**Tabla 12. Características extractores**

Casa fabricante	Denyo
Marca	Extractor Magnetek Century Farm Rated
Capacidad	5 HP
Diámetro abanico	36"
No. De aspas	6
Voltios	230
Velocidad del abanico	1133 R.P.M.
R.P. M. (motor)	1740
CFM (capacidad de extracción)	26,000 pie <sup>3</sup> /min de aire

Los 56 motores en total son de uso continuo, además, de poseer cierre automático en caso de salir de operación. En la actualidad ningún extractor está en funcionamiento al igual que todos los sistemas de control y mantenimiento. Según nos informó una fuente confiable, se están haciendo las gestiones para reincorporar la operabilidad del mismo, sin embargo, no es propuesta garantizada, por lo que al menos en corto plazo se puede desestimar también.

## **5. 2 Resultados**

A continuación se presentan los resultados del muestreo, colocando primeramente las tablas que definen las características de la estación (coordinada, hora, fecha, conteo vehicular, etc.) en combinación con los resultados arrojados en el monitoreo de los contaminantes emitidos. Luego se grafican en el plano mediante lluvias de puntos, presentándose además, las desviaciones estándares con una franja transparente y el promedio mediante una línea interrumpida. Se presentará con este proceso; individualmente todas las estaciones, e independiente cada contaminante.

Luego de haber graficado todas las estaciones individualmente con cada contaminante, se presentará también el recuadro con los promedios de todos los contaminantes por estaciones, y se graficarán los mismos, de manera que haya una representación de la estación de forma generalizada. Dichas graficas se presentarán por medio de columnas comparativas con los limites exigido por la norma de calidad de aire. También se presentarán gráficas de referencia que indicarán como se comportaron los contaminantes en el túnel.

ESTACIONES  
DE TRÁFICO  
DE BUSES  
DE TRÁFICO  
DE BUSES

**RESULTADOS**

**POR ESTACION**

A continuación presentaremos la interpretación de los resultados de los muestreos realizados al objeto de estudio. Los resultados numéricos ya tabulados serán colocados como parte de los anexos, así como también serán colocados los cuadros representativos del muestreo en la sección antes citada. El color rojo en los resultados de la estación muestreada, expresa que dicho valor sobrepasó el límite de la normativa local.

### Estación 1

La hora muestreada (8 AM – 9 AM) de un lunes, se supone arrojaría datos significantes con respecto a la concentración de contaminantes, debido a que es el día de mayor trasiego vehicular en la semana, recién pasando en ese momento la hora pico en horas matutinas. Bajo estas circunstancias y según lo esperado, todas las concentraciones de los contaminantes muestreados (CO, NOx, SO<sub>2</sub>) sobrepasaron los límites según la normativa nacional e internacional (EPA, OMS, OPS). Al ser la primera estación ubicada en la entrada del túnel, se observan que las concentraciones de los contaminantes se encuentran dentro de las mas bajas con relación a las estaciones muestreadas en horas matutinas, pero permaneciendo por encima de la normativa. La ventilación en ese punto es la más notable en comparación con las demás estaciones. Se presentó una relación entre el SO<sub>2</sub> y el NOx.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA						
1	50.90	58,171.43	3.00	3,673.47	1.35	3,526.53

### Estación 2

Esta estación muestreada el mismo lunes, pero en horas vespertinas (1.30 PM – 2.30 PM) en comparación a la anterior, muestra cierta similitud en los datos arrojados, excluyendo las emisiones del CO, que para este caso no fueron sobrepasados. Dicha relación se da por la cercanía que presentan ambas estaciones.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA						
2	21.45	24,514.29	4.55	5,571.43	2.18	5,694.69

### Estación 3

Esta estación muestreada inmediatamente después de la anterior (lunes 2.30 PM - 3.30 PM), presenta similitud en las concentraciones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. El CO sobrepasó en más de 120% la norma, debido a la falta de ventilación en ese punto. La cantidad de vehículos que trasegaron por ese instante fueron menores en comparación al horario muestreado en las anteriores estaciones.

#### ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA

Estación	CO		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>3</b>	<b>83.92</b>	<b>95,908.57</b>	<b>5.23</b>	<b>6,404.08</b>	<b>1.77</b>	<b>4,623.67</b>

### Estación 4

Dicha estación, muestreada un martes entre las 8.00 AM y las 9.00 AM, presenta la mayor concentración de NO<sub>x</sub> en comparación a los demás puntos monitoreados. La concentración de tal contaminante fue de 9.19 PPM versus 0.32 PPM en comparación con el límite de la normativa ambiental dominicana según los estándares de calidad de aire. Los registros de SO<sub>2</sub>, también fueron de las concentraciones mayores encontradas, por lo se observa relación entre ambos contaminantes.

#### ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA

Estación	CO		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>4</b>	<b>77.05</b>	<b>88,057.14</b>	<b>9.19</b>	<b>11,253.06</b>	<b>2.67</b>	<b>6,974.69</b>

### Estación 5

La estación 5 se presenta ligeramente por encima de la normativa en cuanto al monóxido de carbono, debido a que la misma fue muestreada en la tarde, y en horas donde se ve reducido el trasiego vehicular. Todos los contaminantes se presentan por encima de la norma, al igual que el 66% de las estaciones muestreada en la tarde.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA						
5	38.53	44,034.29	2.00	2,448.98	1.40	3,657.14

### Estación 6

Muestreada entre 1.30 PM y 2.30 PM, presentó bajos valores con relación a los estándares del CO, debido a la reducción del trafico vehicular en ese horario. Esta estación en combinación con las próximas tres estaciones, conforman el núcleo central del túnel.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA						
6	31.40	35,885.71	2.33	2,853.06	2.07	5,407.35

## Estación 7

Como había de esperarse y debido a ser la estación céntrica del túnel, además de haber sido muestreada en horario pico de la mañana en donde la temperatura se hace menor, las concentraciones del monóxido de carbono y el dióxido de azufre se presentan en sus mayores valores con respecto a las demás estaciones de cualquier horario muestreado. Como se observa en el cuadro de los resultados, las concentraciones de CO y SO<sub>2</sub> ascienden a 110.63 PPM y 7.16 PPM con respecto a 35 PPM y 0.08 PPM respectivamente según los límites aceptados por la normativa dominicana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) se refiere al límite del CO en no más de 25 PPM para respetar sus estándares. Así mismo la Environmental Protection Agency (EPA), se refiere al límite de sus estándares de calidad de aire para el SO<sub>2</sub> a 0.14 PPM. Como ha de notarse, dichos límites también fueron sobrepasados.

Esta es la estación que muestra claramente el comportamiento típico y lógico esperado de las concentraciones de los contaminantes de las estaciones del túnel de la Av. 27 de febrero en el tramo Churchill - Lincoln.

*Además de ser la estación en donde se registró el mayor conteo vehicular (5, 426), fue la cuarta en la mayor concentración de NOx encontrada (5.53 PPM versus 0.32 PPM de la normativa).*

Bajo este comportamiento, podemos deducir que;

1. A mayor conteo vehicular, mayor concentración de contaminantes.
2. A menor temperatura bajo un mismo flujo vehicular, los contaminantes permanecen a nivel medio en el túnel y por tanto las concentraciones son más perceptibles.
3. Por tanto, a mayor temperatura bajo el mismo flujo, los contaminantes suelen hacerse más inestable, de manera que suben al nivel del techo y reducen ligeramente su concentración en el túnel. Esta situación no representa beneficio sustancial, ya que la temperatura, es otro factor de preocupación.
4. Mientras las estaciones se van acercando al centro, las concentraciones se hacen mayores. Esta situación se presenta debido a la escasez de aire natural.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA						
7	<u>110.63</u>	<u>126,434.29</u>	<u>5.53</u>	<u>6,771.43</u>	<u>7.16</u>	<u>18,703.67</u>

### Estación 8

Dicha estación muestreada un miércoles entre 1 PM y 2 PM, se presenta por debajo de los estándares para el CO, al igual que otras tres estaciones más muestreada en horario normal de trasiego vehicular (se refiere al tráfico entre las 7 AM a 10 PM).

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>8</b>	<b>26.94</b>	<b>30,788.57</b>	<b>3.00</b>	<b>3,673.47</b>	<b>1.29</b>	<b>3,369.80</b>

### Estación 9

En esta estación al igual que el 100% de las estaciones muestreadas en el túnel de la Av. 27 de febrero, las concentraciones del SO<sub>2</sub> y del NOx sobrepasaron los límites de los estándares de calidad de aire. El CO sobrepasó la norma en más de un 140%, así mismo el NOx y el SO<sub>2</sub> sobrepasaron la misma normativa en más de un 2,000 % y 4,000 % respectivamente.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>9</b>	<b>75.21</b>	<b>85,954.29</b>	<b>8.63</b>	<b>10,567.35</b>	<b>3.42</b>	<b>8,933.88</b>

### Estación 10

Las concentraciones de todos los contaminantes en esta estación presentaron altos valores con respecto a otras estaciones del mismo túnel, debido a que la misma fue monitoreada en horas tempranas de la mañana (8.30 AM - 9.30 AM). La temperatura promedio hallada fue de 31.62° C, la segunda menor de las estaciones muestreadas en horarios normales de tránsito. Esta situación corrobora nuevamente, que las bajas temperaturas comparativas en el túnel, repercuten en la estancia de los contaminantes y por ende su elevada concentración.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
10	85.72	97,965.71	5.11	6,257.14	2.33	6,086.53

### Estación 11

Muestreada entre la 1 PM y 2 PM, dicha estación se presenta por debajo de los límites según los estándares de calidad de aire para el CO. Los demás contaminantes por encima de la norma. Esta es otra de las estaciones, de las 9 muestreadas en la tarde, que presentan valores por debajo a la normativa para el caso del monóxido de carbono (4 en total). Nunca en horas de la mañana, se presentaron valores por debajo la normativa para el caso del monóxido de carbono, ni para ningún otro contaminante.

ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA						
Estación	CO		NOx		SO <sub>2</sub>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
11	26.82	30,651.43	2.73	3,342.86	1.09	2,847.35

### Estación 12

La estación 12 se encuentra muy próxima a la salida oeste, en donde se pudieran esperar bajos valores con respecto a otras estaciones y no a la normativa, ya que como se había citado con anterioridad, los sistemas de extracción de gases y el diseño del mismo no están en operación, ni son los adecuados desde la óptica ambiental, por tanto, las concentraciones esperadas siempre estarán por encima de los límites de cualquier estándar. Con respecto a la espera de bajos valores comparativos, dicha estación fue muestreada en horario matutino, por lo que las concentraciones son más perceptibles, y por tanto, los contaminantes se presentarán en altos valores comparativos, tal y como ha estado ocurriendo en todas las estaciones muestreadas en horarios matutinos. El NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y el CO fueron sobrepasados en más de un 1,100%, 1,400% y 100% respectivamente según los estándares de calidad de aire de la República Dominicana.

<b>ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA</b>						
<b>Estación</b>	<b>CO</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>12</b>	<b>73.36</b>	<b>83,840.00</b>	<b>4.09</b>	<b>5,008.16</b>	<b>1.18</b>	<b>3,082.45</b>

### Estación 13

La temperatura en esta estación muestreada subió desde 34° C hasta 35.8° C paulatinamente desde las 12.36 PM hasta la 1.31 PM, de manera que no incidió en la permanencia de los contaminantes, específicamente del monóxido de carbono, en el túnel. Notamos cierta incidencia de la temperatura con el CO después de que la primera alcanzara los 36° C. Bajo esta condición, el CO suele elevarse y perder ligeramente su concentración en el túnel (Ej.; estaciones 2, 6 y 8).

<b>ESTADARES DE CALIDAD DE AIRE SEGUN NORMATIVA DOMINICANA</b>						
<b>Estación</b>	<b>CO</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
	35	40,000	0.32	400	0.08	200
<b>RESULTADOS DE LA ESTACION MUESTREADA</b>						
<b>13</b>	<b>56.14</b>	<b>64,160.00</b>	<b>5.05</b>	<b>6,183.67</b>	<b>1.62</b>	<b>4,231.84</b>

# CAPITULO 6

Análisis y Discusiones

## 6.2 Análisis

Basado en la experiencia particular vivida en el transcurrir del estudio, y sobre todo en el uso constante, obligado y planeado de la vía pública que determina el túnel de la 27 con casi un kilómetro de longitud, deducimos que tanto el diseño electromecánico y arquitectónico, no cumplen con las necesidades que permitirían la extracción adecuada de los contaminantes y/o la permanencia de los mismos en las instalaciones. Es por esto que para un funcionamiento eficaz y eficiente en términos ambientales del objeto en estudio, se debe considerar; primero, el reestablecimiento y mantenimiento de los extractores presentes, segundo, el estudio para la colocación de más equipos de esta índole, y tercero, la colocación de un muro central bajo un programa de limpieza exhaustivo, o la colocación de extractores centrales para contrarrestar el efecto remolino del van y ven en el trasiego vehicular.

## 6.3 Discusiones

Tal y como se mencionó con anterioridad, de las catorce estaciones monitoreadas en la estructura del túnel de la 27 de febrero, solamente el 44% de estas estaciones cumplen con los valores establecidos para el monóxido de carbono (CO) en la norma de calidad del aire. El 100% de estas estaciones sobrepasan los parámetros establecidos en la norma para los demás contaminantes.

Para el CO se detecta que en 6 estaciones (E-3,4,9,10,12) prácticamente duplican los límites de la norma para un 33%. Una estación más, triplica tal límite (E-7). Las demás estaciones se muestrearon con márgenes de un 40%, 60%, y hasta 80% sobre el nivel establecido respectivamente.

La estaciones que no sobrepasaron los límites para el CO (E-2,6,8,11), fueron muestreadas en horas de la tarde. Todas las estaciones muestreadas en horario matutino, sobrepasaron de forma estrepitosa las concentraciones permitidas del CO, NOx, SO2 (Ej.:E-7,4).

En la estación número E-7, ubicada en la parte media del túnel, se registró el mayor valor de monóxido de carbono de 126,434.29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (110.63 ppm) y el mayor flujo vehicular de 5,426 veh/hr, en la hora pico desde 7:30 AM a 8:30 AM. Asumimos que este valor estuvo influenciado por dos factores:

Primer factor que se asume es la deficiencia de combustión de la flota vehicular (eficiencia de combustión estimada de un 60%), el segundo factor es la alta densidad de vehículos de combustión de combustibles diesel ligero y mediano (31%). A bajos niveles, el CO puede causar falta de aliento, náusea y mareos ligeros y puede afectar la salud después de un tiempo. A niveles moderados, el CO puede causar dolores de cabeza, mareos, confusión mental, náusea o desmayos, pero puede causar la muerte si estos niveles, aunque moderados, se respiran durante mucho tiempo. Efectos crónicos: Estrés en el sistema cardiovascular, baja tolerancia al ejercicio, ataque cardiaco. Máximo permitido: 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  (9 ppm) en 8 hr; 30  $\text{mg}/\text{m}^3$  en 1 hr (26 ppm) – Según la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Para los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), sus concentraciones se incrementaron en todas las estaciones sobrepasando los estándares de emisión como de inmisión establecido en la norma nacional. Por ejemplo, la estación 4 registró la mayor concentración de  $\text{NO}_x$ , multiplicando prácticamente por veinte y nueve (29), dicho límite: 9.29 PPM versus 0.32 PPM que exige la norma. La alta concentración de este contaminante emitido por el tubo de escape de un vehículo, se debe a un factor que obedece a sí el combustor usa una cantidad de aire en exceso. Para este caso en particular, debería existir un control normalizado de  $\text{O}_2$  en el combustor de la flotilla vehicular de la ciudad. Este aspecto se agrava en el interior del túnel, debido a la presencia de altas temperaturas y consecuente formación de ozono ( $\text{O}_3$ ) o smog fotoquímico. Aunque no se midieron dichos contaminantes, se puede asumir su presencia por condiciones propiciadas y por la falta de visibilidad propia del smog. Tal contaminante puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado. Los efectos que causa el ozono son nocivos para las personas, especialmente nonatos, neonatos, anciano y enfermos. Se estima que la fracción del nitrógeno del combustible que aparece como  $\text{NO}_x$  en el gas de escape típicamente es de 20% al 50% dependiendo de la naturaleza química del nitrógeno en el combustible.

También las estaciones 9,10,13 y 14 presentan altas concentraciones del contaminante en cuestión. La estación 7 mostró una concentración de NOx preocupante: 5.53 PPM. Fue en esta última estación que se observó la mayor concentración de SO2 y CO dentro del túnel.

El dióxido de azufre (SO2) monitoreado en todas las estaciones del túnel, registró mediciones con concentraciones superiores a los estándares establecido por la norma de calidad del aire.

Estas concentraciones de dióxido de azufre van desde siete veces el valor de la norma hasta noventa veces dicho valor, como lo muestra la medición en la estación 7: 7.16 PPM versus 0.08 PPM que exige la norma local.

Podemos afirmar que estos valores medidos obedecen al gran número de vehículos que queman como combustible gasoil con un contenido de azufre desde 0.3a 0.7% según especificaciones de la Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad (DIGENOR). Esta situación se presenta ya que este tipo de combustible (gasoil con alto contenido de azufre) es más barato en su adquisición.

Los efectos principales de este contaminante a la salud son: constricción de los conductos respiratorios y ataques asmáticos, irritación de los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema, etc.

Hay que resaltar que las estaciones de monitoreos para las mediciones de cada contaminantes fueron establecidas en los principales puntos de salidas de los gases del túnel (ventiladores naturales), por tal razón esos puntos son los más representativos para valorar y cuantificar las emisiones en esa área de estudio.

Como es natural, sí se observó que en horas de la mañana la temperatura se mantenía rondando los 30° - 33° los cuales se iban incrementando a medida de que las horas se acercaban al medio día, hasta llegar a intervalos que rondaban los 36° - 41°. Esta condición produce un efecto sinérgico, ya que en combinación con las altas concentraciones de CO, NOx y SO2, la permanencia dentro del túnel por mas de 30 min. sería casi imposible.

En fin, el túnel de la 27 con una longitud de 869 mts. techados, se ha visto desde su etapa operacional como una cápsula cerrada de contaminación, ya que el mismo no presenta las condiciones de diseño para un adecuado escape de los gases contaminantes. Esta es la razón específica por lo que los usuarios de tan importante vía de tránsito, cada día mas están siendo afectados por la contaminación interna existente, y a veces por des conocimiento, se enfrentan en un reto con el asesino silente (monóxido de carbono).

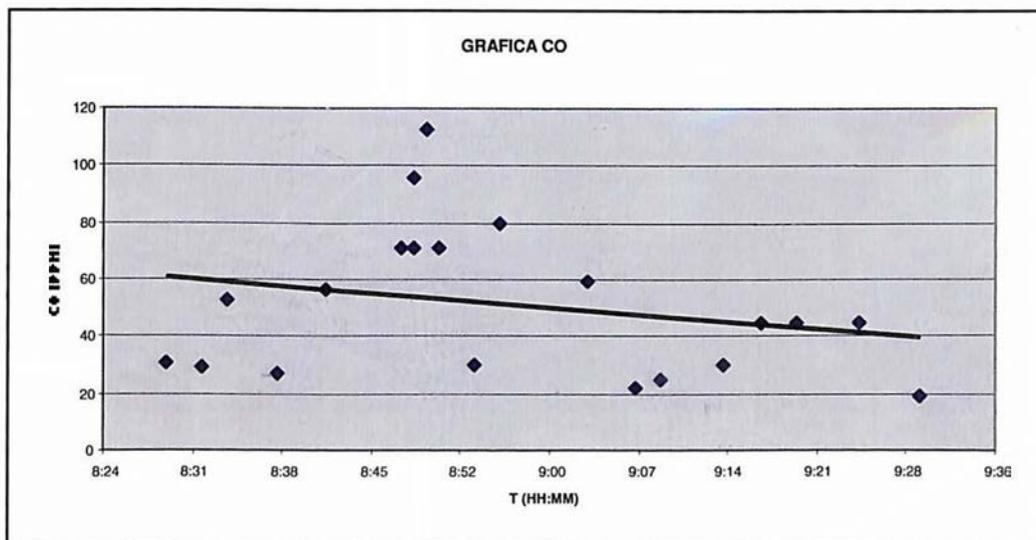
#### 6.4 Tendencia lineal de los contaminantes.

Mostraremos las tendencias lineales en las diferentes horas muestreadas por contaminantes, de manera que se tenga una noción de cómo fue el comportamiento típico en las horas, y la varianza en los períodos del día (mañana - medio día - tarde).

El objeto de mostrar este tipo de análisis, es prácticamente formular un ascenso, descenso o permanencia de cada concentración de contaminante en horas específicas, con el fin de encontrar una relación con respecto al tiempo y al conglomerado vehicular. A continuación se presentarán las graficas independientes típicas del contaminante en particular en horas específicas de muestreo;

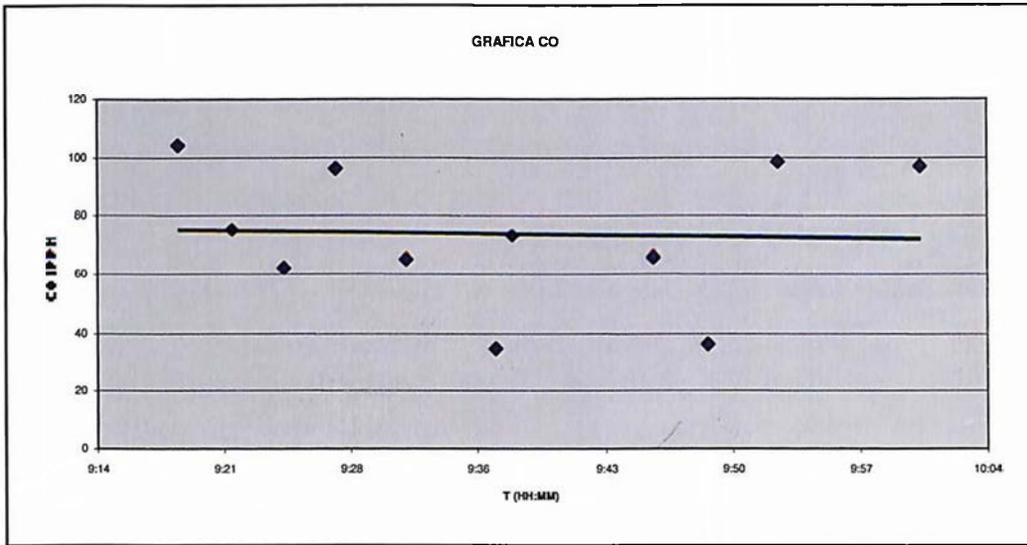
#### Tendencia del Monóxido de Carbono en horas matutinas.

8 - 9 AM.



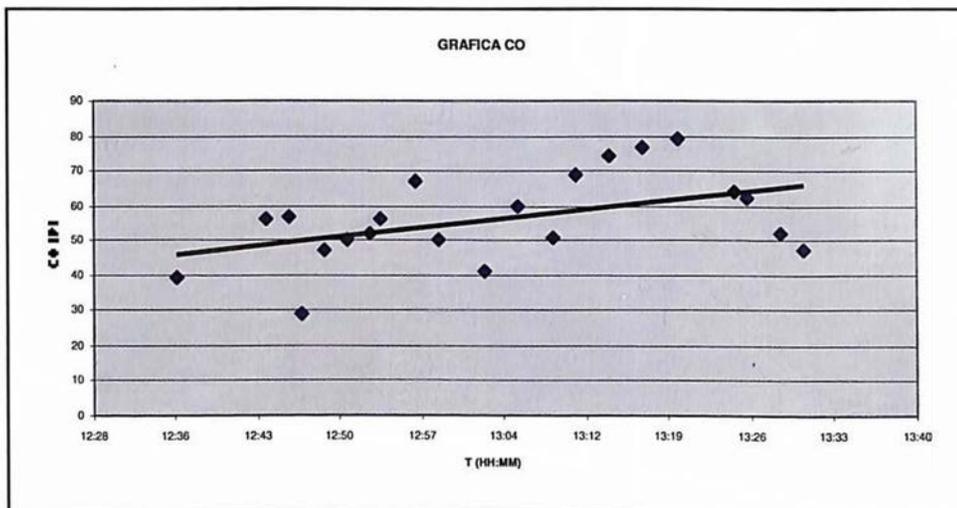
Prácticamente a partir de las 8 de la mañana comienzan las concentraciones del monóxido de carbono a descender, luego de sus valores más altos en el horario de 7.30 AM a 8.00 AM. El flujo vehicular comienza a descender.

9 - 10 AM.



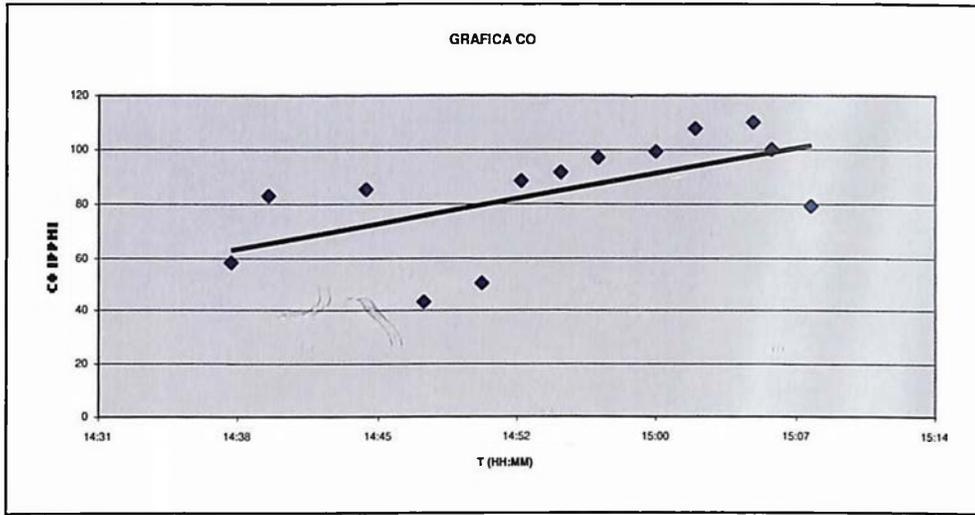
Ya a partir de las 9 en horas de la mañana, las concentraciones se mantienen, según su tendencia a lineal, estables. El flujo vehicular se hace estable.

Tendencia del Monóxido de Carbono en horas vespertinas  
1-2 PM



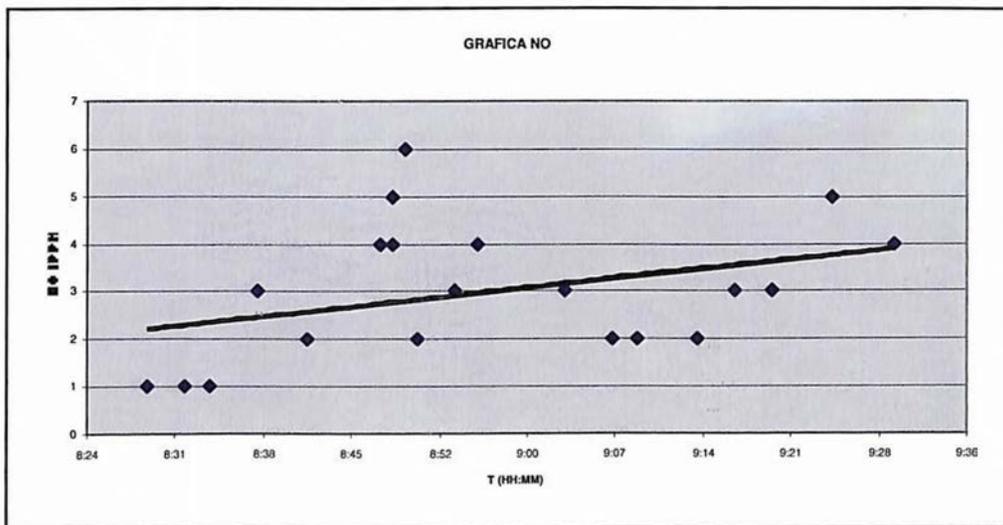
Nuevamente, al mediodía las concentraciones del CO comienzan a ascender., tal y como los muestra su tendencia lineal. Se denota un aumento en el trasiego vehicular también.

2-3 PM



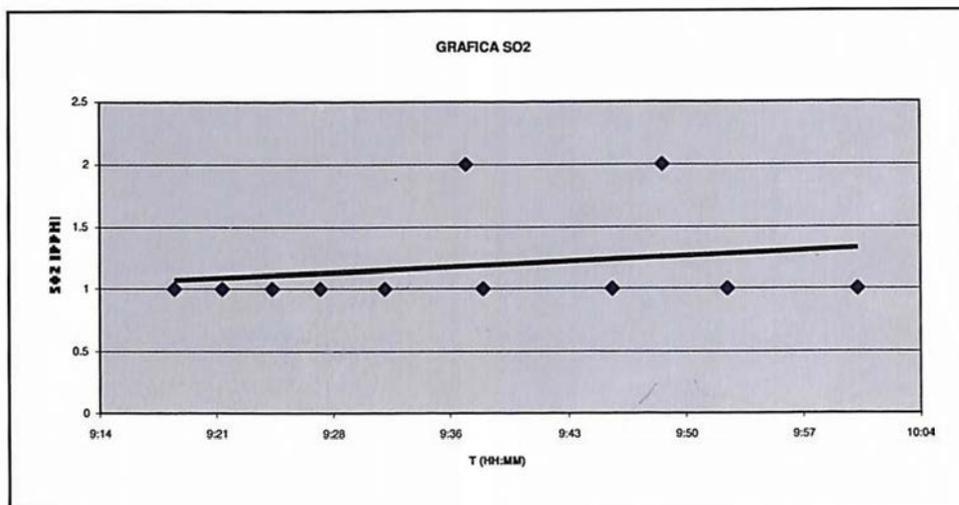
Las concentraciones en las horas vespertinas tempranas, todavía siguen ascendiendo, sin que presenten alguna baja considerable.

Tendencia del óxidos de nitrógenos en horas matutinas.  
8 - 9 AM.



En el caso de los óxidos de nitrógeno y contrario con lo presentado con el CO, las concentraciones siguen subiendo en horas tempranas de la mañana. El flujo vehicular es estable.

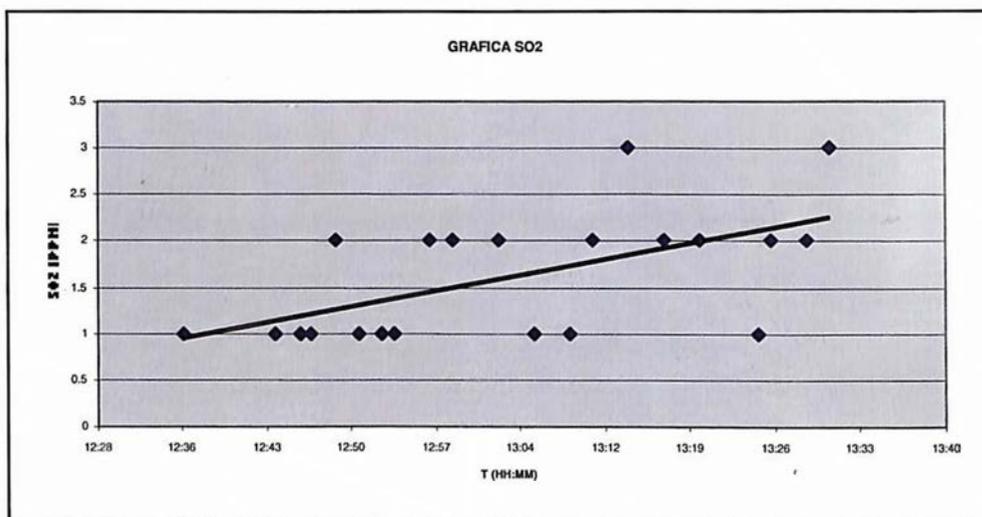
9-10 AM



Prácticamente se observa estabilidad en las concentraciones de este contaminante, presentándose variaciones ascendentes el periodo muestreado.

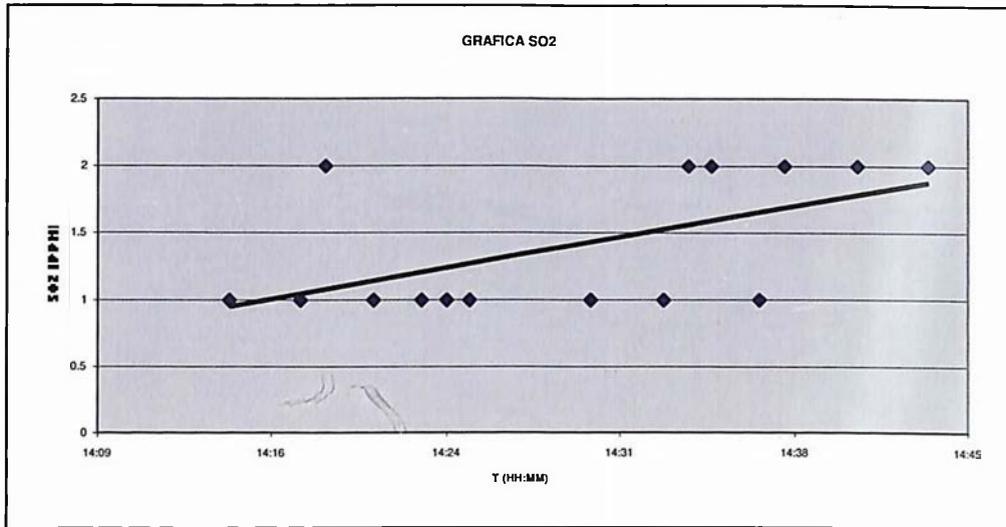
Tendencia de los dióxido de azufre en horas vespertinas.

1-2 PM



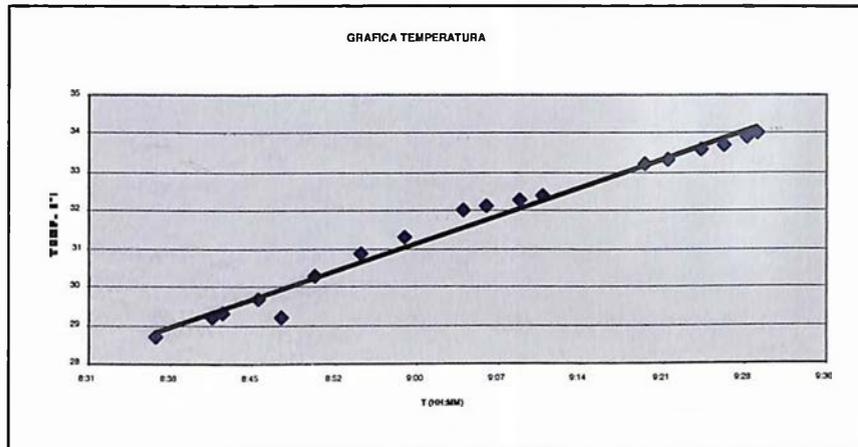
Otra vez al medio día, las concentraciones de SO<sub>2</sub>, al igual que los demás contaminantes, empiezan a subir considerablemente según lo indica su tendencia lineal.

2-3 PM



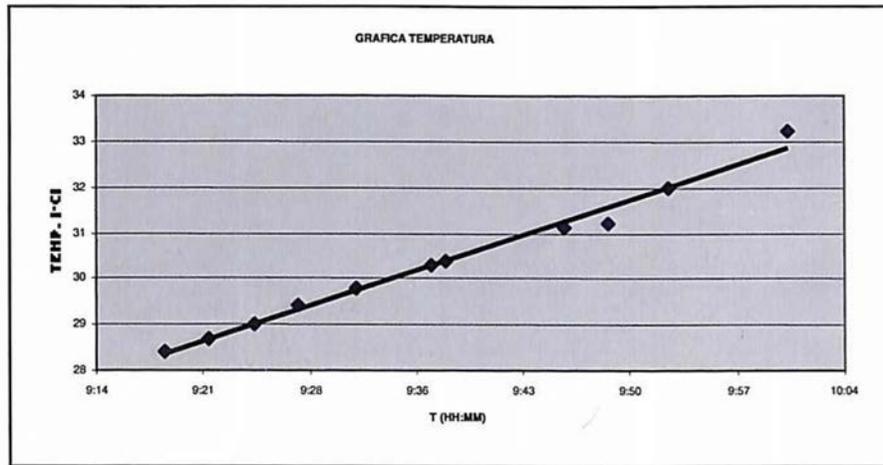
Las concentraciones en las horas vespertinas tempranas, todavía siguen ascendiendo, sin que presenten alguna baja considerable.

Tendencia de la temperatura en horas matutinas.  
8-9 AM



A medida que va aumentando la hora en la mañana, una pendiente claramente ascendente, se hace notar en su tendencia lineal.

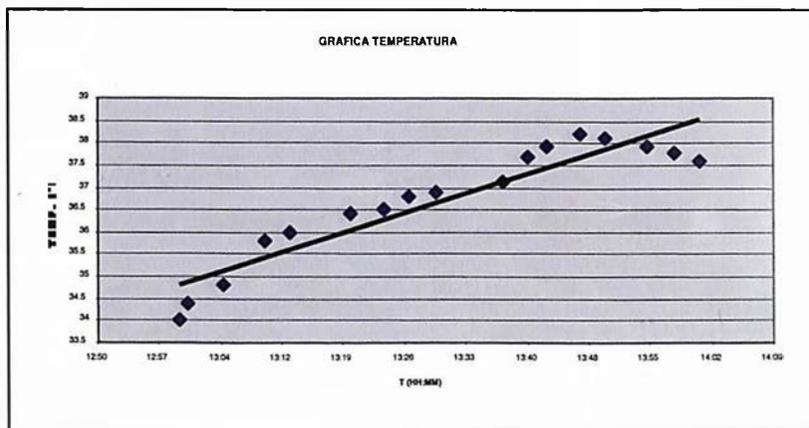
9-10 AM



Todavía en la mañana, la temperatura sigue aumentando a medida que el día se calienta, según lo muestra su tendencia lineal.

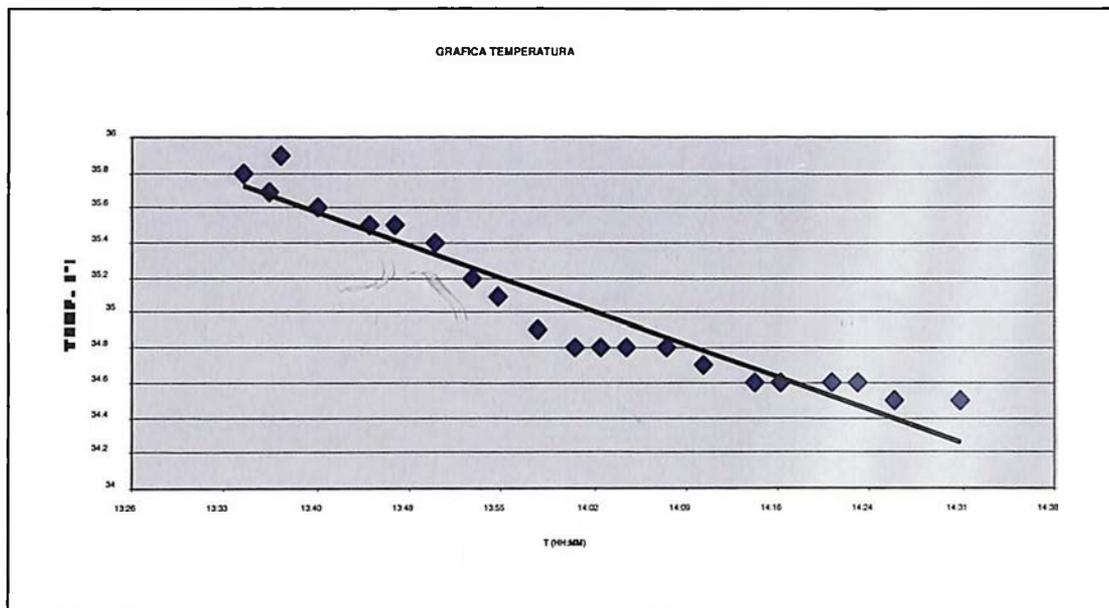
Tendencia de la temperatura en horas vespertinas.

1-2 PM



Las temperatura sigue aumentando vertiginosamente en horas del mediodía, al momento que las temperaturas externas se tornan mas calorosas.

2-3 PM



Las tendencias muestran un descenso considerable en las horas de las tardes más lejanas al mediodía, esperándose un mismo comportamiento a medida que la tarde caiga.

# CAPITULO 7

Conclusiones y Recomendaciones

## VII. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

El impacto ambiental de las emisiones de los vehículos con motor son los responsables del 78% de las emisiones de CO, del 59% de las emisiones de NOx y del 45% de COV, que además de los hidrocarburos, los SO2 y otros compuestos tóxicos que emiten a la atmósfera, son dañinos para la salud y forman el smog, el cual reduce la visibilidad, daña las plantas, provoca irritación ocular y de la garganta, tos, sobrecarga de las vías respiratorias, entre otras cosas.

Estas altas concentraciones de gases contaminantes y para ser más específicos, en las horas picos, exponen a los usuarios del túnel a severas lesiones como consecuencia del contacto con tales concentraciones.

Después de la evaluación de la contaminación atmosférica en el túnel de la 27, podemos concluir con las siguientes alocuciones;

1. En el paso normal de vehículos dentro del túnel, incluyendo las horas pico y bajas, casi todos los contaminantes muestreados (CO, NOx, SO2) sobrepasaron los límites que la norma expone en los estándares de calidad de aire. Solo en horas de la madrugada, el CO no sobrepasó los estándares, sin embargo, los demás contaminantes estuvieron por encima de ella en todo momento.
2. Las concentraciones de los óxidos de nitrógenos y dióxido de azufre, permanecieron todo el tiempo por encima de la norma de la calidad del aire.
3. De manera generalizada, no solo los gases contaminantes provenientes de la gasolina y el gasoil afectan el ambiente estudiado, sino que los aceites sumados al hollín producido por el desgaste de los neumáticos y los malos olores del asbesto de las bandas o discos de los frenos de los vehículos, producen una combinación fatal para provocar todo tipo de enfermedad (que pueden ir desde una simple afección de las vías respiratorias hasta otras de tipo degenerativo como el cáncer), en las personas que diariamente se ven obligadas o que inconscientemente hacen uso de esta vía al moverse por la ciudad.

4. La mala limpieza de las vías internas del túnel contribuyen a que tanto las materias particuladas y partículas suspendidas totales sean factores de preocupación.
5. La cantidad de extractores existentes (en caso de que estuvieran en funcionamiento) dentro del túnel no son los suficientes en caso de que haya una aglomeración total del mismo, sin embargo, para el paso normal de los vehículos, los extractores, el número y su capacidad corresponde con la demanda.
6. La ubicación de los extractores no son adecuados, ya que los mismo no contrarrestan el efecto remolino existente, debido al va y ven vehicular, resultado del trasiego motorizado en ambas vías de tránsito.
7. Los niveles de protección y prevención no son los adecuados, ya que los sistemas que existen no son suficientes en caso de algún evento. No posee, además, ningún plan de contingencia preestablecido.
8. El diseño del mismo – debido a las pendientes de las rampas de entrada y salida, más la ausencia del muro central o extractores centrales – no contempló la posibilidad de estancamiento de los gases, donde aparentemente se pensó que el solo hecho de existencias de extractores laterales y respiraderos, podrían contrarrestar las concentraciones de gases en el área de estudio.
9. La ubicación del túnel en combinación con la pendiente dada en ambas direcciones (que no coincide con el tiro de brisa), al igual que las existencias de grandes edificaciones en su entorno que no permiten la entrada del aire al túnel y reducen la velocidad de la misma, la existencia de pocos respiraderos naturales para la entrada de aire fresco, determinan, que no se previó el concepto ambiente y salud en la realización del túnel, sino que solo la problemática vial fue el centro de su ejecución.

10. Se entiende que la señalización es adecuada, al igual que la coordinación de los semáforos que llevan y sacan hacia y desde el túnel, poseen buena sincronización.

11. La problemática vial fue solucionada, como punto positivo.

12. La opacidad, aunque no se determinó cuantitativamente, ocasiona un grado mínimo de visibilidad el cual puede ser causa de accidentes.

13. Las temperaturas internas del túnel son altas en horas pico, lo cual contribuye a la gravedad contaminante dentro del túnel.

14. Los límites de velocidad dentro del túnel – aunque no se determinaron cuantitativamente – no son respetados, lo cual en combinación con la opacidad generada por la sinergia de los contaminantes (NO<sub>2</sub>, MP, etc.), puede ser causa de fatales accidentes, y por efecto entaponamiento total de túnel.

15. En caso de que por alguna razón hubiese personas dentro del túnel (a causa de accidente, vehículo dañado, etc.) y permanecieran allí por aproximadamente una hora, su estado de salud estaría en peligro (y mas aún si es una persona enferma).

16. Los niveles de carboxihemoglobina (sustitución de CO por el O de la sangre) por encima de un 10% pueden sobrepasarse (E-1, 110 ppm en 1 hora) y producir dolores de cabeza, mareo, debilidad, náusea, confusión, desorientación y trastornos visuales. El cuerpo humano responde normalmente solo bajo estos porcentajes de carboxihemoglobina en la sangre (2.4 - 4.3%), el cual se logra con las siguientes concentraciones:

- a. 100 mg/m<sup>3</sup> (87 ppm) 15 min.
- b. 60 mg/m<sup>3</sup> (52 ppm) 30 min.
- c. 30 mg/m<sup>3</sup> (26 ppm) 1 hora.
- d. 10 mg/m<sup>3</sup> (9 ppm) 8 hora.

## 7. 2 Recomendaciones

1. Construcción de un muro central, para dividir ambas direcciones y así evitar el efecto remolino dado dentro en el túnel.
2. Proveer al túnel de extractores centrales.
3. Programa de mantenimiento de extractores.
4. Los extractores existentes deben ser reparados y puestos en funcionamiento.
5. Diseñar planes y propuestas de contingencias diversificadas y dirigidas a los diferentes tipos de eventos que puedan ocurrir dentro del túnel. (incendios, accidentes de contaminación, motín, deficiencia de oxígeno por fuera de funcionamiento de extractores, etc.)
6. Colocación de detectores de humo, alarma contra incendio, y rociadores automáticos.
7. Sistemas de oxígeno portátiles en caso de ocurrencia en algún evento.
8. Dotar al túnel de un sistema de ventiladores mecánicos, para la entrada de aire fresco.
9. Crear un programa de limpieza, el cual contemple más a menudo el lavado de las calles y paredes para disminuir así la existencia de partículas suspendidas y materias particuladas totales.
10. Establecer programas de monitoreos periódicos de gases, para determinar las concentraciones de los mismos.
11. Hacer evaluación periódica del estado general del túnel.
12. Poner en marcha el sistema existente de detección de CO, o colocar un sistema automático para la detección de concentración de contaminantes en específicos, como por ejemplo, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.
13. Hacer conciencia a la ciudadanía del daño que puede ocasionar en caso de un accidente dentro del túnel, y las emisiones en conjunto de los vehículos.
14. Vigilar constantemente las entradas del túnel, y tener a disposición inmediata una ambulación y un camión de bomberos especializado para eventos de contaminación.
15. Realizar mediciones del material particulado, con el propósito de determinar la opacidad del túnel.

# CAPITULO 8

Anexos

## VIII. Factores de conversión

### 8.1 Conversión de gases

Únicamente para la conversión de unidades en gases.

La unidad ppm significa "partes por millón", y quiere decir que se describe la porción que representa una sustancia ("partes por...") como parte de una mezcla de sustancias (...millón") - siempre y cuando todas estas sustancias se encuentren en el mismo estado físico (que todas sean líquidas, o sólidos o gases). Es por eso que no se puede describir la concentración de partículas TSP o PM10 en el aire en la unidad "ppm".

Volumen de un mol de gas ( $V_m$ ) =  $62.36 (T[^\circ\text{C}] + 273.15) / P$  [mm Hg]

$V_m$  en función de temperatura T y presión P:

T [°C]	P [mm Hg]			
	640	680	720	760
30	29.54	27.80	26.26	24.87
25	29.05	27.34	25.82	24.47
20	28.56	26.88	25.39	24.05
10	27.59	25.97	24.52	23.23

En los países de Centro América como el nuestro, se definen como condiciones normales una temperatura de 25° C y una presión atmosférica de 1 atm (= 760 mm Hg), lo que da la siguiente fórmula para la conversión de ppm a microgramo / m<sup>3</sup> en gases:

$$\text{Microgramo} / \text{m}^3 = 1000 \times [\text{ppm} \times (\text{peso molecular del gas}) / 24.47]$$

Nota.- para fines de esta evaluación, se redondeo el 24.47 del denominador a 24.5

## 8.2 Otras conversiones utilizadas

miligramo, mg	1000 mg = 1 g
microgramo, µg	1 000 000 µg = 1 g

1 m<sup>3</sup> igual a mil litros.

Para llevar de miligramo a microgramo se debe multiplicar la cantidad en miligramo por mil únicamente.

1 ppm = 1 mg/lt. ó 0.001 mg/m<sup>3</sup>

FORMULA PARA LLEVAR DE µG /M3 A PPM			
PPM= 1 / [(PESO MOLECULAR * 1000) / 24.5 * µG /M3 ]			
CONTAMINANTE	CO	NO	SO2
µG /M3	40,000	400	200
PPM	35	0.32666667	0.0765625
PM CO	28		
PM NO	30		
PM SO2	64		

## 8.3 Riesgos del monóxido de carbono

El envenenamiento debido a este gas es producto exclusivo de su inhalación, pudiendo sobrevenir sin que medien síntomas previos. El hombre requiere fundamentalmente de oxígeno para vivir. El oxígeno llega a las células del cuerpo humano a través del aire que ingresa por el aparato respiratorio. Cualquier obstrucción en el camino del oxígeno a las células provoca trastornos al hombre, pudiendo llegar a la muerte.

Al respirar aire con monóxido de carbono, éste ocupa el lugar del oxígeno en las células, obstruyendo su camino normal. Esto se produce debido a que el monóxido de carbono ingresa en las células más fácilmente que el oxígeno, evitando que éste llegue al cuerpo humano y provocando la asfixia. La toxicidad del monóxido de carbono es elevada, causando importantes trastornos aún en pequeñas proporciones si es mucho el tiempo en que se lo respira. Es por ello que debe evitarse la generación y acumulación de monóxido de carbono en ambientes donde pueda haber personas.

### Primeros auxilios

La intoxicación con monóxido de carbono puede ser superada a través de una rápida acción que favorezca la respiración ante una persona que ha estado en un ambiente contaminado con monóxido de carbono recordemos estos pasos a seguir:

Retirar rápidamente a la persona del ambiente contaminado.

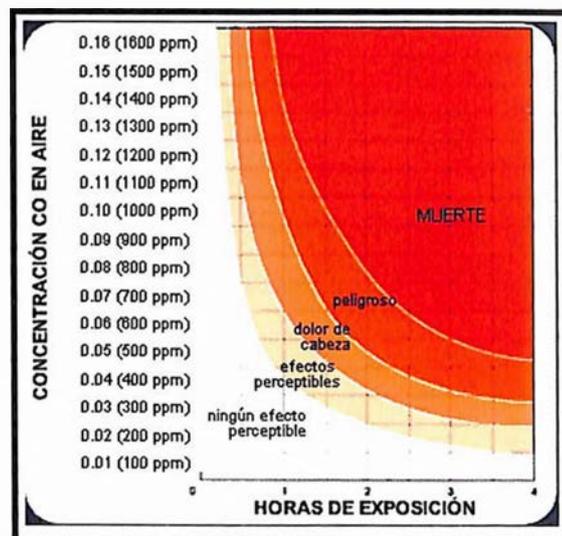
Llevarla al aire libre o a un sitio bien ventilado.

Recostarla cómodamente y mantenerla abrigada.

Aflojarle las partes de la ropa que presionan el cuerpo como corbata, camisa, cinturón.

Si no puede respirar por si solo, se le debe aplicar de inmediato respiración artificial hasta que se lo pueda trasladar a un centro asistencial, lo más rápido posible.

### 8.3.1 Relación PPM CO - tiempo de exposición - efectos en el hombre.



15.



# RESUMEN

## DE ESTACIONES

# ANEXOS

Posición	Estación																		
2da	10	41a	3era	41a	3	51a	9	7ma	13	10ma	5	12ava	8	14ava	2	16ava	11M	18ava	3M
1era	7	3era	3	51a	9	7ma	14	9na	13	10ma	1	11ava	6	13ava	11	15ava	14M	17ava	8M
Posición	Estación																		

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION

ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	6-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7:30-8:30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8:30-9:30 AM	1-2 PM	9-10 AM	12:30-1:30 PM	1:30-2:30 PM	4-4:30 AM	4:30-5 AM	5-5:30 AM	4:30-6 AM
FECHA	19/05/2003	19/05/2003	19/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	22/05/2003	22/05/2003	23/05/2003	30/05/2003	30/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003
VEHICULOS	4,498	4,409	3,900	4,336	4,014	3,681	6,426	4,455	4,048	3,702	4,075	3,922	4,400	4,241	63	64	103	197
CANT. VEHICULOS				77.05									56.14	64.00				
22				84									47	73				
21		50.9											52	85				
20		19		72			110.63						62	80				
19		45		45			86			85.72			62	80				
18		45		105			99	26.94		77			64	90				
17		45		65			111	66		17			79	82				
16		30		89			106	75		73			77	56				
15		25		105			119	55		102			74	82				
14		14		51			111	11		24			69	64				
13		13		53			138	8		99			51	57				
12		80		90			135	8		106			60	73				
11		30		96			125	8		100			41	46				14.80
10		71		59			134	14		63			50	63				14
9		9		86			116	17		102			23	67				16
8		8		32			35	16		88			18	66				15
7		7		82			114	18		98			73	52				11
6		6		31			87	19		113			50	74				21
5		5		98			55	18		115			57	47				9
4		4		96			107	8		78			29	54				18
3		3		59			139	42		82			28	62				18
2		2		102			145	58		81			26	75				13
1		1		118			140	17		102			25	104				13
MEIDAS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M

RESUMEN DEL MONOXIDO DE CARBONO (CO) EN PPM POR TOTAL DE ESTACIONES

Contaminación atmosférica en el Túnel Av. 27 de Febrero tramo Av. Churchill - Av. Lincoln

RESUMEN DEL OXIDO DE NITROGENO (NO) EN PPM POR TOTAL DE ESTACIONES

MEDIDAS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M
1	1	1	5	6	1	7	1	8	3	3	5	3	4	6	0	0	1	2
2	1	2	5	4	1	5	8	4	2	8	3	5	3	7	0	1	2	2
3	1	3	5	6	2	7	3	8	3	5	3	5	4	7	0	1	6	6
4	3	3	5	4	1	3	4	9	2	6	3	4	5	1	0	1	2	2
5	2	4	5	8	1	4	2	9	2	9	6	4	5	1	1	1	1	2
6	4	6	5	8	2	2	4	7	2	3	3	5	7	1	1	1	2	2
7	5	5	5	8	1	3	3	8	3	6	6	5	6	1	1	1	2	2
8	4	6	5	7	2	3	2	10	3	7	4	6	6	2	0.86	1.14	2	2
9	6	6	6	8	1	3	7	8	4	4	3	6	5	1	1	1	1	2
10	2	7	6	8	3	3	6	6	7	6	2	3	5	6	0		2	2
11	3	7	6	11	3	3	6	10	3	10	6	4	8	8	0.60		2.20	
12	4	4.55	6	6	3	3	6	2	6	6	2.73	4.09	6	7				
13	3	6	9	9	3	1	8	3	6	10	6	3	6	7				
14	2	5.23	9	9	3	5	7	2	6	5	6	7	6	7				
15	2		13	13	3	1	6	2	10	10	5	7	7	7				
16	2		2	13	2.00	2.33	5	5	6	6	6	6	6	6				
17	3		10	13			5	7	6	3	6	7	6	7				
18	3		3	9			5	10	10	5.11		7	5	7				
19	5		5	7			7	10	10			7	6	7				
20	4		12	12			5.53	8.63				7	6	7				
21	3		13									7	5.05	6.48				
22				9.19														
CAIT. VEHICULOS	4.498	4.409	3.900	4.336	4.014	3.681	5.426	4.455	4.048	3.702	4.075	3.922	4.400	4.241	63	64	103	197
FECHA	19/05/2003	19/05/2003	19/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	22/05/2003	22/05/2003	23/05/2003	30/05/2003	30/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003
HORA	8-9 AM	12-1PM	1-2PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7:30-8:30 AM	2-3 PM	1-2 PM	8:30-9:30 AM	1-2 PM	9-10 AM	12:30-1:30 PM	1:30-2:30 PM	4-4:30 AM	4:30-5 AM	5-5:30 AM	4:30-6 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION

Posición	Estación																
1era	4	3era	7	5ta	3	7ma	13	9na	12	11ava	11	13ava	5	15ava	11m	17ava	3m
2da	9	4ta	7	6ta	10	8ava	2	10ma	1,8	12ava	6	14ava	14m	16ava	8m	18ava	



## RESUMEN DEL DIOXIDO DE OXIGENO (SO2) EN PPM POR TOTAL DE ESTACIONES

MEDIDAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E3M	E8M	E11M	E14M
1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	0	0	2	1
2	1	2	1	1	2	3	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1
3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	1	1	1	1
4	1	2	2	2	2	2	1	1	3	3	1	1	1	2	0	1	2	1
5	1	2	2	2	1	1	1	2	3	4	1	1	2	2	0	1	1	2
6	1	4	3	2	2	2	9	2	2	2	1	2	1	2	0	0	1	1
7	2	2	2	2	2	2	9	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
8	1	2	2	2	2	2	10	2	4	2	1	1	1	2	4	0.57	1.14	1
9	1	2	4	2	2	2	10	2	4	3	1	2	2	2	1			1
10	1	2	1	2	2	2	8	1	4	2	1	1	2	2	2			1
11	1	3	1	5	2	2	8	1	3	3	1	1	2	2	1.20			1.10
12	1	2.18	1	1	1	2	8	1	4	2	1.09	1.18	2	2				
13	1	2	2	1	2	3	9	1	4	3			1	2				
14	2	1.77	1	4	2	3	9	1	4	2			3	2				
15	2	2	4	4	2	3	8	0	4	2			3	2				
16	2	2	4	4	2.07	9	9	1	4	2			2	2				
17	2	4	4	4		9	9	1	3	3			3	2				
18	2	4	4	4		11	11	1.29	7	3			1	2				
19	2	3	3	3		11	5		2.33				2	3				
20	1	3	3	3		7.16			3.42				2	3				
21	1.35	4											3	2.33				
22		2.67											3	1.62				
CAIIT. VEHICULOS	4,498	4,409	3,900	4,336	4,014	3,681	5,426	4,455	4,048	3,702	4,075	3,922	4,400	4,241	63	64	103	197
FECHA	19/05/2003	19/05/2003	19/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	22/05/2003	22/05/2003	23/05/2003	30/05/2003	30/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003
HORA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7:30-8:30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8:30-9:30 AM	1-2 PM	9-10 AM	12:30-1:30 PM	1:30-2:30 PM	4-4:30 AM	4:30-5 AM	5-5:30 AM	4:30-6 AM
ESTACIONES	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E3M	E8M	E11M	E14M

## ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION

Posición	Estación																		
1era	7	3era	4	5ta	2	7ma	3	10ma	9na	5	11ava	8	13ava	12	15ava	14M	17ava	8M	
2da	9	4ta	14,10	6ta	6	Bava	13	12ava	3M	14ava	11M	16ava	11	18ava					

**ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR TEMPERATURA**

2da	1era	Posición	Estación	2	4ta	3era	Estación	3	6	5ta	Estación	9	8	8ava	7ma	Estación	13	10ma	11	12ava	11	10	14ava	13ava	7	15ava	11M	17ava	14M	Estación	

**RESUMEN DE LA TEMPERATURA EN GRADOS CELSIUS (C) POR TOTAL DE ESTACIONES**

MEDIDAS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M
1	31.3	38.6	41.1	30.9	40.8	34.8	28.7	34	37.9	28.7	33.6	28.4	34	35.8	28.6	28.9	29.7	29
2	31.5	40.2	41	31.7	41.1	35.4	28.8	34.4	37.9	29.2	33.6	28.7	35.3	35.7	28.5	28.9	29.8	29
3	31.7	42.2	41	32.4	41.2	35.8	29.1	34.8	37.8	29.3	33.5	29	35.3	35.9	28.4	29.1	29.8	28.9
4	31.9	41.8	40.9	33.2	41.5	37	29.5	35.8	37.8	29.7	33.4	29.4	35.2	35.6	28.4	29.2	29.6	28.9
5	32.3	40.7	40.8	34.2	41.8	38.3	30.2	36	37.8	29.2	33.4	29.8	35.2	35.5	28.5	29.3	29.4	28.8
6	32.3	40	40.8	36.2	41.8	39.3	30.3	36.4	37.8	30.3	33.3	30.3	35.1	35.5	28.5	29.4	29.3	28.8
7	32.8	40.8	40.6	35.8	41.7	40.3	30.7	36.5	37.7	30.9	33.3	30.4	35.2	35.4	28.5	29.6	29.3	28.7
8	32.8	41.8	40.2	36.5	42.4	40.8	30.8	36.8	37.6	31.3	33.2	31.1	35.2	35.2	28.5	29.20	29.3	28.6
9	32.9	41.4	39.9	37.1	42.4	41.8	31	36.9	37.8	32	33.2	31.2	35.3	35.1	28.6		28.6	28.6
10	33	41.7	39.8	37.4	42.3	41.8	31.4	37.1	37.8	32.1	33.2	32	35.4	34.9	28.6		28.6	28.6
11	33	41.7	39.8	37.5	42.2	41.7	31.5	37.7	37.8	32.3	33.2	33.2	35.4	34.8	28.51		28.79	
12	33.2	40.99	39.8	37.7	42	41.5	31.6	37.9	37.8	32.4	33.35	30.32	35.4	34.8				
13	33.4	39.8	39.8	38	41.8	42.5	31.7	38.2	37.9	33.2			35.4	34.8				
14	33.4	40.42	38.2	38.2	41.3	43.6	32.1	38.1	38	33.3			35.4	34.8				
15	33.5	39.5	38.3	40.8	42	42	32.4	37.9	38	33.6			35.5	34.7				
16	33.7	39.7	38.5	41.67	39.77	32.6	32.6	37.8	37.9	33.7			35.6	34.6				
17	33.9	39	39	39	39	32.6	37.6	37.6	37.9	33.9			35.6	34.6				
18	34.2	39.1	39.1	39.1	39.1	32.6	36.70	37.9	37.9	34			35.7	34.6				
19	34.8	39.4	39.4	39.4	39.4	32.6	32.6	37.9	37.9	31.62			35.8	34.6				
20	35.8	39.5	39.5	39.5	39.5	31.06		37.84					35.8	34.5				
21	33.07												35.8	34.5				
22				36.62									35.36	35.04				
VEHICULOS	4.198	4.109	3.900	4.336	4.014	3.681	5.426	4.455	4.048	3.702	4.075	3.922	4.400	4.241	63	64	103	197
FECHA	19/05/2003	19/05/2003	19/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	20/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	21/05/2003	22/05/2003	22/05/2003	23/05/2003	30/05/2003	30/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003	27/05/2003
HORA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7.30-8.30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8.30-9.30 AM	1-2 PM	9-10 AM	12.30-1.30 PM	1.30-2.30 PM	4.30-5 AM	4.30-5 AM	5-5.30 AM	4.30-6 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 3M	E 8M	E 11M	E 14M

# SINEXOS

RESUMEN DEL MONOXIDO DE CARBONO (CO) POR TOTAL DE ESTACIONES												
PROMEDIOS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12
PPM	50.9	21.45	83.92	77.05	38.53	31.4	110.63	26.94	75.21	85.72	26.82	73.36
UG M3	24,514.29	95,908.57	88,057.14	11,034.29	35,885.71	126,131.29	30,788.57	85,951.29	97,965.71	30,651.43	83,840.00	64,166.00
NORMA	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
DIFERENCIA	18.171	-15.486	55.909	48.057	4.031	-4.114	66.431	9.211	45.954	57.966	9.349	43.840
PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)	45.43	-38.71	139.77	120.14	10.09	-10.29	216.09	23.03	114.89	144.91	23.37	109.60
CAIT.	4.498	4.409	3.900	4.336	4.014	3.681	4.455	4.455	4.048	3.702	4.075	3.922
VEHICULOS	1905/2003	1905/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2105/2003	2105/2003	2105/2003	2205/2003	2205/2003	2305/2003
FECHA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12

RESUMEN DE LOS OXIDO DE NITROGENO (NOx) POR TOTAL DE ESTACIONES												
PROMEDIOS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12
PPM	3	4.55	5.23	9.19	2	2.33	5.53	3	8.63	5.11	2.73	4.09
UG M3	3,673.47	5,571.43	6,404.08	11,253.06	2,418.98	2,853.06	6,771.43	3,673.47	10,567.35	6,257.14	3,347.35	5,008.16
NORMA	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
DIFERENCIA	3,273	5,171	6,004	10,853	2,019	2,453	6,371	3,273	10,167	5,857	2,943	4,608
PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)	810.37	1,292.86	1,501.02	2,713.27	512.24	613.27	1,592.86	818.37	2,541.84	1,464.29	735.71	1,152.04
CAIT.	4.498	4.409	3.900	4.336	4.014	3.681	4.455	4.455	4.048	3.702	4.075	3.922
VEHICULOS	1905/2003	1905/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2105/2003	2105/2003	2205/2003	2205/2003	2305/2003	2305/2003
FECHA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12

RESUMEN DEL DIOXIDO DE AZURE (SO2) POR TOTAL DE ESTACIONES												
PROMEDIOS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12
PPM	1.35	2.18	1.77	2.67	1.4	2.07	7.16	1.29	3.42	2.33	1.09	1.18
UG M3	3,526.53	5,694.69	4,623.67	6,974.69	3,657.14	5,407.35	18,703.67	3,369.80	8,933.88	6,086.53	2,847.35	3,082.45
NORMA	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
DIFERENCIA	3,327	5,495	4,424	6,775	3,457	5,207	18,504	3,170	8,734	5,887	2,647	2,882
PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)	1,663.27	2,747.35	2,211.84	3,387.35	1,728.57	2,603.67	9,251.84	1,584.90	4,366.94	2,943.27	1,323.67	1,441.22
CAIT.	4.498	4.409	3.900	4.336	4.014	3.681	4.455	4.455	4.048	3.702	4.075	3.922
VEHICULOS	1905/2003	1905/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2105/2003	2105/2003	2205/2003	2205/2003	2305/2003	2305/2003
FECHA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12

RESUMEN DE LA TEMPERATURA POR TOTAL DE ESTACIONES												
PROMEDIOS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12
°C	33.07	40.99	40.42	36.62	41.67	39.77	31.06	36.7	37.84	31.62	33.35	30.32
°C	33.07	40.99	40.42	36.62	41.67	39.77	31.06	36.7	37.84	31.62	33.35	30.32
VEHICULOS	1905/2003	1905/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2105/2003	2105/2003	2205/2003	2205/2003	2305/2003	2305/2003
FECHA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12

RESUMEN DE LA TEMPERATURA POR TOTAL DE ESTACIONES												
PROMEDIOS	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12
°C	33.07	40.99	40.42	36.62	41.67	39.77	31.06	36.7	37.84	31.62	33.35	30.32
°C	33.07	40.99	40.42	36.62	41.67	39.77	31.06	36.7	37.84	31.62	33.35	30.32
VEHICULOS	1905/2003	1905/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2005/2003	2105/2003	2105/2003	2205/2003	2205/2003	2305/2003	2305/2003
FECHA	8-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
HORA	6-9 AM	12-1PM	1-2 PM	8-9 AM	2-3 PM	1-2PM	7-30-8-30 AM	1-2 PM	2-3 PM	8-30-9-30 AM	1-2 PM	9-10 AM
ESTACIONES	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12

RESUMEN DE LAS ESTACIONES DE MAYOR CONCENTRACION POR CONTAMINANTE

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION (CO)													
Posición	Estación	7	3era	3	5ta	9	7ma	14	9na	1	11ava	6	13ava
1era	Estación	10	4ta	4	6ta	12	8ava	13	10ma	5	12ava	8	14ava
2da	Estación	11	5ta	11	13ava	11	15ava	11	13ava	11	13ava	11	13ava
3M	Estación	14M	17ava	11M	16ava	8M	18ava	11M	17ava	11M	16ava	8M	18ava

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION (NOx)													
Posición	Estación	4	3era	14	5ta	3	7ma	13	9na	12	11ava	11	13ava
1era	Estación	9	4ta	7	6ta	10	8ava	2	10ma	1,8	12ava	6	14ava
2da	Estación	11	5ta	11	13ava	11	15ava	11	13ava	11	13ava	11	13ava
3m	Estación	14M	17ava	11M	16ava	8M	18ava	11M	17ava	11M	16ava	8M	18ava

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR CONCENTRACION (SO2)													
Posición	Estación	7	3era	4	5ta	2	7ma	3	9na	5	11ava	8	13ava
1era	Estación	9	4ta	14,10	6ta	6	8ava	13	10ma	1	12ava	3M	14ava
2da	Estación	11	5ta	11	13ava	11	15ava	11	13ava	11	13ava	11	13ava
8M	Estación	14M	17ava	11M	16ava	8M	18ava	11M	17ava	11M	16ava	8M	18ava

ORDEN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR TEMPERATURA (TEMPERATURA)													
Posición	Estación	5	3era	3	5ta	9	7ma	4	9na	14	11ava	1	13ava
1era	Estación	2	4ta	6	8ava	8	10ma	13	11ava	11	12ava	10	14ava
2da	Estación	11	5ta	11	13ava	11	15ava	11	13ava	11	13ava	11	13ava
3M	Estación	14M	17ava	11M	16ava	8M	18ava	11M	17ava	11M	16ava	8M	18ava

# Muestreo Estación No. 1

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	1	
COORDENADAS	18°27'56" N 69°55'47" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	8.30 AM - 9.30 AM	
FECHA	19/05/2003 (LUNES)	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,200	2,798

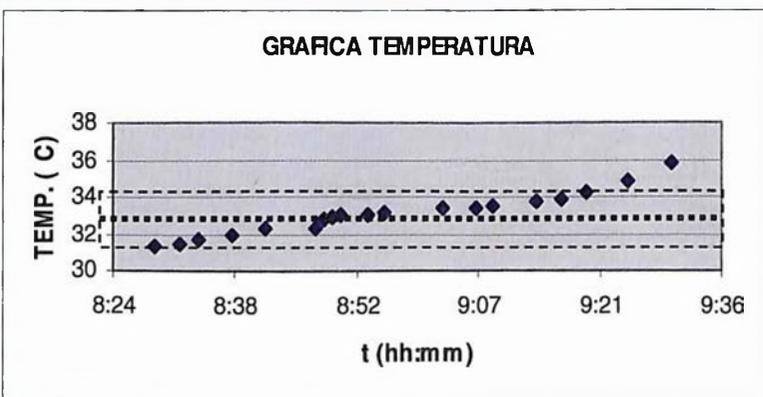
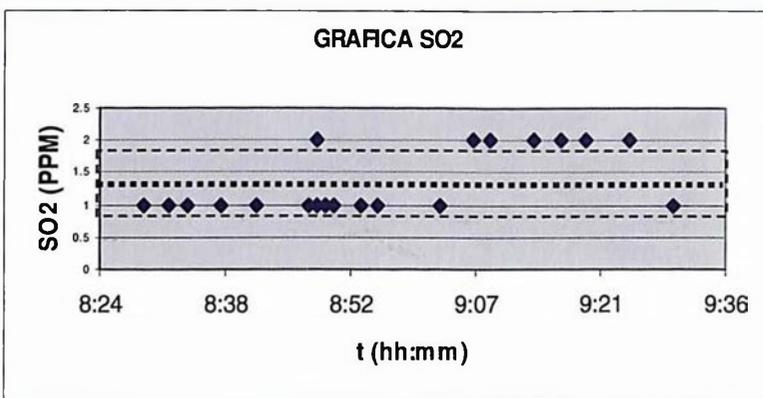
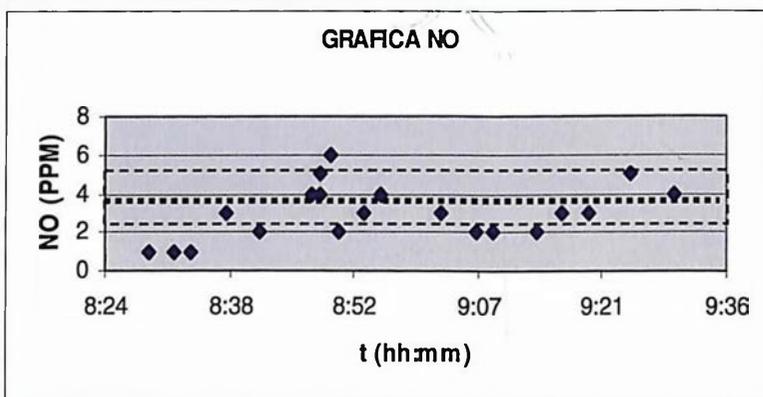
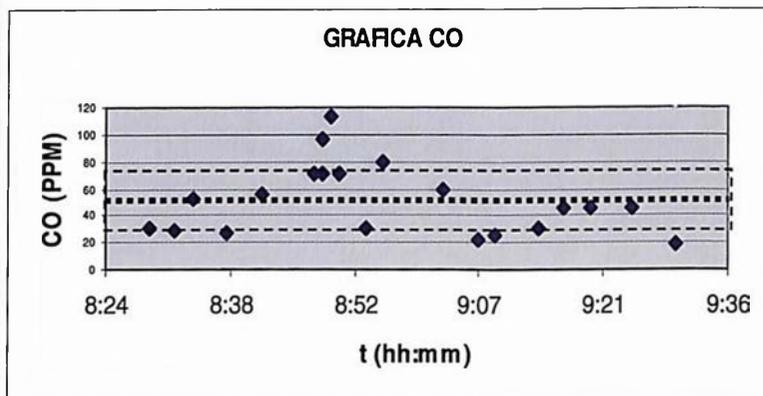
H= 64, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
8:29	31	1	1	31.3
8:32	29	1	1	31.5
8:34	53	1	1	31.7
8:38	27	3	1	31.9
8:42	56	2	1	32.3
8:48	71	4	1	32.3
8:49	96	5	2	32.8
8:49	71	4	1	32.8
8:50	113	6	1	32.9
8:51	71	2	1	33
8:54	30	3	1	33
8:56	80	4	1	33.2
9:03	59	3	1	33.4
9:07	22	2	2	33.4
9:09	25	2	2	33.5
9:14	30	2	2	33.7
9:17	45	3	2	33.9
9:20	45	3	2	34.2
9:25	45	5	2	34.8
9:30	19	4	1	35.8
<b>PROMEDIOS</b>	<b>50.9</b>	<b>3</b>	<b>1.35</b>	<b>33.07</b>

DESVIACIÓN ESTANDAR DE UNA MUESTRA

DESVIACIÓN ESTANDAR DE UNA MUESTRA	26.15	1.41	0.49	1.11
LIMITE SUPERIOR	77.05	4.41	1.84	34.18
LIMITE INFERIOR	24.75	1.59	0.86	31.96

# Graficas Estación No. 1



**Leyenda graficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

Estas graficas muestran el comportamiento de los contaminantes en horas de la mañana (8-9) bajo condiciones normales del paso vehicular y sin afectaciones ambientales externas.

# Muestreo Estación No. 2

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	2	
COORDENADAS	18°27'56" N 69°55'50" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	1.30 PM - 2.30 PM	
FECHA	19/05/2003 (LUNES)	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,702	1,707

H= 71, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
13:24	4	1	2	38.6
13:29	9	2	1	40.2
13:36	14	3	2	42.2
13:44	8	3	2	41.8
13:51	15	4	2	40.7
13:57	41	6	4	40
14:03	29	5	2	40.8
14:06	27	6	2	41.8
14:12	23	6	2	41.4
14:17	38	7	2	41.7
14:19	28	7	3	41.7
<b>PROMEDIOS</b>	<b>21.45</b>	<b>4.55</b>	<b>2.18</b>	<b>40.99</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA

12.36

2.07

0.75

1.07

LIMITE SUPERIOR

33.81

6.61

2.93

42.06

LIMITE INFERIOR

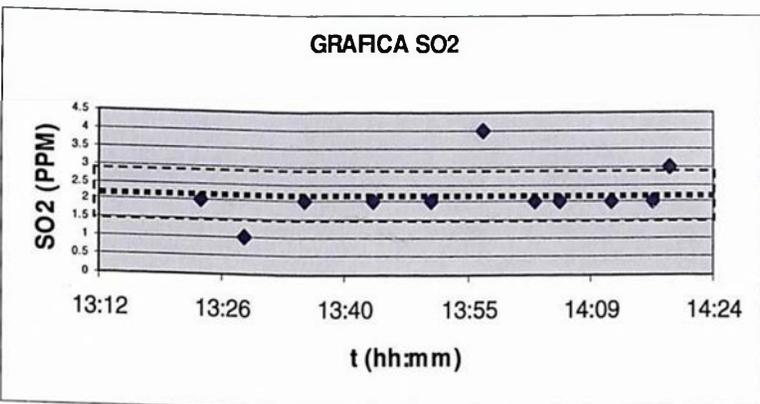
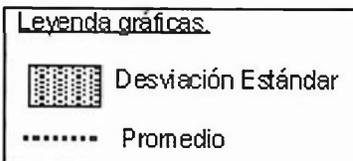
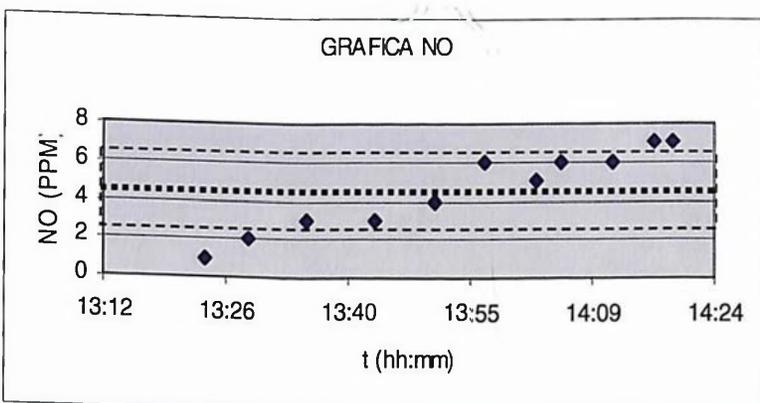
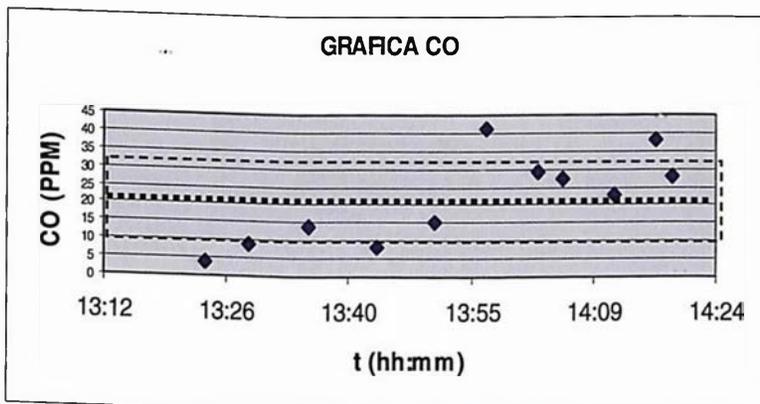
9.10

2.48

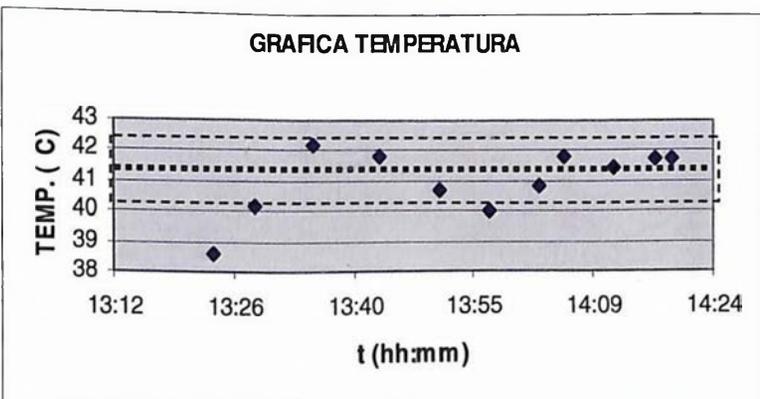
1.43

39.92

# Gráficas Estación No. 2



Estas gráficas muestran el comportamiento de los contaminantes en horas de la tarde (1-2) bajo condiciones normales del paso vehicular y sin afectaciones ambientales externas.



# Muestreo Estación No. 3

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	3	
COORDENADAS	18°27'54" N 69°55'53" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	2.30 PM - 3.30 PM	
FECHA	19/05/2003 (LUNES)	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,100	1,800

H= 79, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
14:38	58	5	1	41.1
14:40	83	5	2	41
14:45	85	5	1	41
14:48	43	4	1	40.9
14:51	50	4	2	40.8
14:53	88	5	3	40.8
14:55	91	5	2	40.6
14:57	97	5	2	40.2
15:00	99	6	4	39.9
15:02	108	6	1	39.8
15:05	110	6	1	39.8
15:06	100	6	1	39.8
15:08	79	6	2	39.8
<b>PROMEDIOS</b>	<b>83.92</b>	<b>5.23</b>	<b>1.77</b>	<b>40.42</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA

21.42

0.73

0.93

0.54

LIMITE SUPERIOR

105.35

5.96

2.70

40.97

LIMITE INFERIOR

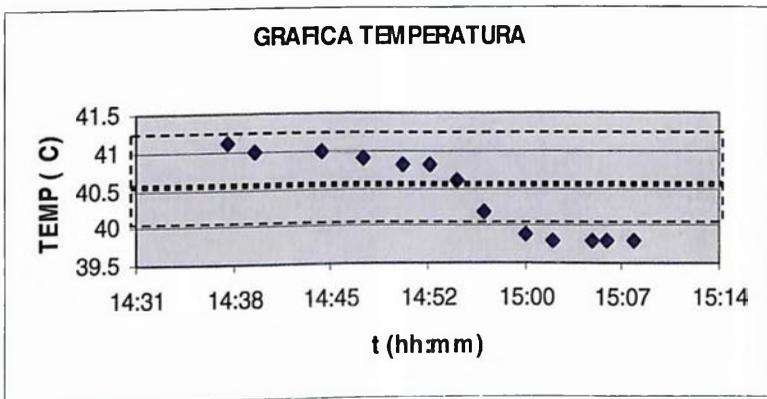
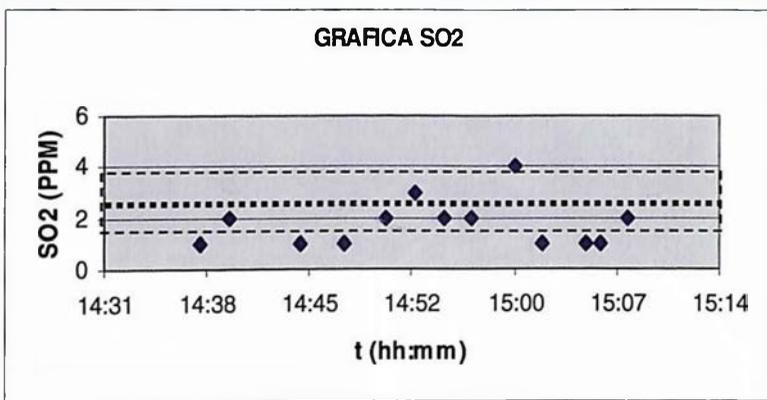
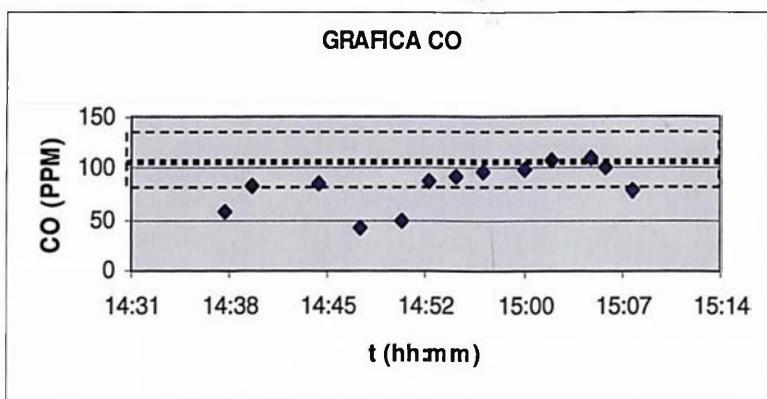
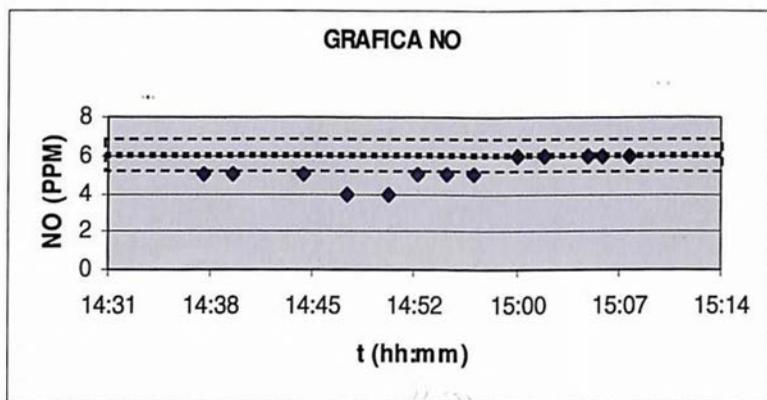
62.50

4.51

0.84

39.88

# Gráficas Estación No. 3



**Legenda gráficas.**

-  Desviación Estándar
-  Promedio

Estas gráficas muestran el comportamiento de los contaminantes en el túnel desde la estación no. 3 y en horas de la tarde.

# Muestreo Estación No. 4

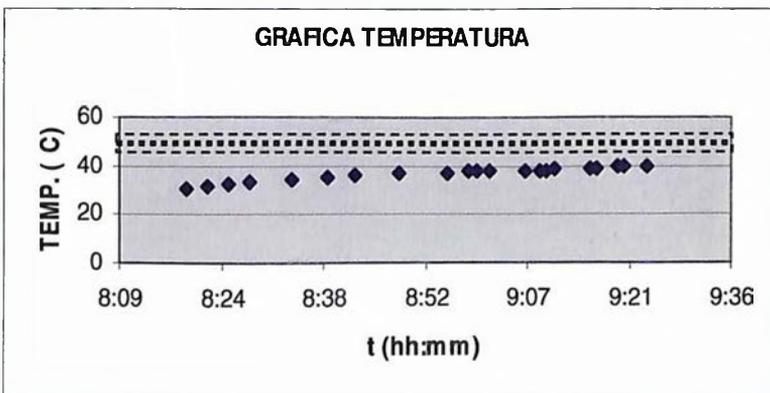
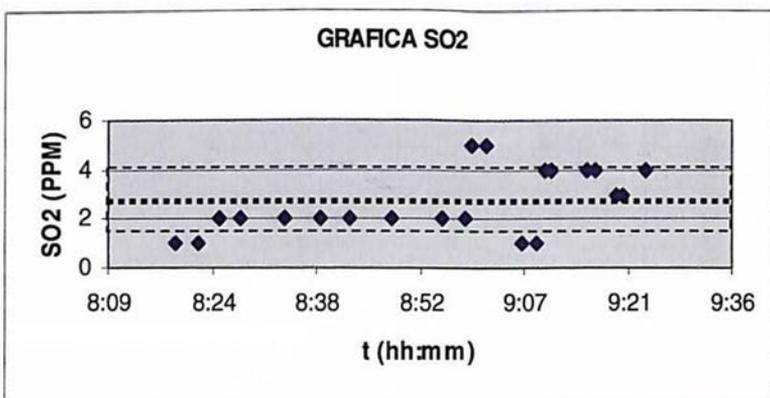
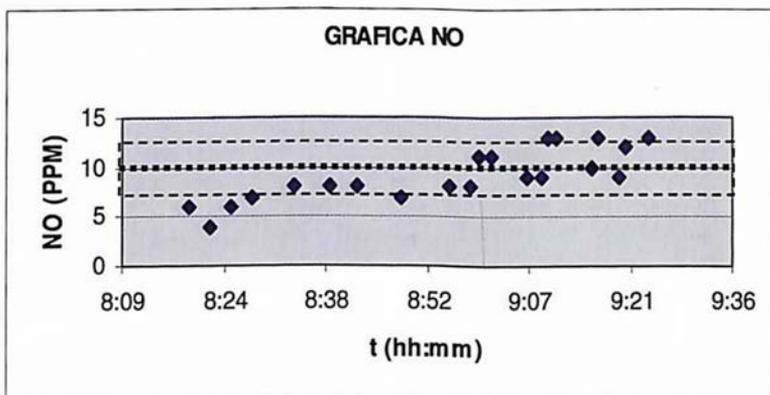
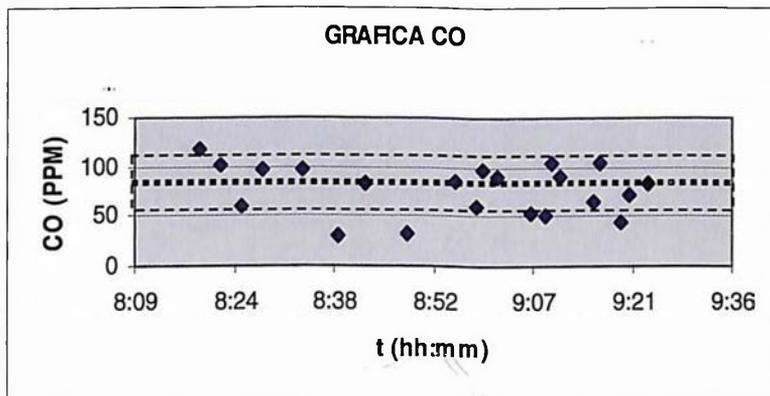
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	4	
COORDENADAS	18°27'54" N 69°55'53" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	8 AM - 9 AM	
FECHA	20/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	1,703	2,633

H= 79, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
8:19	118	6	1	30.9
8:22	102	4	1	31.7
8:25	59	6	2	32.4
8:28	96	7	2	33.2
8:34	98	8	2	34.2
8:39	31	8	2	35.2
8:43	82	8	2	35.8
8:49	32	7	2	36.5
8:56	86	8	2	37.1
8:59	59	8	2	37.4
9:00	96	11	5	37.5
9:02	90	11	5	37.7
9:07	53	9	1	38
9:09	51	9	1	38.2
9:10	105	13	4	38.3
9:11	89	13	4	38.5
9:16	65	10	4	39
9:17	105	13	4	39.1
9:20	45	9	3	39.4
9:21	72	12	3	39.5
9:24	84	13	4	39.5
<b>PROMEDIOS</b>	<b>77.05</b>	<b>9.19</b>	<b>2.67</b>	<b>36.62</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	25.24	2.62	1.32	2.69
LIMITE SUPERIOR	102.29	11.81	3.98	39.31
LIMITE INFERIOR	51.81	6.57	1.35	33.93

# Gráficas Estación No. 4



**Legenda gráficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

Estas gráficas muestran el comportamiento de los contaminantes en el túnel desde la estación no. 4 y en horas de la mañana.

# Muestreo Estación No. 5

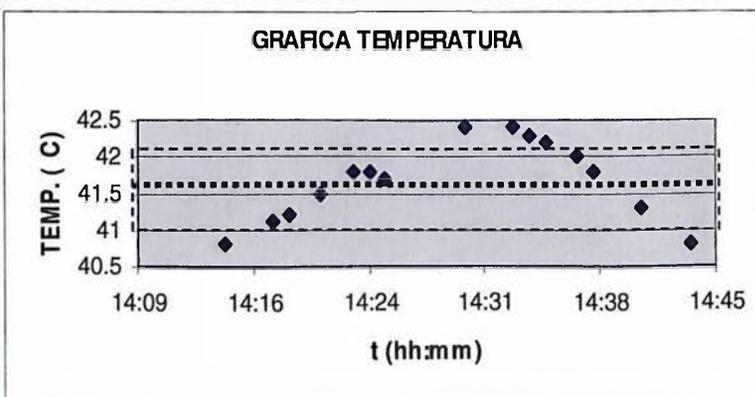
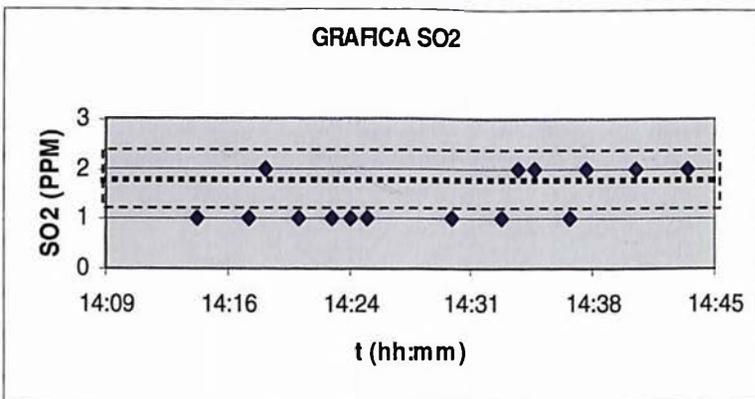
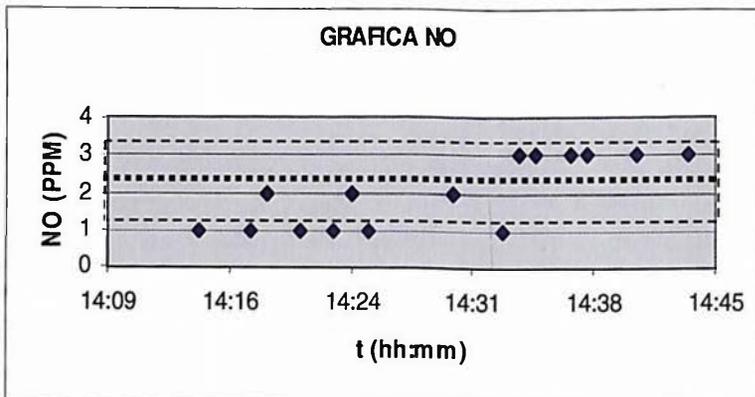
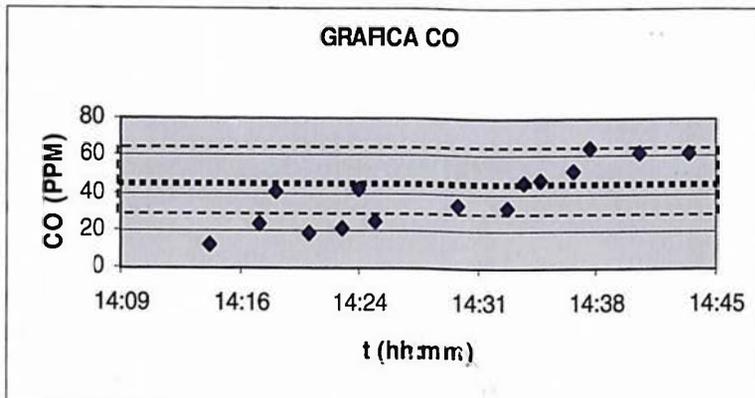
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	5	
COORDENADAS	18°27'52" N 69°55'56" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	2 PM - 3 PM	
FECHA	20/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,302	1,712

H= 68, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
14:15	12	1	1	40.8
14:18	23	1	1	41.1
14:19	41	2	2	41.2
14:21	18	1	1	41.5
14:23	21	1	1	41.8
14:24	42	2	1	41.8
14:25	25	1	1	41.7
14:30	33	2	1	42.4
14:33	32	1	1	42.4
14:34	45	3	2	42.3
14:35	47	3	2	42.2
14:37	52	3	1	42
14:38	64	3	2	41.8
14:41	61	3	2	41.3
14:44	62	3	2	40.8
<b>PROMEDIOS</b>	<b>38.53</b>	<b>2.00</b>	<b>1.40</b>	<b>41.67</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	16.79	0.93	0.51	0.54
LIMITE SUPERIOR	55.33	2.93	1.91	42.22
LIMITE INFERIOR	21.74	1.07	0.89	41.13

# Gráficas Estación No. 5



Legenda gráficas.

- Desviación Estándar
- Promedio

Notamos en estas gráficas como las concentraciones de los contaminantes (excluyendo la temp.) aumentan a medida que transcurre el tiempo.

# Muestreo Estación No. 6

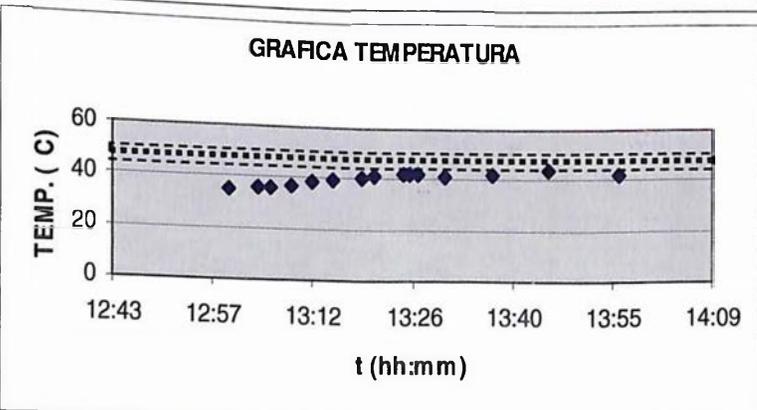
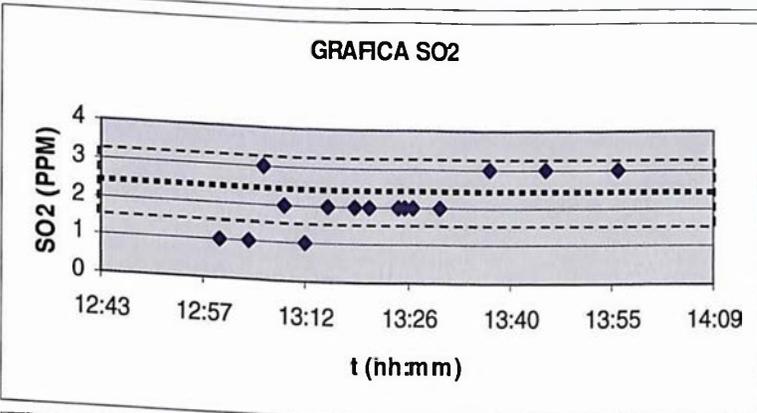
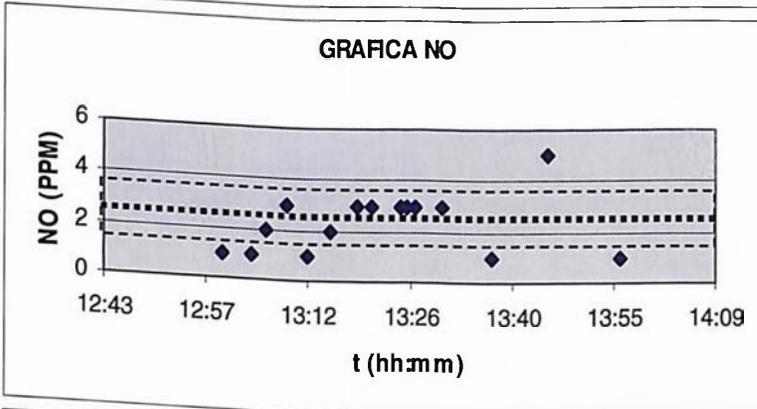
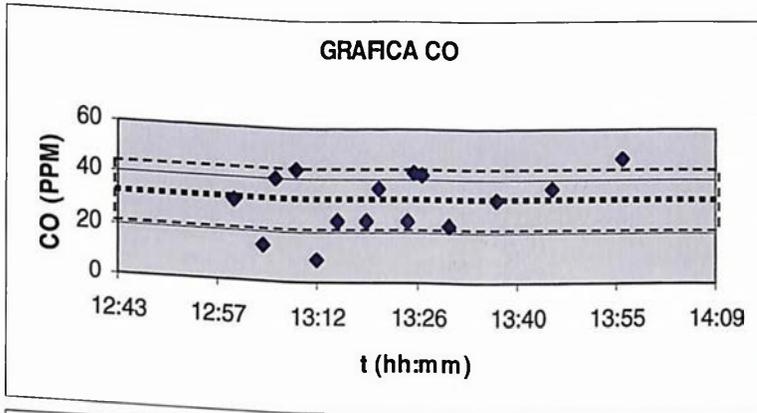
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	6	
COORDENADAS	18°27'53" N 69°55'56" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	1 PM - 2 PM	
FECHA	20/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,002	1,679

H= 72, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
13:00	31	1	1	34.8
13:04	14	1	1	35.4
13:06	40	2	3	35.8
13:09	44	3	2	37
13:12	9	1	1	38.3
13:15	24	2	2	39.3
13:19	24	3	2	40.3
13:21	37	3	2	40.8
13:25	24	3	2	41.8
13:26	43	3	2	41.8
13:27	42	3	2	41.7
13:31	22	3	2	41.5
13:38	32	1	3	42.5
13:46	37	5	3	43.6
13:56	48	1	3	42
<b>PROMEDIOS</b>	<b>31.40</b>	<b>2.33</b>	<b>2.07</b>	<b>39.77</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	11.57	1.18	0.70	2.84
LIMITE SUPERIOR	42.97	3.51	2.77	42.61
LIMITE INFERIOR	19.83	1.16	1.36	36.93

# Gráficas Estación No. 6



**Legenda gráficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

Notamos como las gráficas representativas de la estación muestreada, nos indican variación de las concentraciones de los contaminantes.

# Muestreo Estación No. 7

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	7	
COORDENADAS	18°27'51" N 69°55'58" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	7: 30 AM - 8:30 AM	
FECHA	21/05/03 MIERCOLES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,300	3,126

H= 65, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
8:18	140	7	2	28.7
8:20	145	5	1	28.8
8:23	139	7	1	29.1
8:28	107	5	1	29.5
8:35	55	4	1	30.2
8:36	87	4	9	30.3
8:40	114	3	9	30.7
8:41	35	2	10	30.8
8:45	116	7	10	31
8:48	134	6	8	31.4
8:53	125	6	8	31.5
8:56	135	6	8	31.6
8:58	138	8	11	31.7
9:05	111	7	9	32.1
9:11	119	6	8	32.4
9:14	106	5	9	32.6
9:16	111	5	9	32.6
9:18	99	5	11	32.6
9:20	86	7	11	32.6
<b>PROMEDIOS</b>	<b>110.63</b>	<b>5.53</b>	<b>7.16</b>	<b>31.06</b>

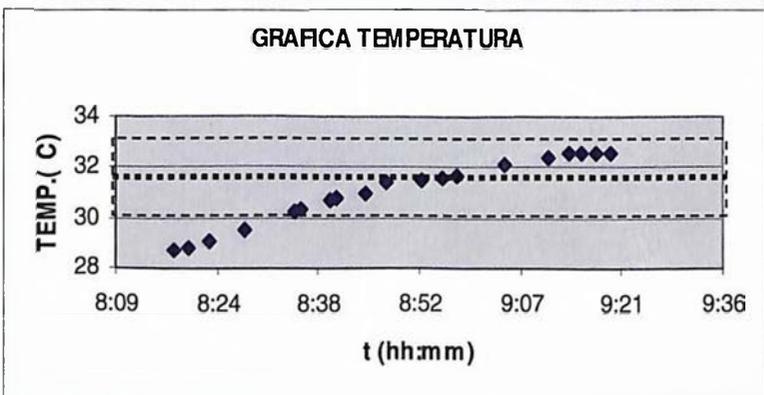
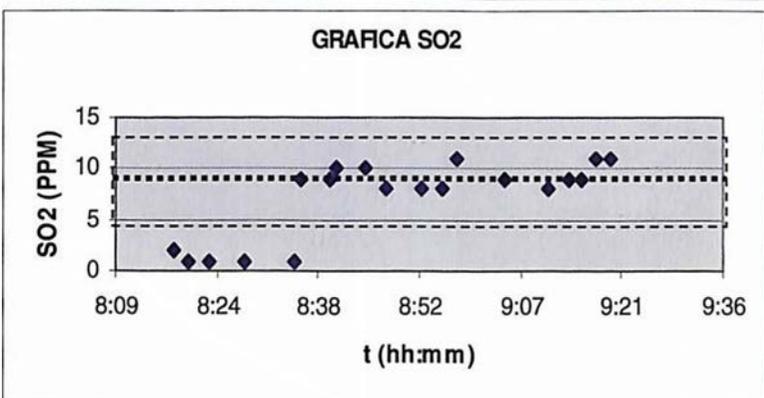
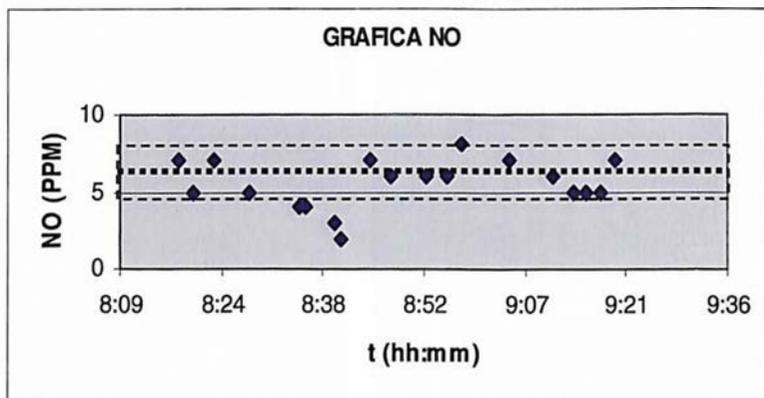
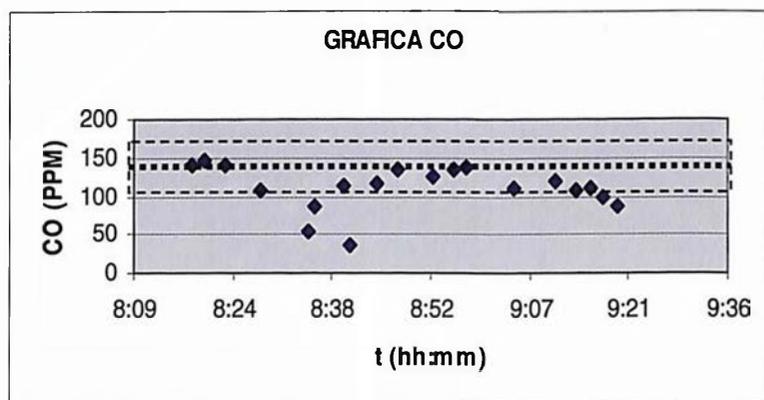
DESVIACIÓN  
ESTÁNDAR DE UNA  
MUESTRA

29.06                      1.54                      3.79                      1.33

LIMITE SUPERIOR                      139.70                      7.07                      10.95                      32.39

LIMITE INFERIOR                      81.57                      3.99                      3.37                      29.73

# Gráficas Estación No. 7



**Legenda gráficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

Observamos particularmente como el  $SO_2$  aumenta desde esta estación al momento que transcurren la horas en la mañana.

# Muestreo Estación No. 8

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	8	
COORDENADAS	18°27'52" N 69°55'58" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	1 PM - 2 PM	
FECHA	21/05/03 MIERCOLES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,900	1,555

H=60, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
13:00	17	1	1	34
13:01	58	4	1	34.4
13:05	42	3	2	34.8
13:10	8	2	1	35.8
13:13	18	2	2	36
13:20	19	2	2	36.4
13:24	18	3	2	36.5
13:27	16	3	2	36.8
13:30	17	4	2	36.9
13:38	14	3	1	37.1
13:41	8	3	1	37.7
13:43	8	2	1	37.9
13:47	8	3	1	38.2
13:50	11	2	1	38.1
13:55	55	2	0	37.9
13:58	75	5	1	37.8
14:01	66	7	1	37.6
<b>PROMEDIOS</b>	<b>26.94</b>	<b>3.00</b>	<b>1.29</b>	<b>36.70</b>

DESVIACIÓN  
ESTÁNDAR DE UNA  
MUESTRA

22.65

1.41

0.59

1.32

LIMITE SUPERIOR

49.59

4.41

1.88

38.02

LIMITE INFERIOR

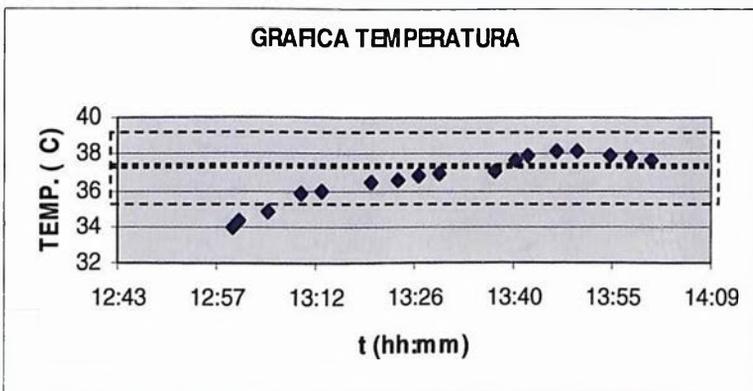
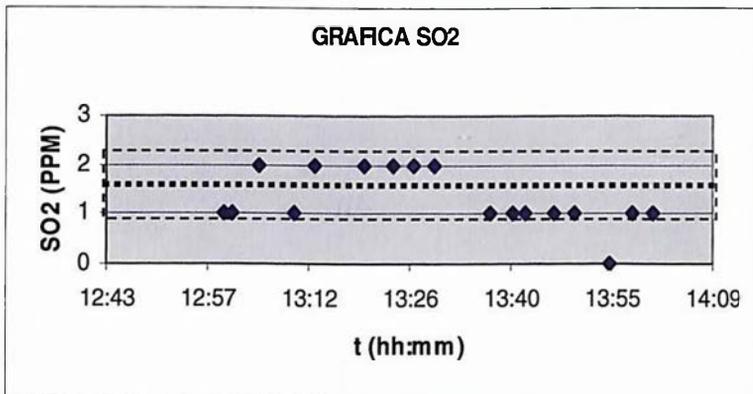
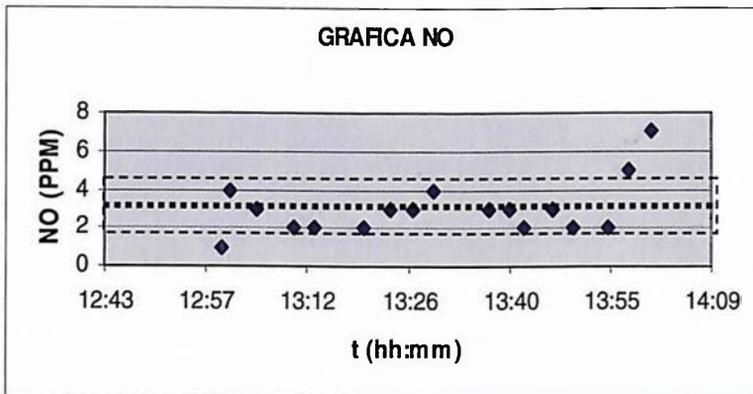
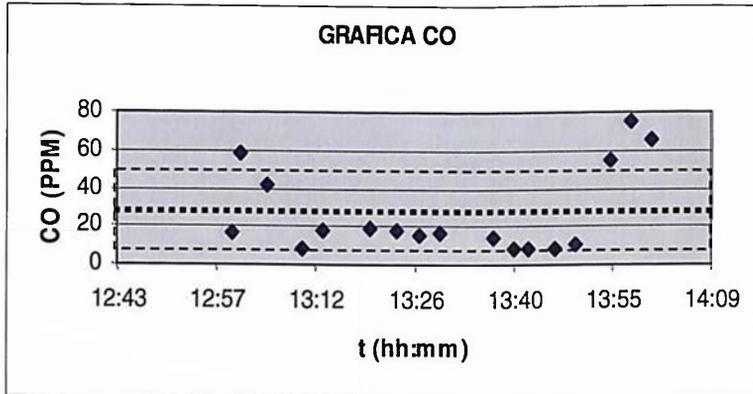
4.29

1.59

0.71

35.38

# Gráficas Estación No. 8



**Legenda gráficas.**

-  Desviación Estándar
-  Promedio

Observamos desde esta estación y mediante su comportamiento en la representación grafica, irregularidad en el muestreo de los contaminantes.

# Muestreo Estación No. 9

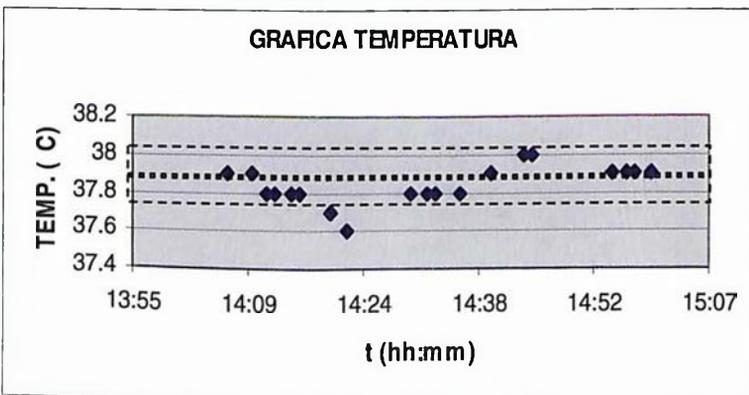
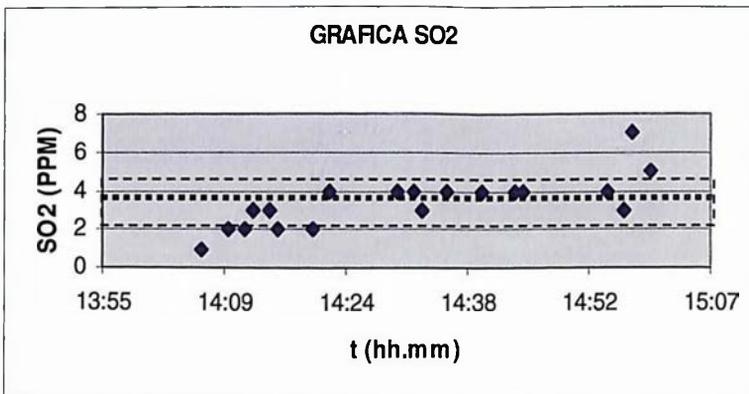
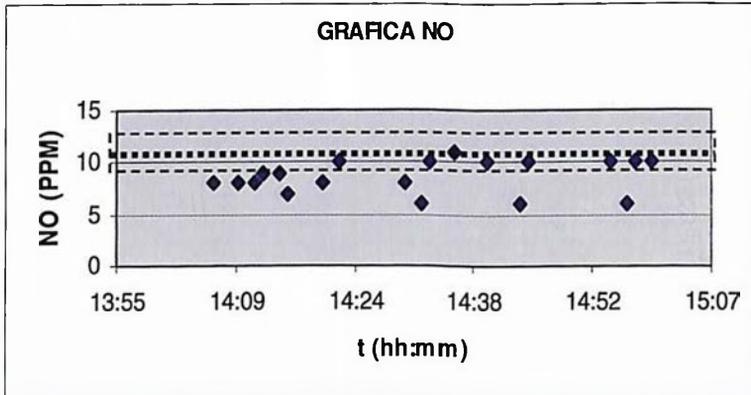
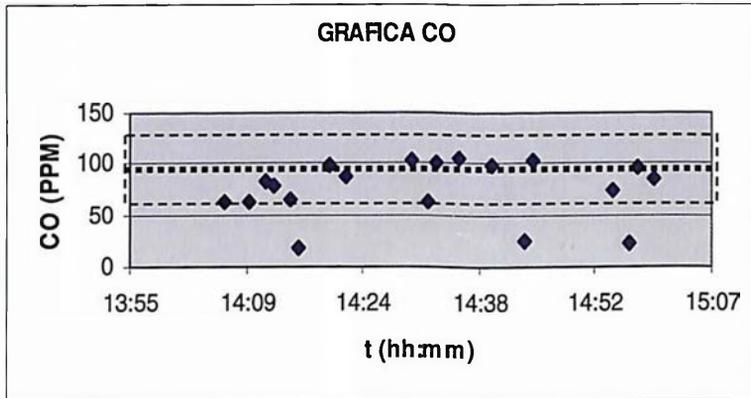
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	9	
COORDENADAS	18°27'51" N 69°55'59" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	2 PM - 3 PM	
FECHA	21/05/2003 MIERCOLES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,000	2,048

H=65, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
14:07	62	8	1	37.9
14:10	63	8	2	37.9
14:12	82	8	2	37.8
14:13	78	9	3	37.8
14:15	65	9	3	37.8
14:16	19	7	2	37.8
14:20	98	8	2	37.7
14:22	88	10	4	37.6
14:30	102	8	4	37.8
14:32	63	6	4	37.8
14:33	100	10	3	37.8
14:36	106	11	4	37.8
14:40	99	10	4	37.9
14:44	24	6	4	38
14:45	102	10	4	38
14:55	73	10	4	37.9
14:57	22	6	3	37.9
14:58	97	10	7	37.9
15:00	86	10	5	37.9
<b>PROMEDIOS</b>	<b>75.21</b>	<b>8.63</b>	<b>3.42</b>	<b>37.84</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	27.98	1.57	1.35	0.10
LIMITE SUPERIOR	103.19	10.20	4.77	37.94
LIMITE INFERIOR	47.24	7.06	2.07	37.75

# Gráficas Estación No. 9



**Legenda gráficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

Estas gráficas muestran el comportamiento de los contaminantes en horas de la tarde (2-3) bajo condiciones normales del paso vehicular y sin afectaciones ambientales externas.

# Muestreo Estación No. 10

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	10	
COORDENADAS	18°27'51" N 69°55'59" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	8:30 AM - 9:30 AM	
FECHA	22/05/2003 JUEVES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	1,700	2,002

H=67, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
8:37	102	3	1	28.7
8:42	81	2	2	29.2
8:43	112	5	2	29.3
8:46	128	6	3	29.7
8:48	115	6	4	29.2
8:51	113	3	2	30.3
8:55	112	6	1	30.9
8:59	124	7	2	31.3
9:04	49	4	3	32
9:06	89	7	2	32.1
9:09	78	6	3	32.3
9:11	93	6	2	32.4
9:20	92	6	3	33.2
9:22	54	5	2	33.3
9:25	53	5	2	33.6
9:27	54	6	2	33.7
9:29	17	3	3	33.9
9:30	77	6	3	34
<b>PROMEDIOS</b>	<b>85.72</b>	<b>5.11</b>	<b>2.33</b>	<b>31.62</b>

DESVIACIÓN  
ESTÁNDAR DE UNA  
MUESTRA

30.60

1.49

0.77

1.84

LIMITE SUPERIOR

116.32

6.60

3.10

33.46

LIMITE INFERIOR

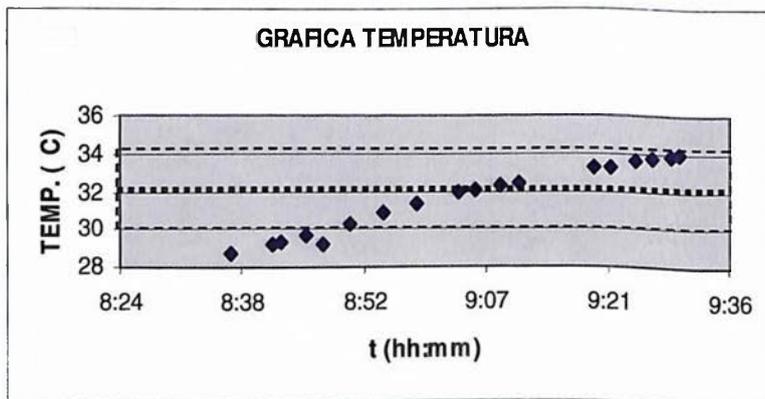
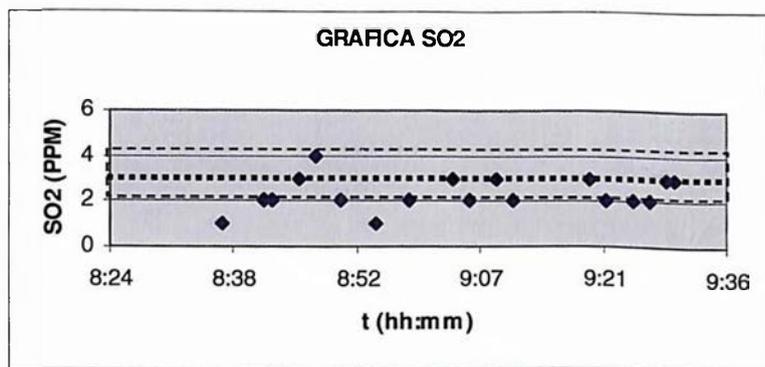
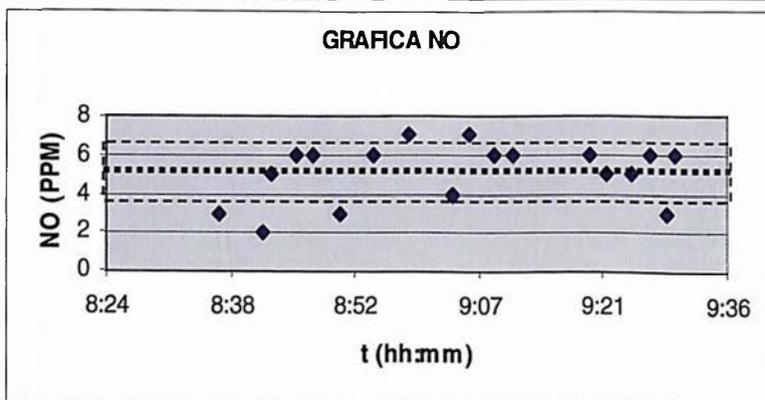
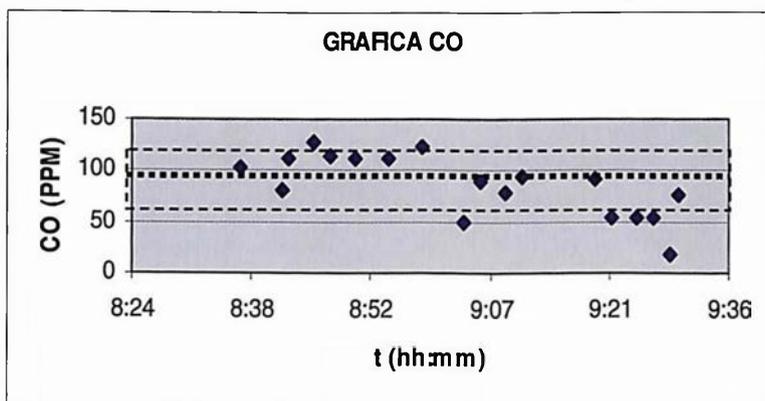
55.12

3.62

1.57

29.78

# Gráficas Estación No. 10



**Legenda gráficas.**

- Desviación Estándar
- Promedio

La temperatura en esta hora de muestreo y desde la ubicación de la estación no. 10, se nota de manera ascendente a medida que transcurre el tiempo.

# Muestreo Estación No. 11

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	11	
COORDENADAS	18°27'49" N 69°56'02" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	1 PM - 2 PM	
FECHA	22/05/03 JUEVES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,300	1,775

H=69, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
13:20	25	2	1	33.6
13:23	26	3	2	33.6
13:24	28	3	1	33.5
13:25	23	3	1	33.4
13:26	30	3	1	33.4
13:28	22	2	1	33.3
13:29	36	3	1	33.3
13:30	18	3	1	33.2
13:31	29	3	1	33.2
13:32	23	2	1	33.2
13:33	35	3	1	33.2
<b>PROMEDIOS</b>	<b>26.82</b>	<b>2.73</b>	<b>1.09</b>	<b>33.35</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA

5.49

0.47

0.30

0.16

LIMITE SUPERIOR

32.31

3.19

1.39

33.51

LIMITE INFERIOR

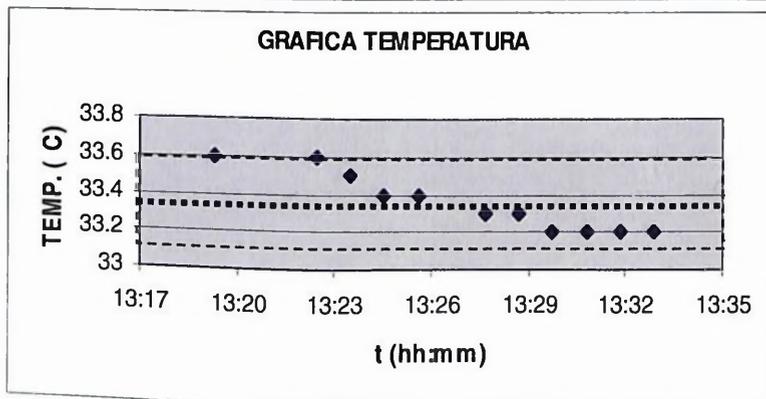
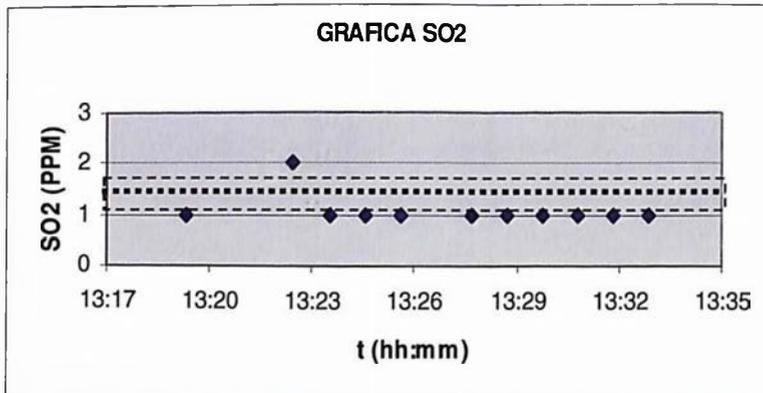
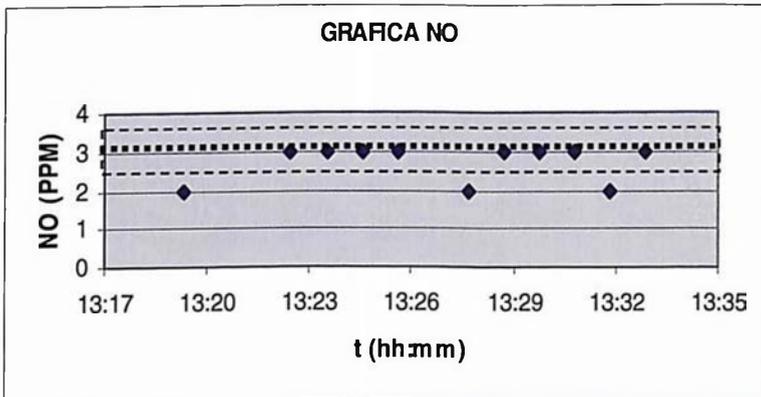
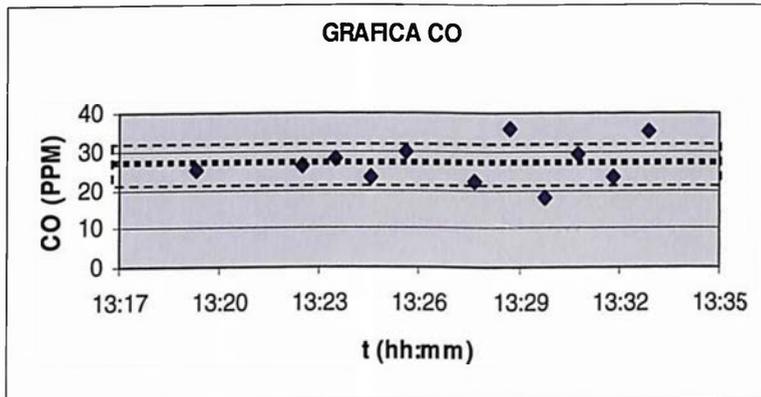
21.33

2.26

0.79

33.20

# Gráficas Estación No. 11



Legenda gráficas.



Desviación Estándar



Promedio

Observamos un comportamiento estable de los contaminantes (exceptuando la temp.) desde la perspectiva de la ubicación en la estación no. 11.

# Muestreo Estación No. 12

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	12	
COORDENADAS	18°27'50" N 69°56'02" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	9 AM - 10 AM	
FECHA	23/05/03 VIERNES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	1,800	2,122

H=70, Con relación a la cota 0

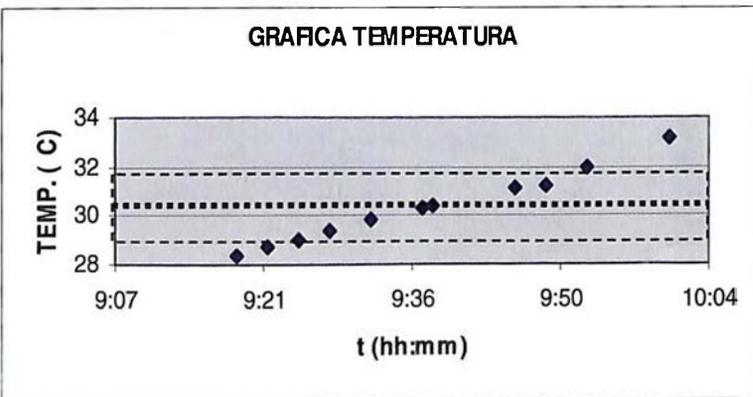
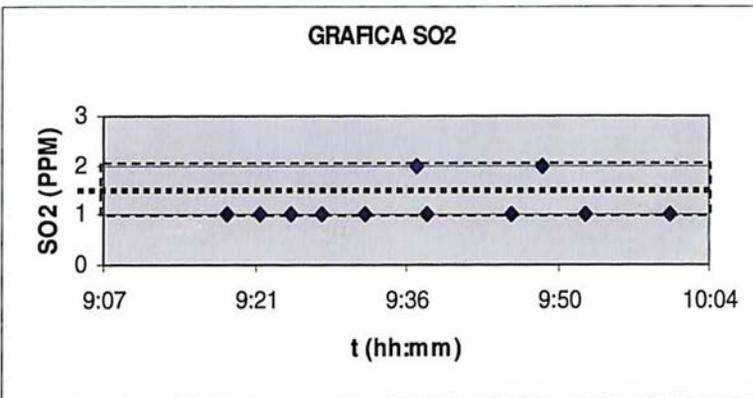
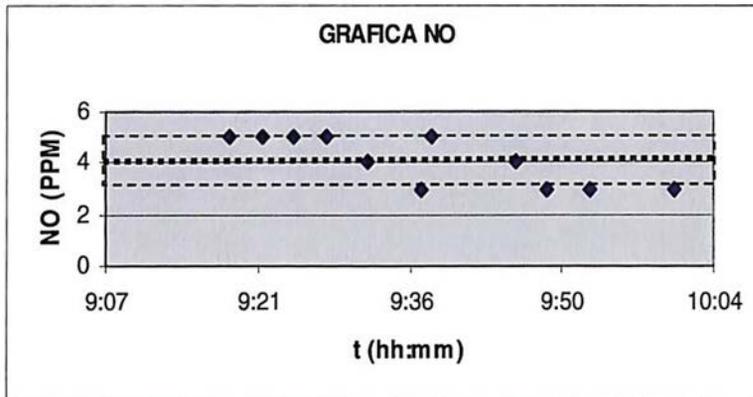
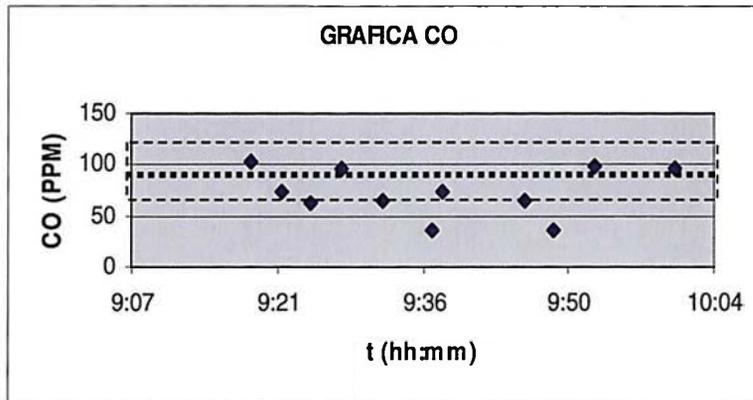
MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
9:19	104	5	1	28.4
9:22	75	5	1	28.7
9:25	62	5	1	29
9:28	96	5	1	29.4
9:32	65	4	1	29.8
9:37	35	3	2	30.3
9:38	73	5	1	30.4
9:46	66	4	1	31.1
9:49	36	3	2	31.2
9:53	98	3	1	32
10:01	97	3	1	33.2
PROMEDIOS	73.36	4.09	1.18	30.32

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	23.96	0.94	0.40	1.47
------------------------------------	-------	------	------	------

LIMITE SUPERIOR	97.32	5.03	1.59	31.79
-----------------	-------	------	------	-------

LIMITE INFERIOR	49.40	3.15	0.78	28.85
-----------------	-------	------	------	-------

# Gráficas Estación No. 12



**Legenda gráficas.**



Desviación Estándar



Promedio

Estas gráficas muestran el comportamiento de los contaminantes desde el muestreo en la estación no.12 en horas de la mañana (9-10).

# Muestreo Estación No. 13

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	13	
COORDENADAS	18°27'48" N 69°56'05" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	12:30 M - 1:30 PM	
FECHA	30/05/03 VIERNES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,350	2,050

H=62, Con relación a la cota 0

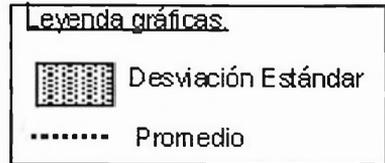
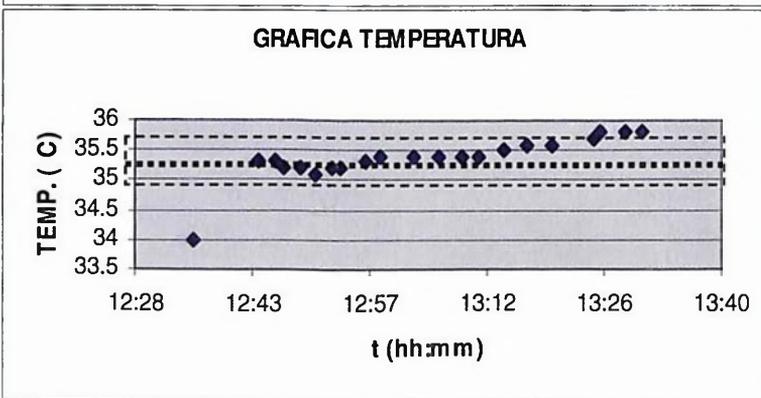
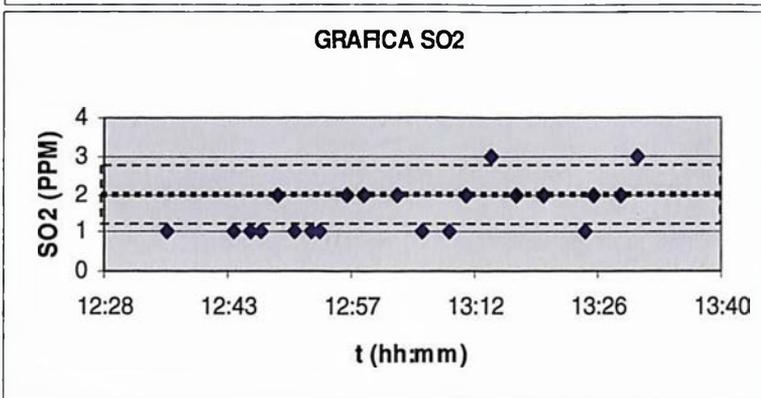
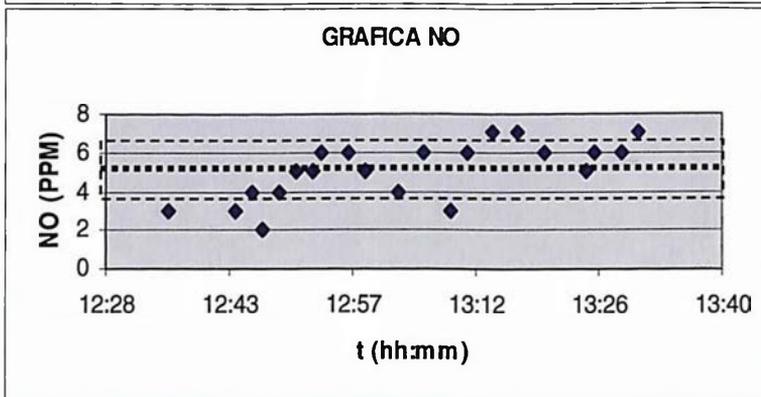
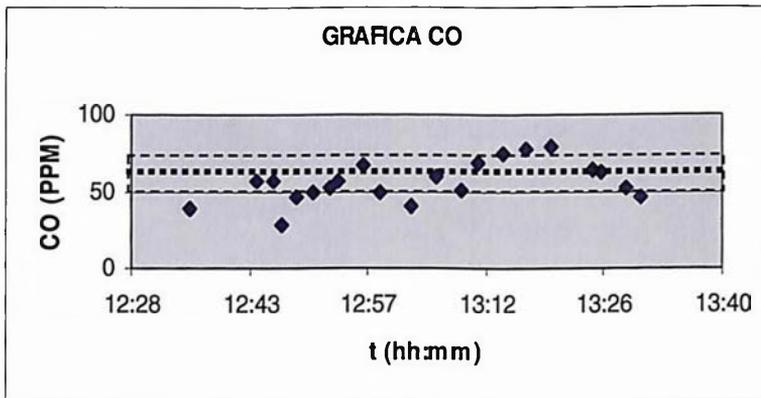
MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
12:36	39	3	1	34
12:44	56	3	1	35.3
12:46	57	4	1	35.3
12:47	29	2	1	35.2
12:49	47	4	2	35.2
12:51	50	5	1	35.1
12:53	52	5	1	35.2
12:54	56	6	1	35.2
12:57	67	6	2	35.3
12:59	50	5	2	35.4
13:03	41	4	2	35.4
13:06	60	6	1	35.4
13:09	51	3	1	35.4
13:11	69	6	2	35.4
13:14	74	7	3	35.5
13:17	77	7	2	35.6
13:20	79	6	2	35.6
13:25	64	5	1	35.7
13:26	62	6	2	35.8
13:29	52	6	2	35.8
13:31	47	7	3	35.8
<b>PROMEDIOS</b>	<b>56.14</b>	<b>5.05</b>	<b>1.62</b>	<b>35.36</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA      12.72      1.47      0.67      0.38

LIMITE SUPERIOR      68.86      6.51      2.29      35.74

LIMITE INFERIOR      43.43      3.58      0.95      34.98

# Gráficas Estación No. 13



Estas ..... graficas muestran ..... el comportamiento de los ..... contaminantes desde el muestreo en la estación no.13 en horas de la tarde (12-1).

# Muestreo Estación No. 14

## CONTEO VEHICULAR

ESTACIÓN NO.	14	
COORDENADAS	18°27'48" N 69°56'05" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	1:30 PM - 2:30 PM	
FECHA	30/05/03 VIERNES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	2,225	2,016

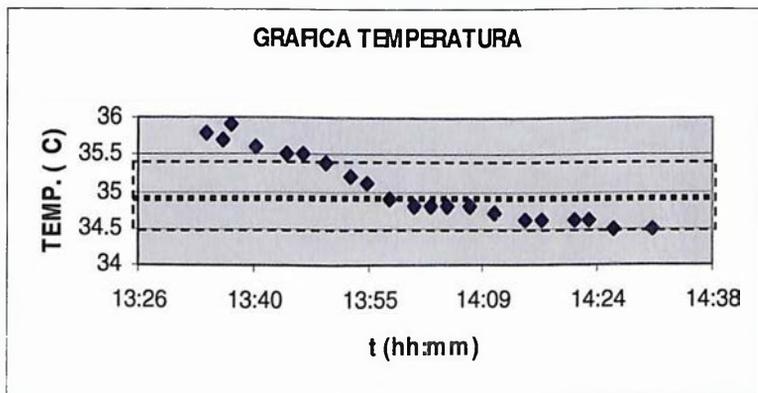
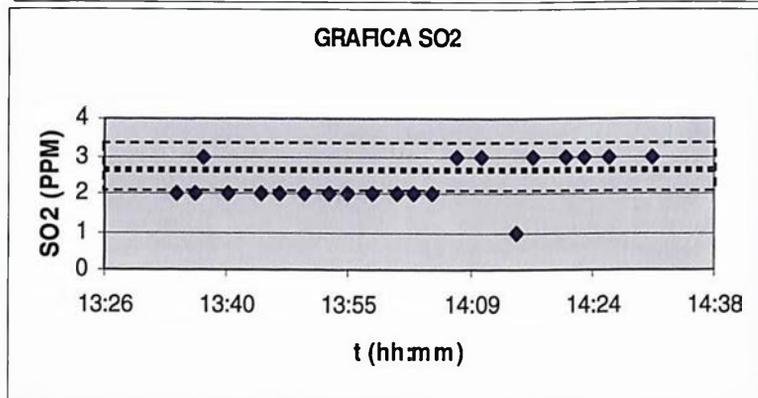
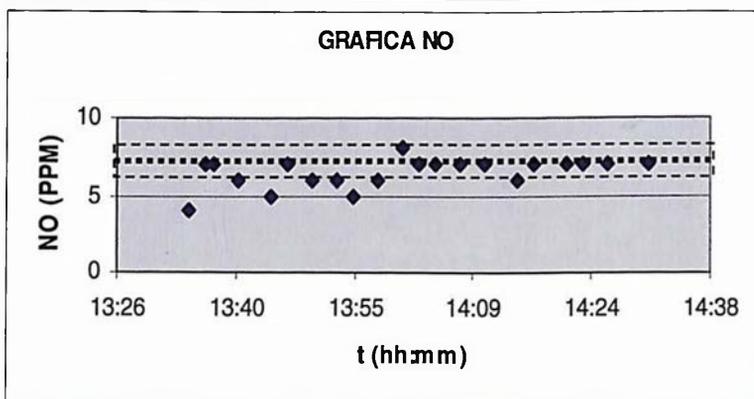
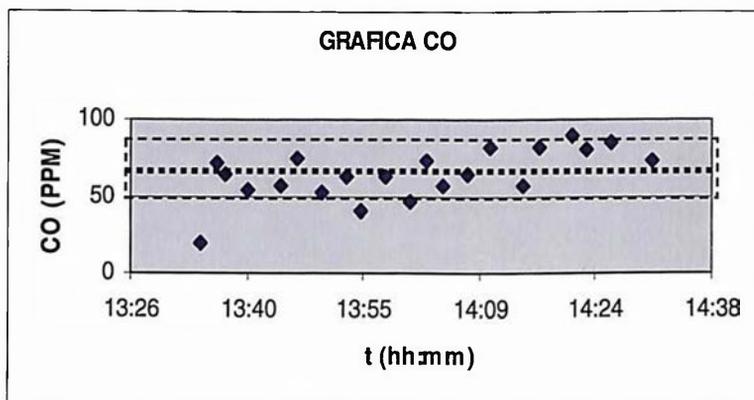
H=60, Con relación a la cota 0

## MUESTREO

HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
13:35	19	4	2	35.8
13:37	71	7	2	35.7
13:38	64	7	3	35.9
13:41	54	6	2	35.6
13:45	57	5	2	35.5
13:47	74	7	2	35.5
13:50	52	6	2	35.4
13:53	62	6	2	35.2
13:55	40	5	2	35.1
13:58	63	6	2	34.9
14:01	46	8	2	34.8
14:03	73	7	2	34.8
14:05	57	7	2	34.8
14:08	64	7	3	34.8
14:11	82	7	3	34.7
14:15	56	6	1	34.6
14:17	82	7	3	34.6
14:21	90	7	3	34.6
14:23	80	7	3	34.6
14:26	85	7	3	34.5
14:31	73	7	3	34.5
<b>PROMEDIOS</b>	<b>64.00</b>	<b>6.48</b>	<b>2.33</b>	<b>35.04</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	16.83	0.93	0.58	0.47
LIMITE SUPERIOR	80.83	7.40	2.91	35.51
LIMITE INFERIOR	47.17	5.55	1.76	34.58

# Gráficas Estación No. 14



**Legenda gráficas.**

-  Desviación Estándar
-  Promedio

Notamos según nos indica la gráfica particularmente del NOx que las concentraciones en esta hora y bajo esta estación, se mantienen estables con pocas variaciones.

# Muestreo Estación No. 3M

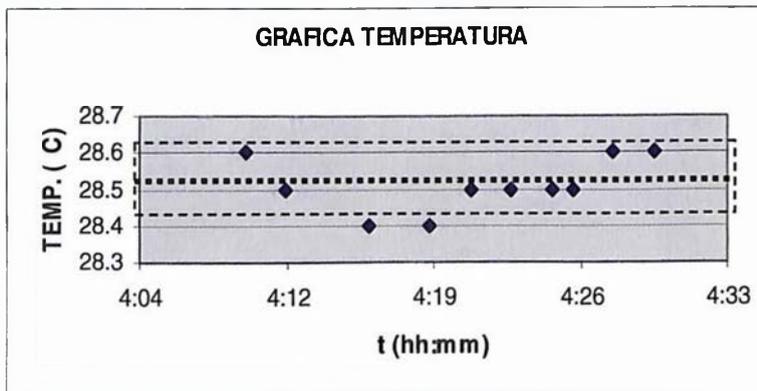
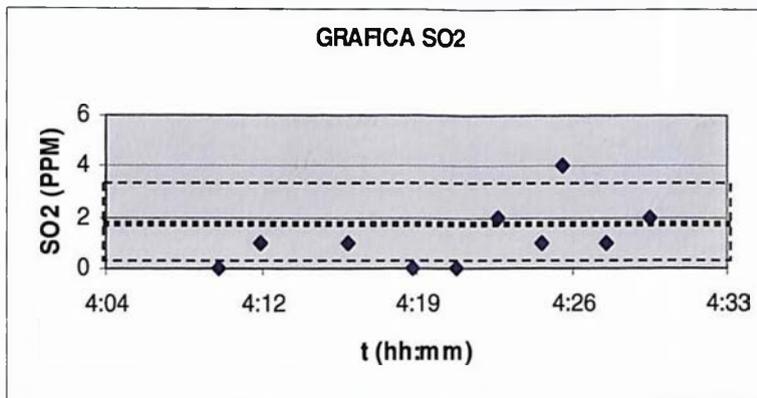
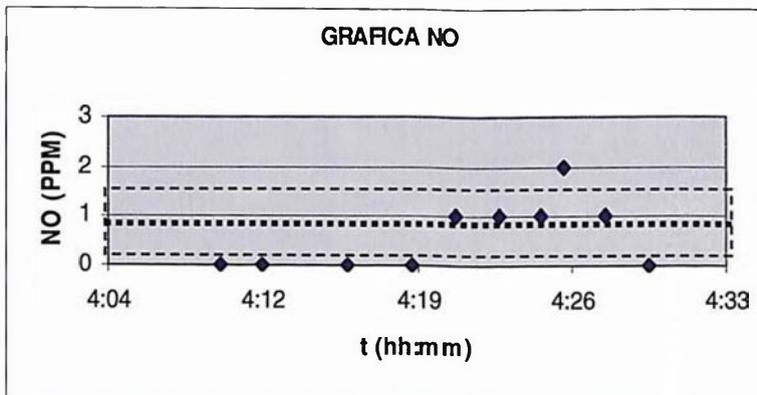
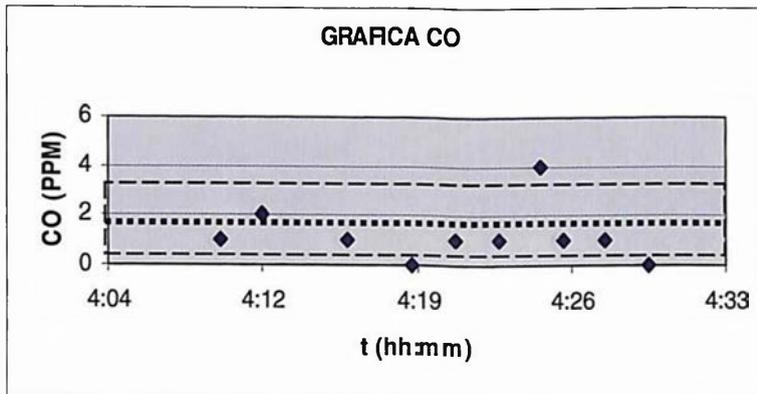
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	3	
COORDENADAS	18°27'54" N 69°55'53" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	4 AM - 4:30 AM MADRUĞADA	
FECHA	27/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	32	31

H= 79, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
4:10	1	0	0	28.6
4:12	2	0	1	28.5
4:16	1	0	1	28.4
4:19	0	0	0	28.4
4:21	1	1	0	28.5
4:23	1	1	2	28.5
4:25	4	1	1	28.5
4:26	1	2	4	28.5
4:28	1	1	1	28.6
4:30	0	0	2	28.6
PROMEDIOS	1.20	0.60	1.20	28.51

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	1.14	0.70	1.23	0.07
LIMITE SUPERIOR	2.34	1.30	2.43	28.58
LIMITE INFERIOR	0.06	-0.10	-0.03	28.44

# Gráficas Estación No. 3M



**Legenda gráficas.**



Desviación Estándar



Promedio

Observamos en horas de la madrugada, bajos niveles de contaminación específicamente con relación al CO desde la estación 3.

# Muestreo Estación No. 8M

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	8	
COORDENADAS	18°27'52" N 69°55'58" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	4 :30 AM - 5:00 AM MADRUGADA	
FECHA	27/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	38	28

H=60, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
4:40	1	0	0	28.9
4:42	4	1	0	28.9
4:45	4	1	1	29.1
4:48	4	1	1	29.2
4:50	5	1	1	29.3
4:54	3	1	0	29.4
4:59	3	1	1	29.6
<b>PROMEDIOS</b>	<b>3.43</b>	<b>0.86</b>	<b>0.57</b>	<b>29.20</b>

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA

1.27      0.38      0.53      0.26

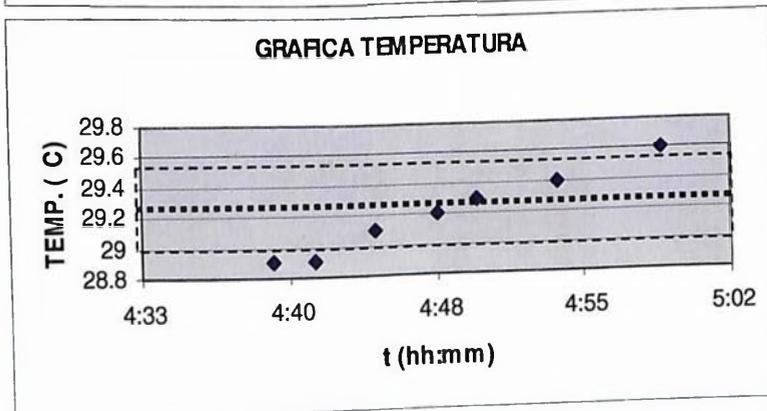
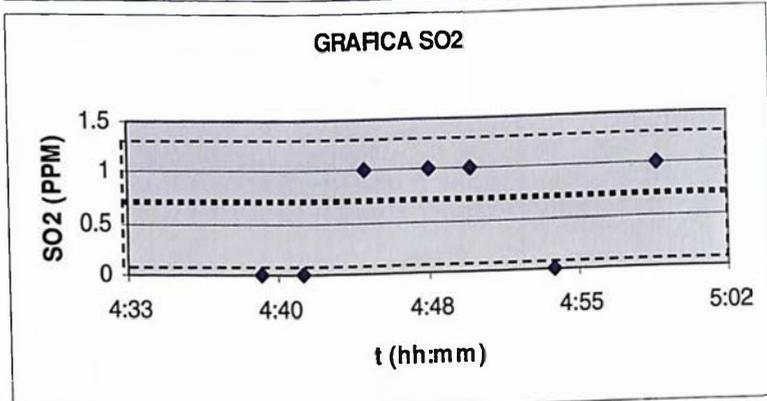
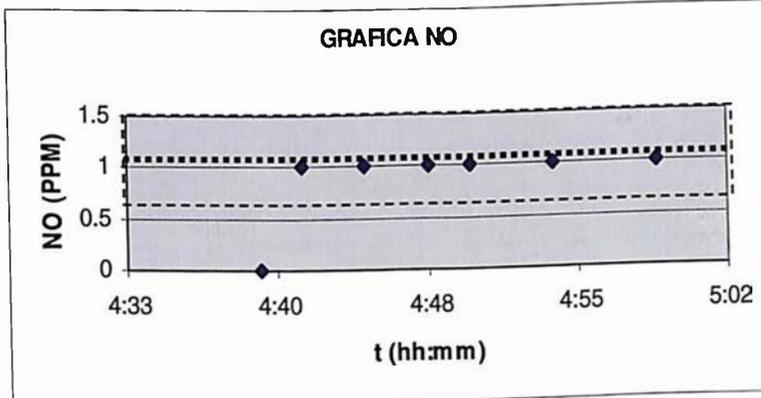
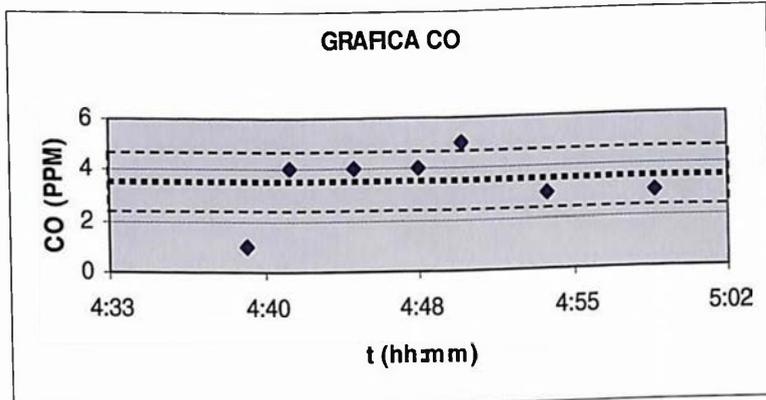
LIMITE SUPERIOR

4.70      1.24      1.11      29.46

LIMITE INFERIOR

2.16      0.48      0.04      28.94

# Gráficas Estación No. 8M



Legenda gráficas.

-  Desviación Estándar
-  Promedio

Estas gráficas muestra el comportamiento de los contaminantes en horas específicas de la madrugada.

# Muestreo Estación No. 11M

CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	11	
COORDENADAS	18°27'49" N 69°56'02" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	5 AM - 5:30 AM MADRUGADA	
FECHA	27/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	55	48

H= 69, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
5:06	5	1	2	29.7
5:11	7	2	1	29.8
5:15	6	1	1	29.8
5:21	4	1	2	29.6
5:24	5	1	1	29.4
5:27	8	1	0	29.3
5:29	11	1	1	29.3
PROMEDIOS	6.57	1.14	1.14	29.56

DESVIACIÓN  
ESTÁNDAR DE  
UNA MUESTRA

2.37

0.38

0.69

0.22

LIMITE SUPERIOR

8.94

1.52

1.83

29.78

LIMITE INFERIOR

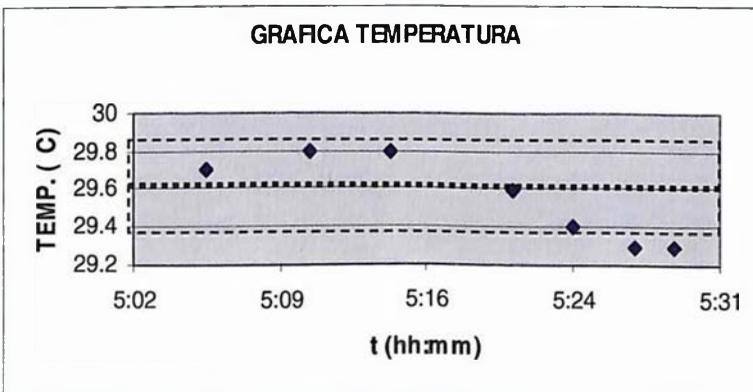
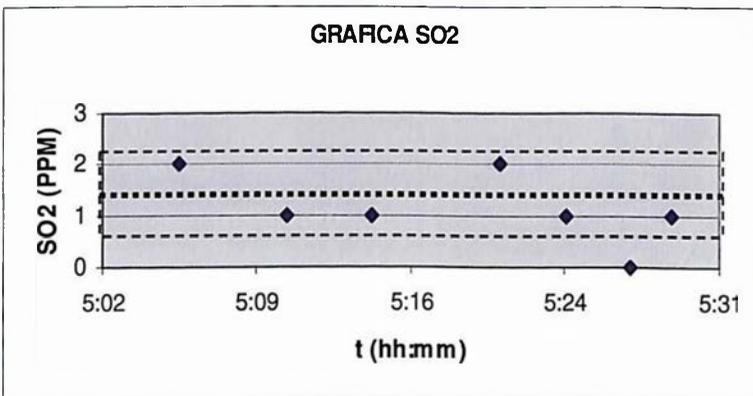
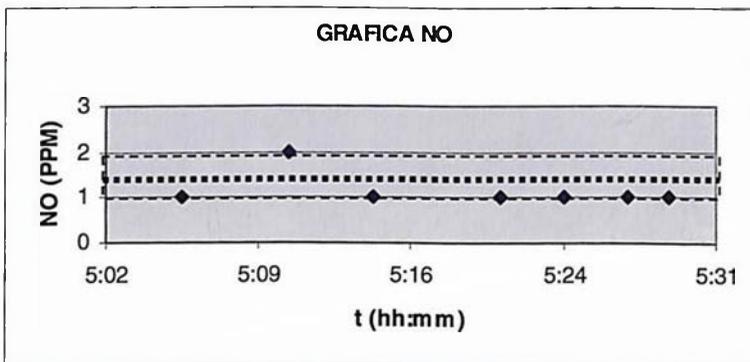
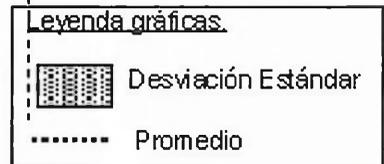
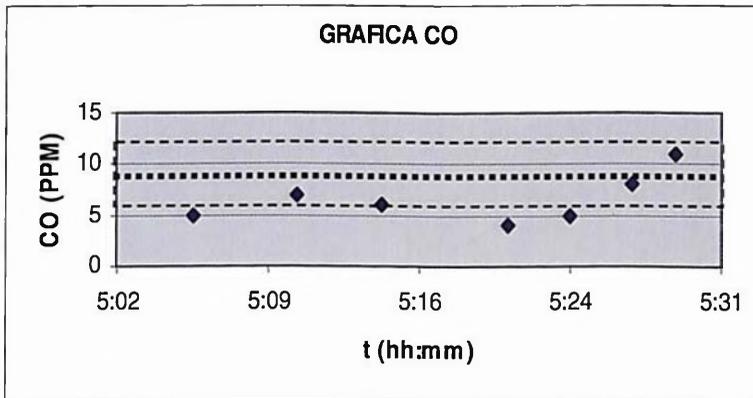
4.20

0.76

0.45

29.33

# Gráficas Estación No. 11M



Notamos como existen pocas variaciones de las concentraciones de los contaminantes según dichas graficas en la estación muestreada.

# Muestreo Estación No. 14M

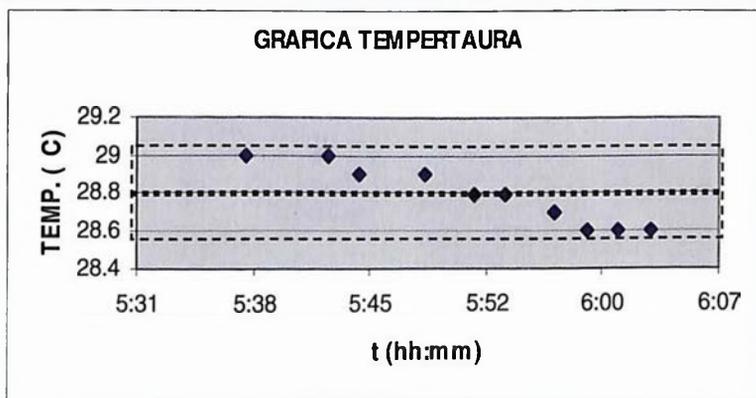
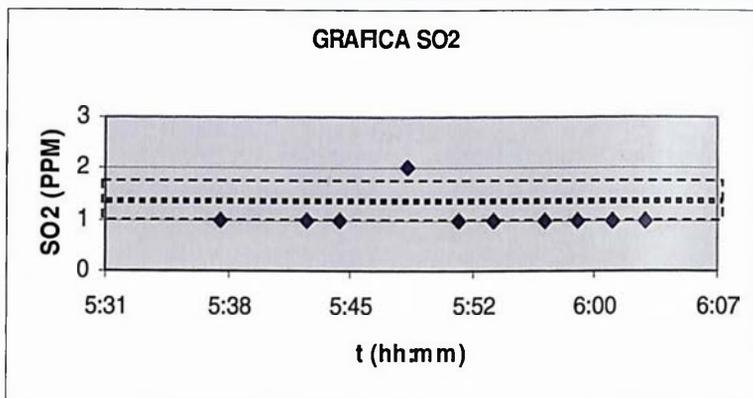
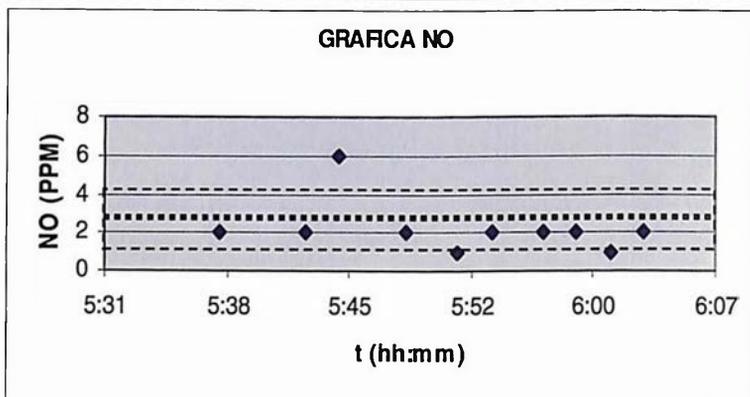
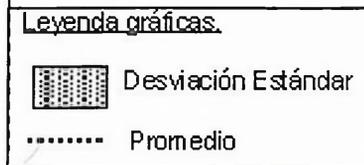
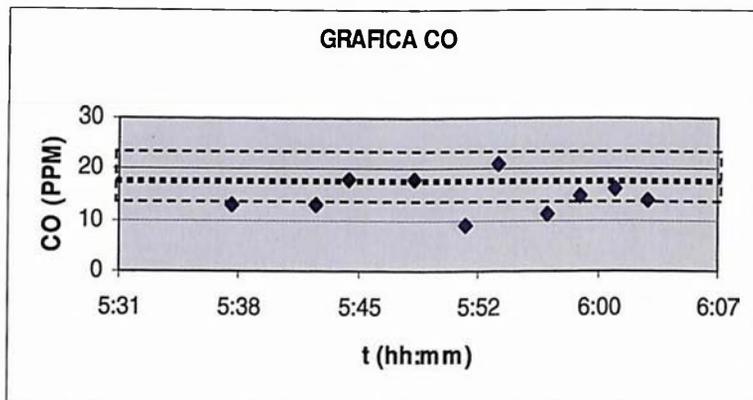
CONTEO VEHICULAR		
ESTACIÓN NO.	14	
COORDENADAS	18°27'48" N 69°56'05" O	
ORIENTACIÓN	ESTE - OESTE	OESTE - ESTE
HORAS	5:30 AM - 6:00 AM MADRUGADA	
FECHA	27/05/03 MARTES	
FLUJO TOTAL VEHÍCULOS	107	90

H= 60, Con relación a la cota 0

MUESTREO				
HORA	CO (PPM)	NO (PPM)	SO2 (PPM)	TEMP TÚNEL (°C)
5:38	13	2	1	29
5:43	13	2	1	29
5:45	18	6	1	28.9
5:49	18	2	2	28.9
5:52	9	1	1	28.8
5:54	21	2	1	28.8
5:57	11	2	1	28.7
5:59	15	2	1	28.6
6:01	16	1	1	28.6
6:03	14	2	1	28.6
PROMEDIOS	14.80	2.20	1.10	28.79

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE UNA MUESTRA	3.58	1.40	0.32	0.16
LIMITE SUPERIOR	18.38	3.60	1.42	28.95
LIMITE INFERIOR	11.22	0.80	0.78	28.63

# Gráficas Estación No. 14M



Al igual que la estación anterior, observamos también pocas variaciones con relación a los contaminantes (CO, NOx, SO<sub>2</sub>) según el muestreo en la estación correspondiente (14).

## Valores promedio

A mediato se muestran las gráficas por estación, en las que se comparan los valores promediados (columna morada) del muestreo a una hora según la norma de calidad de aire, versus los estándares expuestos en dicha normativa de la calidad del aire (columna azul). Inmediatamente se observa una tabla la cual hace referencia a los *limites de la normativa a comparar* (normativa de la calidad de aire en la sección de calidad de aire) y las concentraciones halladas según nuestro muestreo. Se notan en color rojo los valores que sobrepasan la norma en los renglones CO, NOx, SO2. Para la temperatura no se tienen ningún parámetro comparativo.

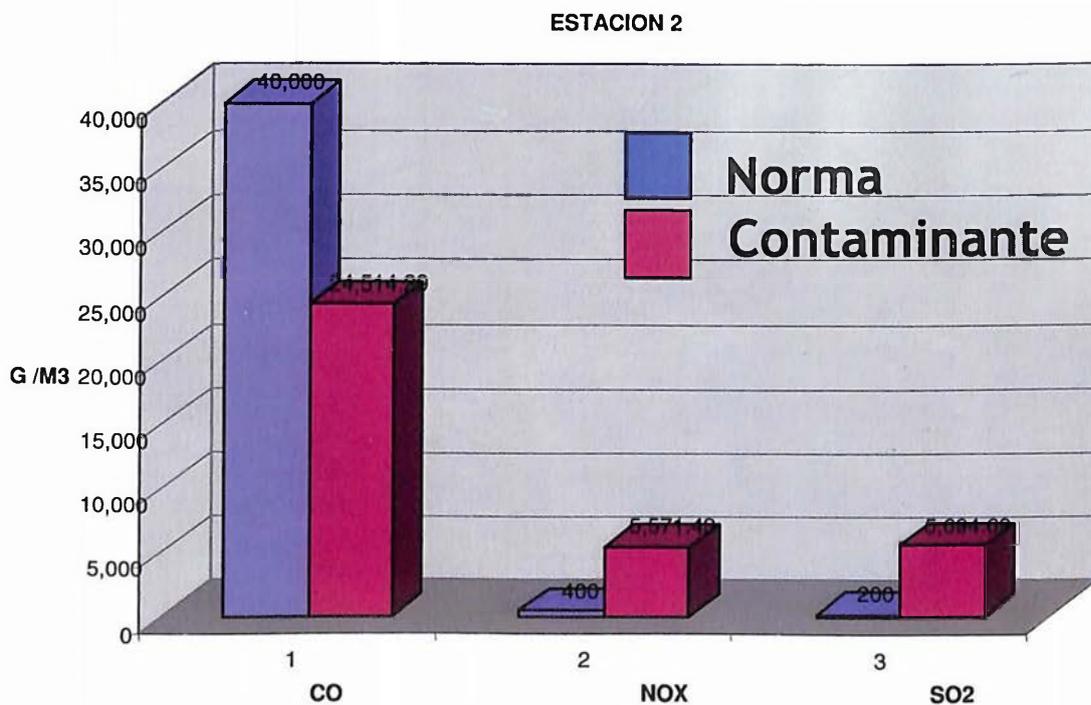
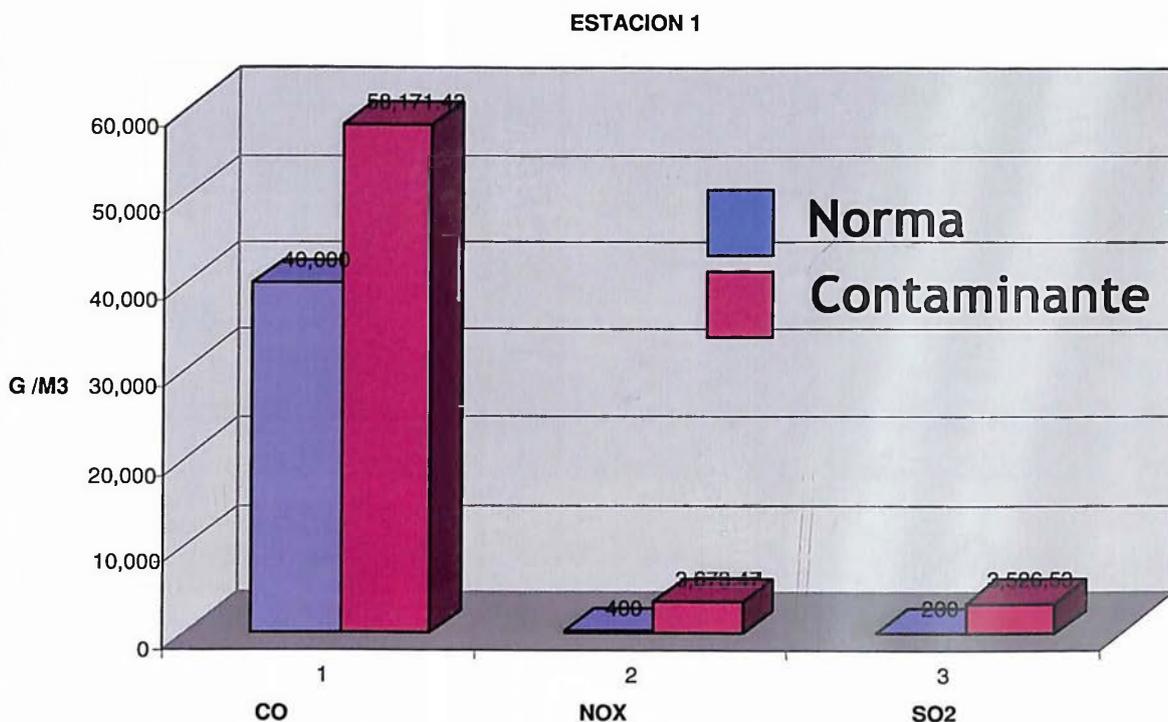
### VALORES PROMEDIO POR CONTAMINANTES

Estación	CO		Nox		SO2	
	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3	PPM	µG /M3
1	50.90	58,171.43	3.00	3,673.47	1.35	3,526.53
2	21.45	24,514.29	4.55	5,571.43	2.18	5,694.69
3	83.92	95,908.57	5.23	6,404.08	1.77	4,623.67
4	77.05	88,057.14	<b>9.19</b>	11,253.06	2.67	6,974.69
5	38.53	44,034.29	2.00	2,448.98	1.40	3,657.14
6	31.40	35,885.71	2.33	2,853.06	2.07	5,407.35
7	<b>110.63</b>	126,434.29	5.53	6,771.43	<b>7.16</b>	18,703.67
8	26.94	30,788.57	3.00	3,673.47	1.29	3,369.80
9	75.21	85,954.29	8.63	10,567.35	3.42	8,933.88
10	85.72	97,965.71	5.11	6,257.14	2.33	6,086.53
11	26.82	30,651.43	2.73	3,342.86	1.09	2,847.35
12	73.36	83,840.00	4.09	5,008.16	1.18	3,082.45
13	56.14	64,160.00	5.05	6,183.67	1.62	4,231.84
14	64.00	73,142.86	6.48	7,934.69	2.33	6,086.53
3M	1.20	1,371.43	0.60	734.69	1.20	3,134.69
8M	3.43	3,920.00	0.86	1,053.06	0.57	1,488.98
11M	6.57	7,508.57	1.14	1,395.92	1.14	2,977.96
14M	14.80	16,914.29	2.20	2,693.88	1.10	2,873.47

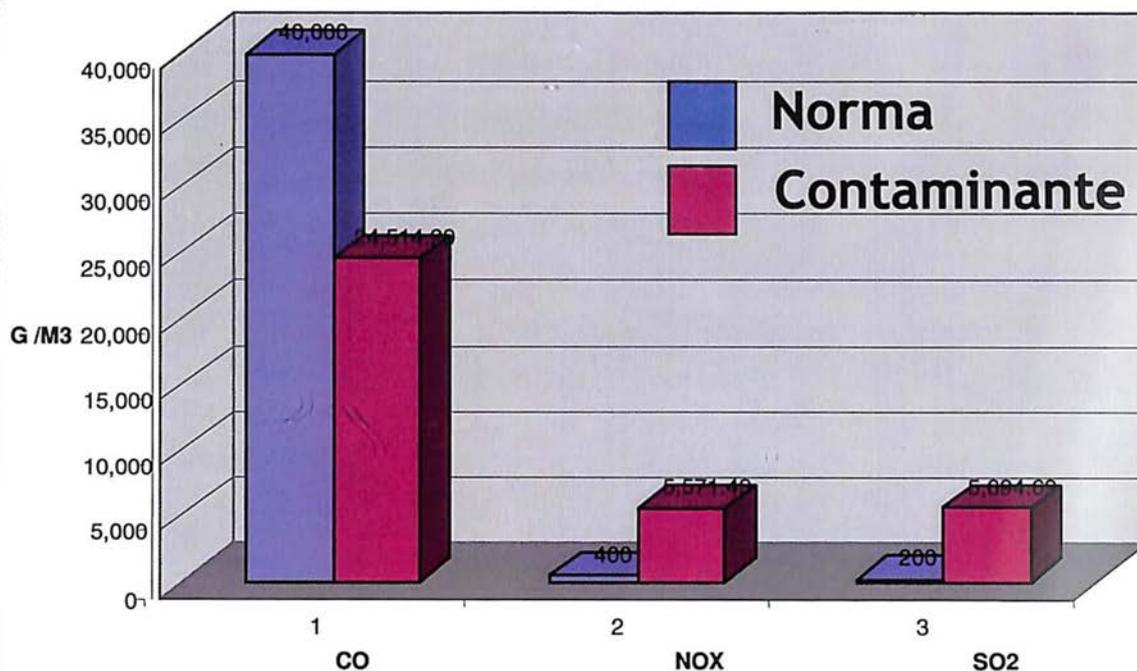
ESTANDARES DE CALIDAD DE AIRE DE LA REPUBLICA DOMINICANA		
Contaminantes	PPM	µG /M <sup>3</sup>
CO	35	40,000
NOx	0.32	400
SO2	0.08	200

Estos estándares son menos exigentes en comparación con los estándares internacionales, por lo que al sobrepasar los límites estipulados por la norma local, también sobrepasan la normativa internacional (EPA, OMS, OPS).

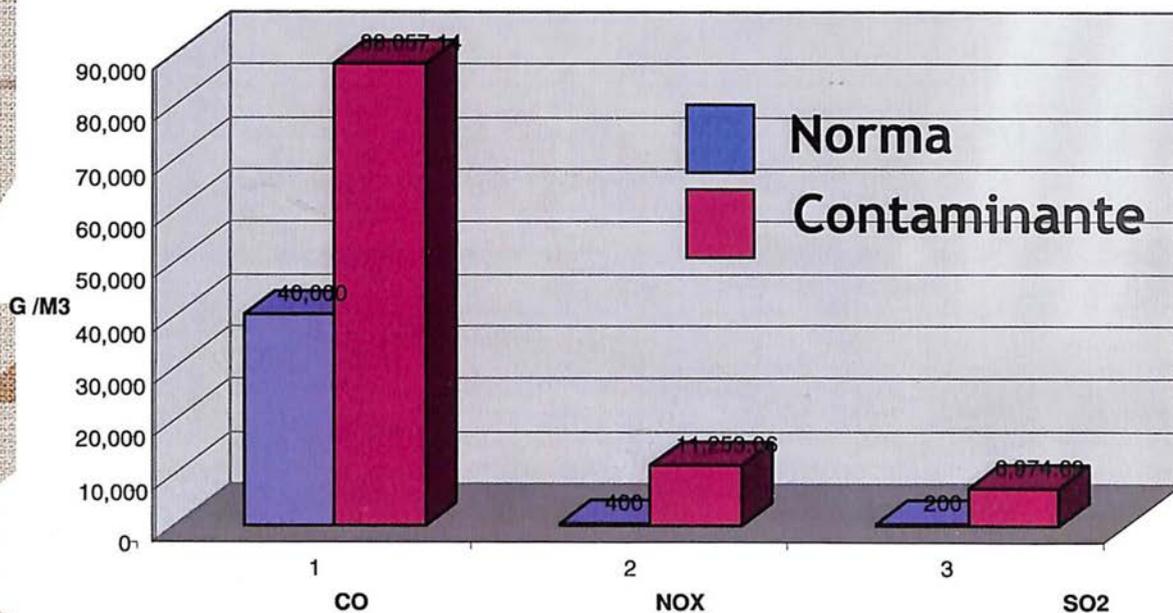
Como se muestra en el cuadro, solo el 14.81% de los valores se mantienen por debajo de los límites según la normativa de la calidad de aire y en contraparte el 85.18% de los valores están por encima de la normativa.



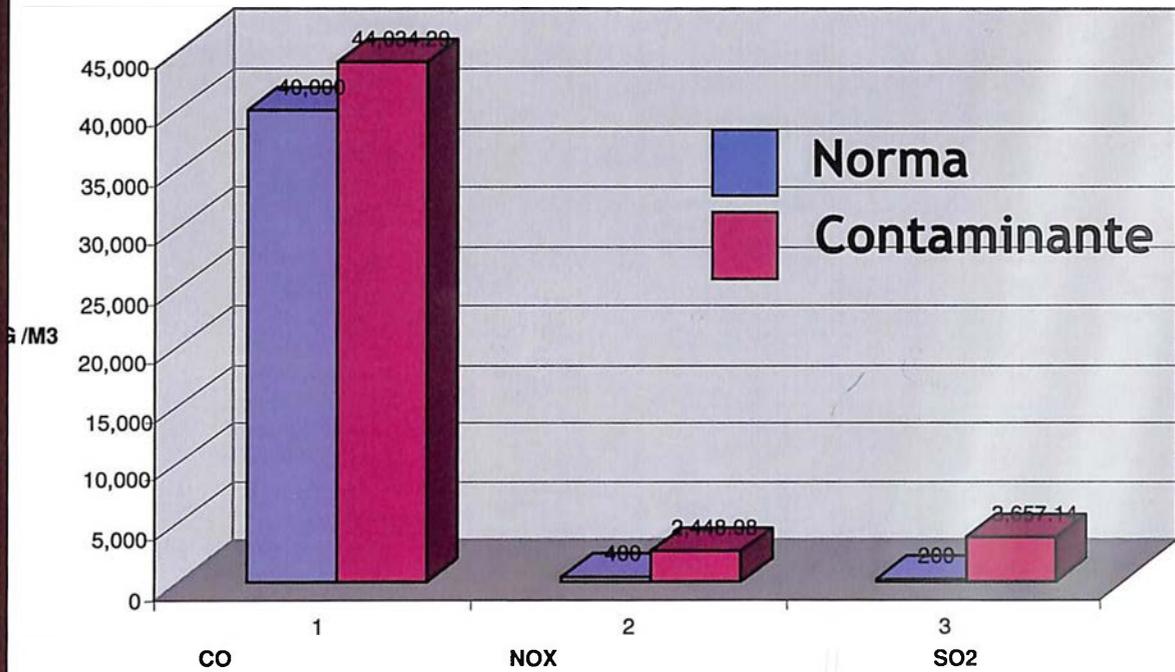
ESTACION 2



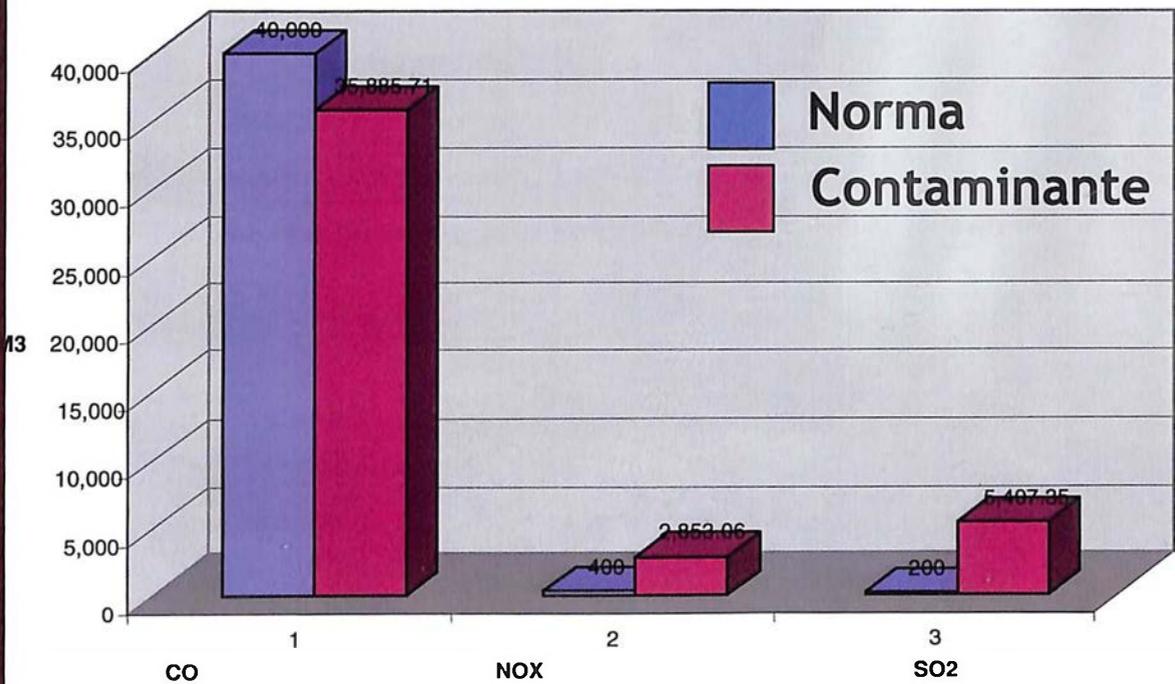
ESTACION 4



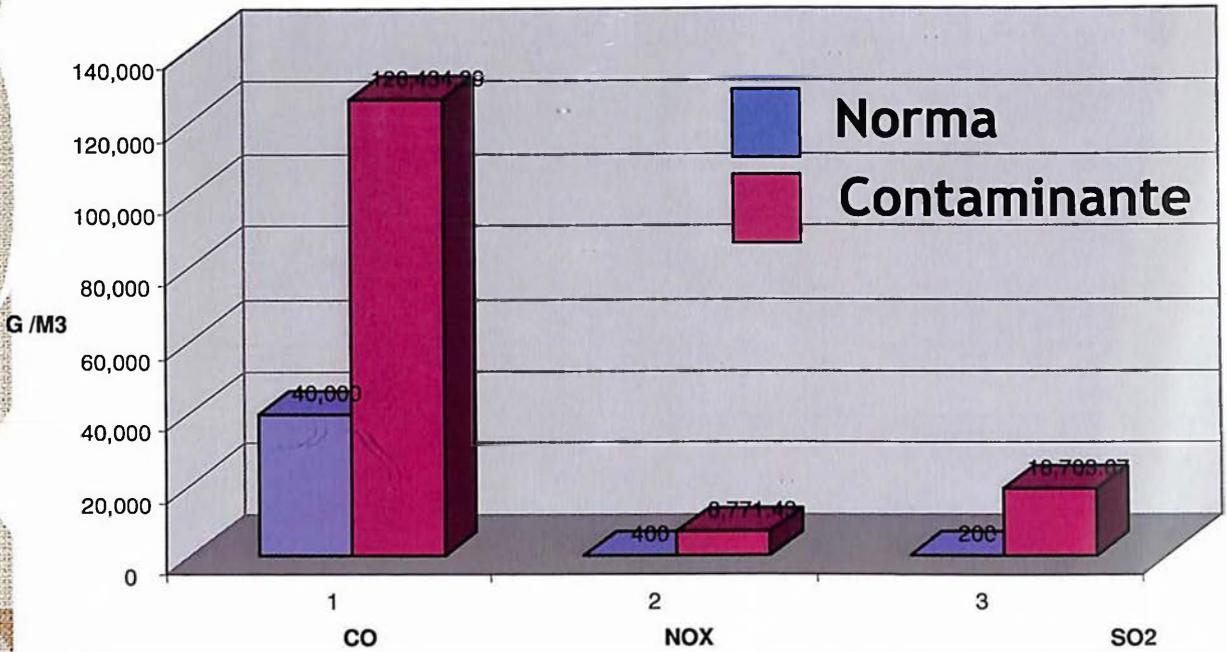
ESTACION 5



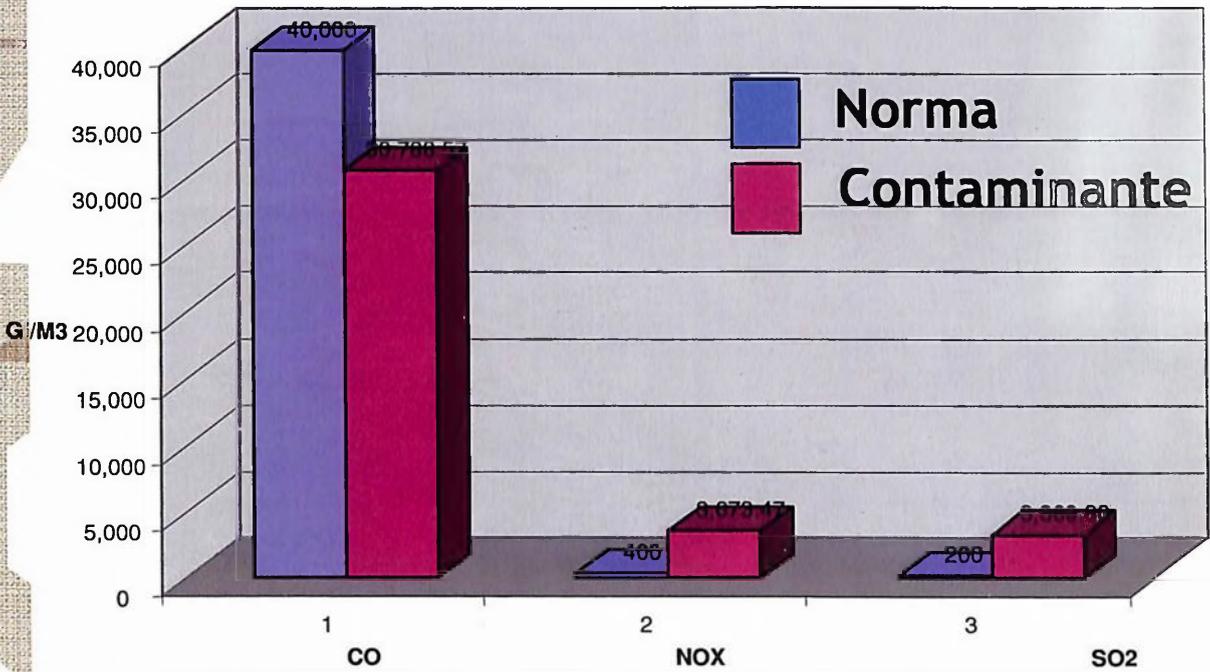
ESTACION 6



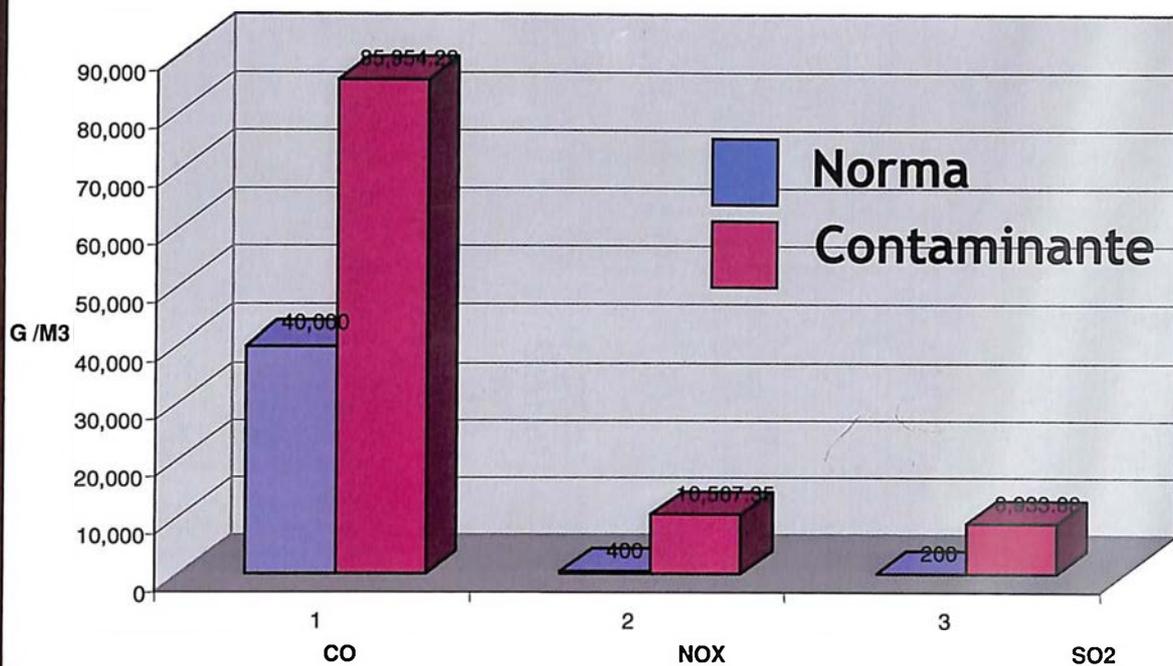
ESTACION 7



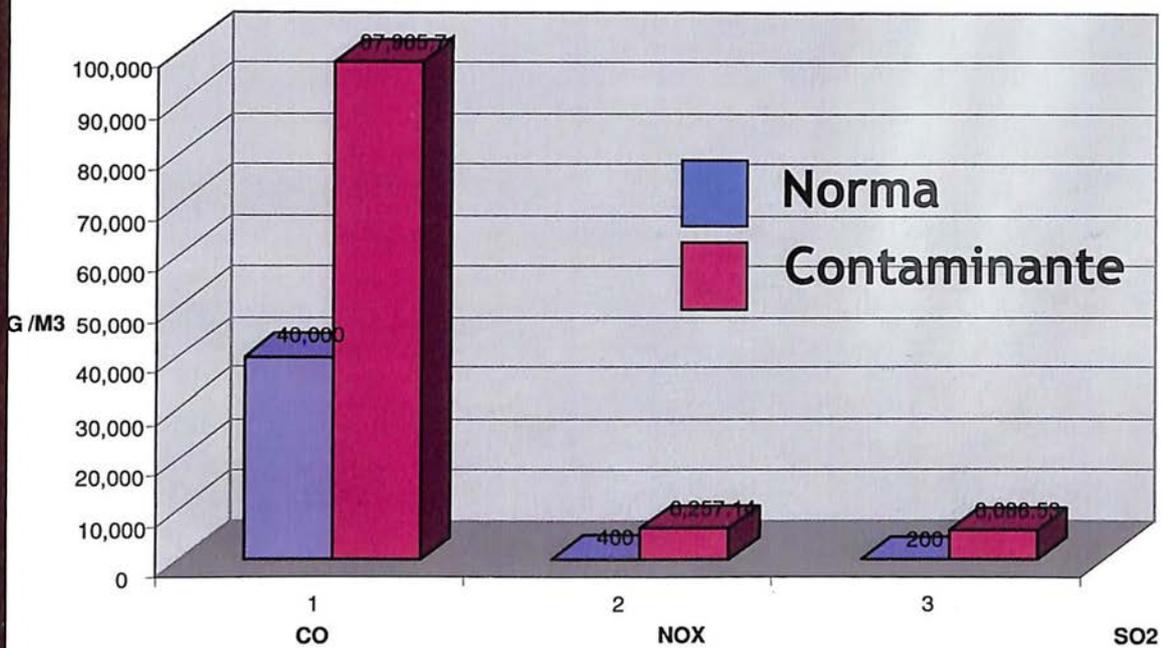
ESTACION 8



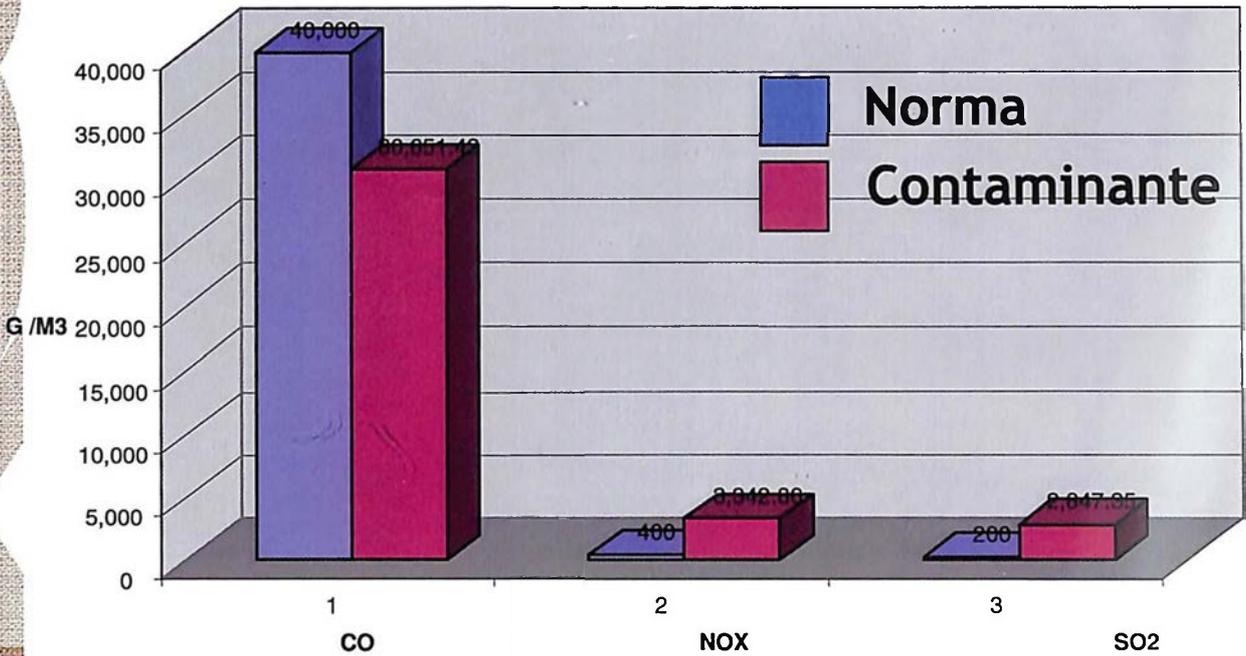
ESTACION 9



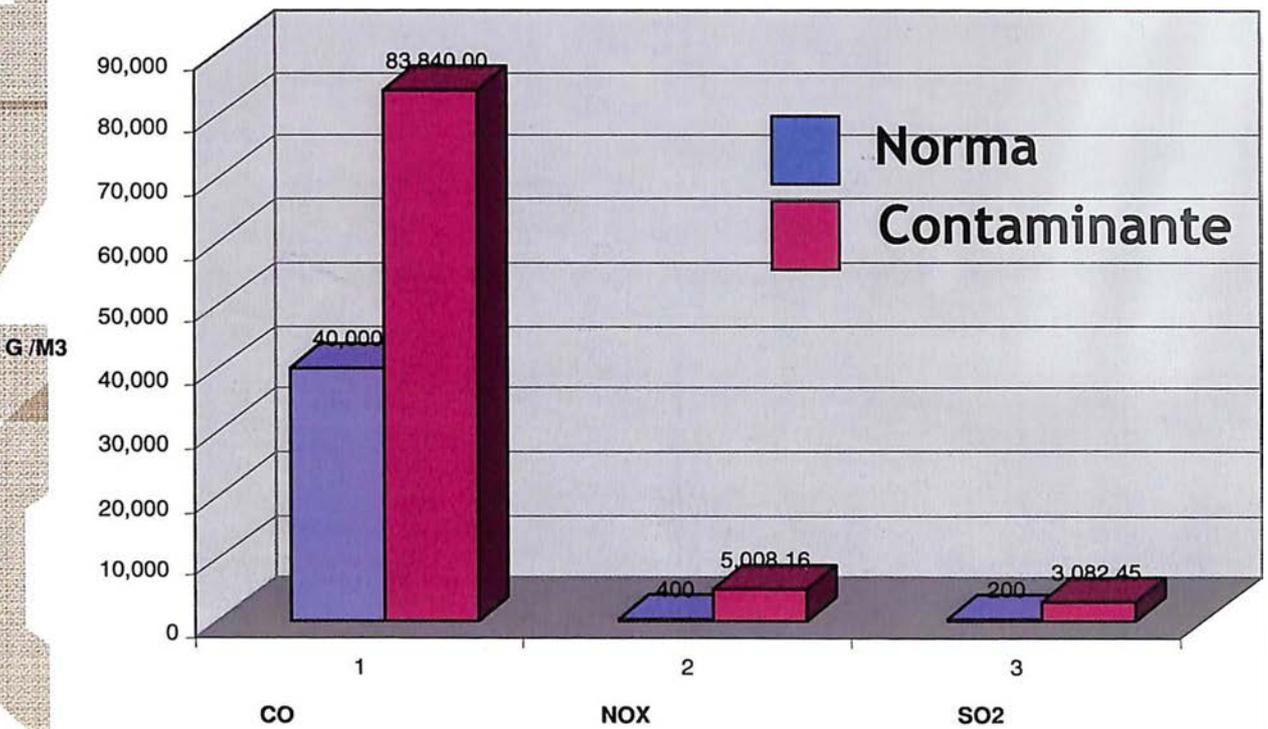
ESTACION 10



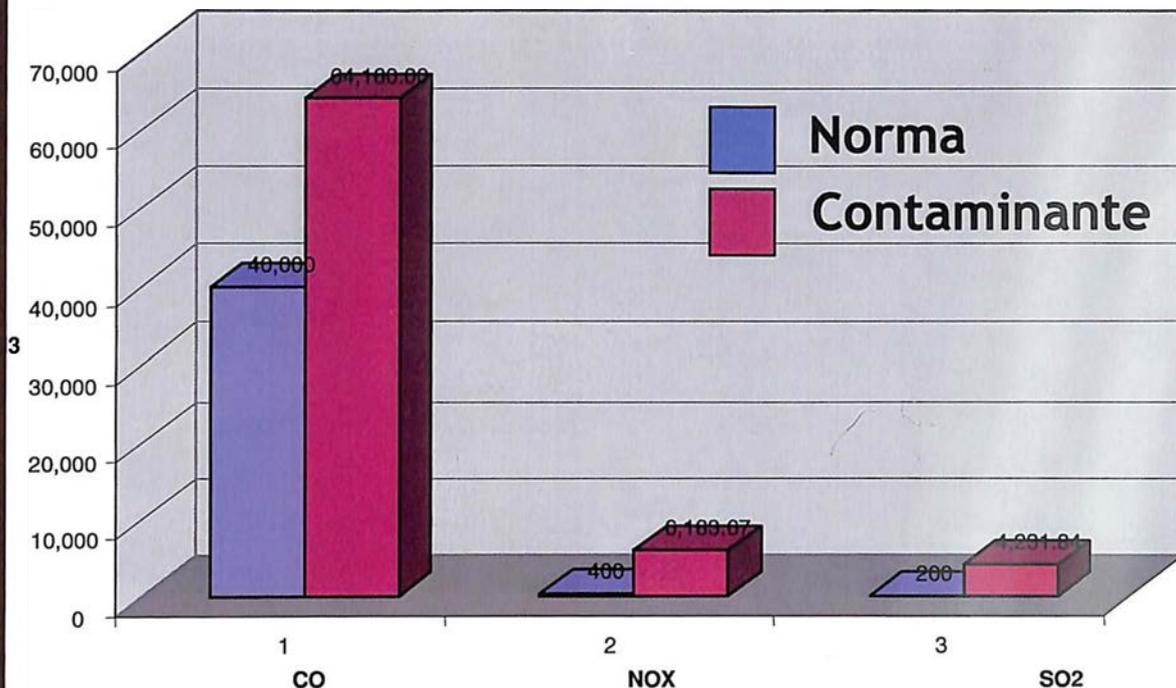
ESTACION 11



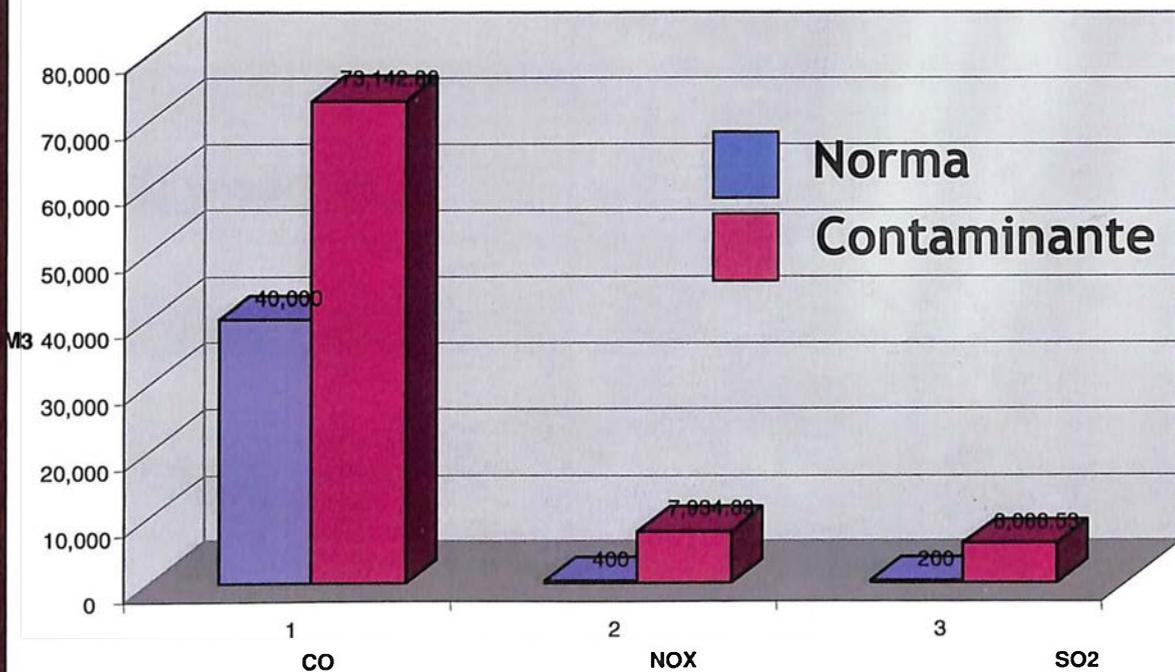
ESTACION 12



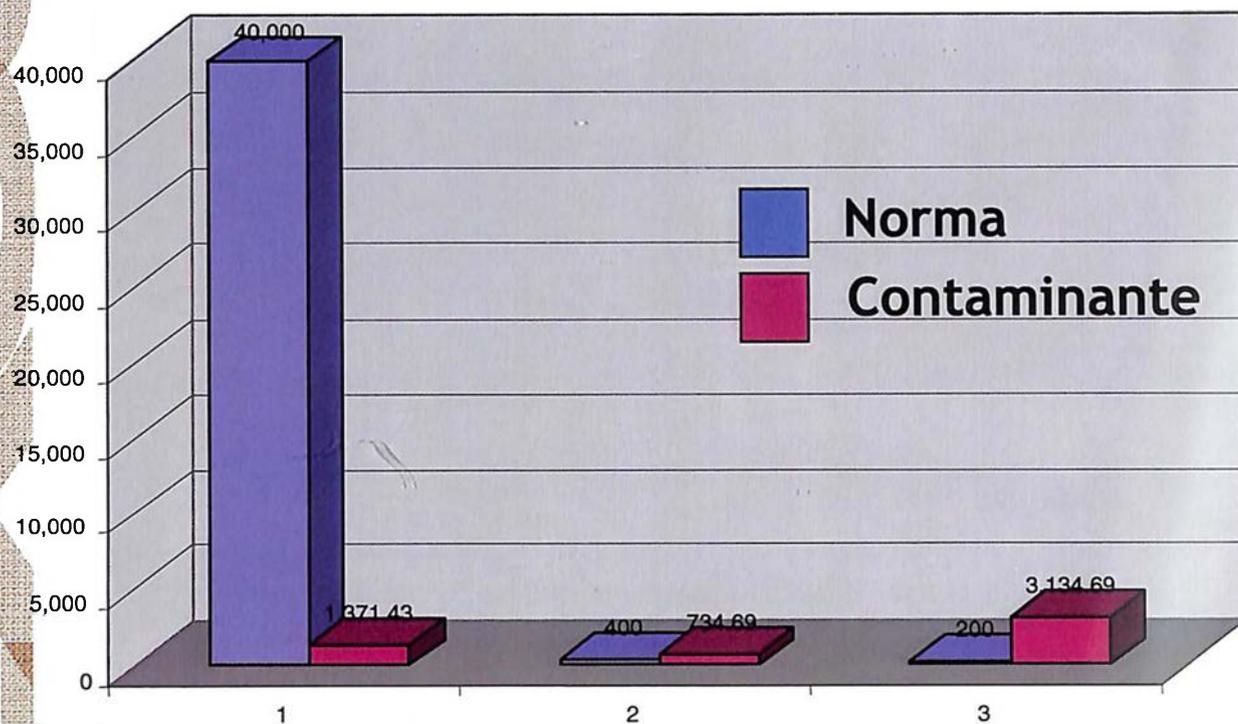
ESTACION 13



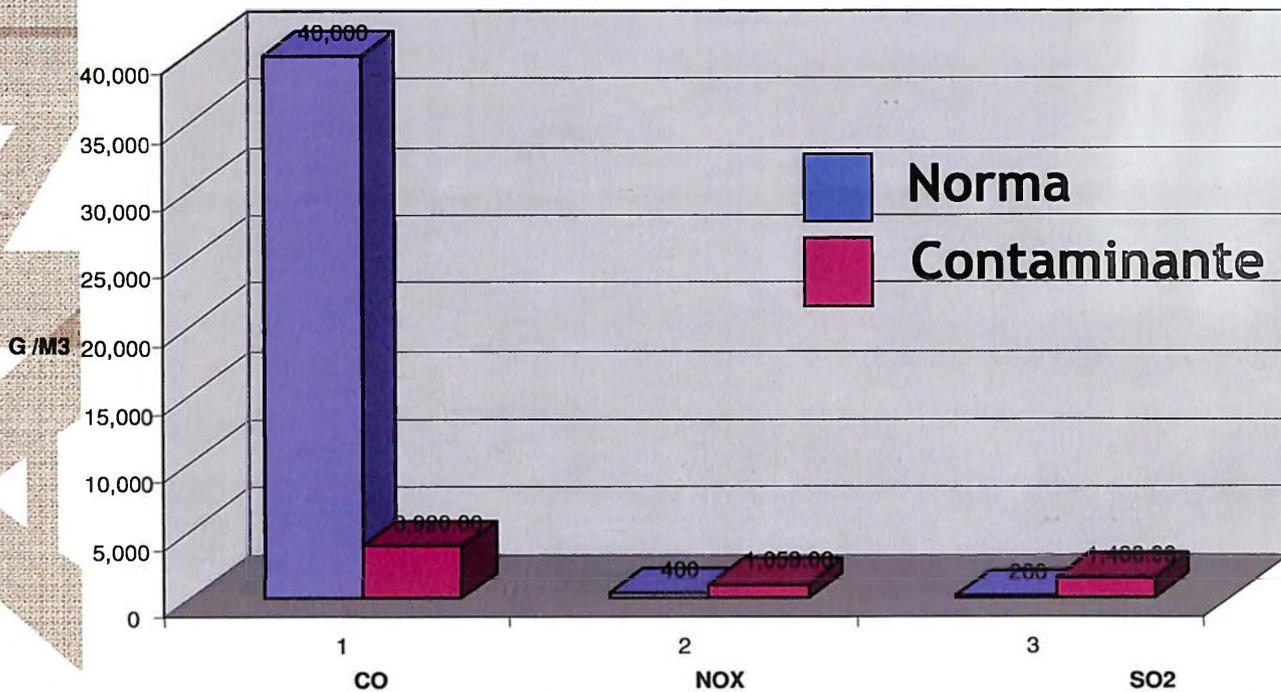
ESTACION 14



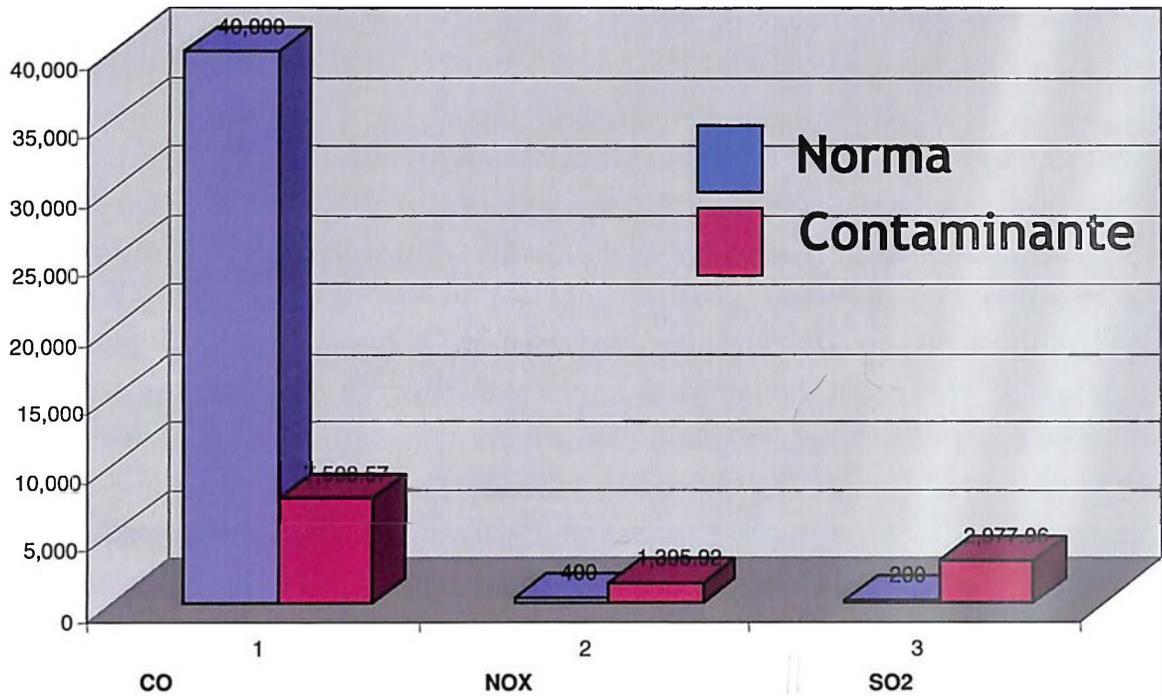
ESTACION 3M



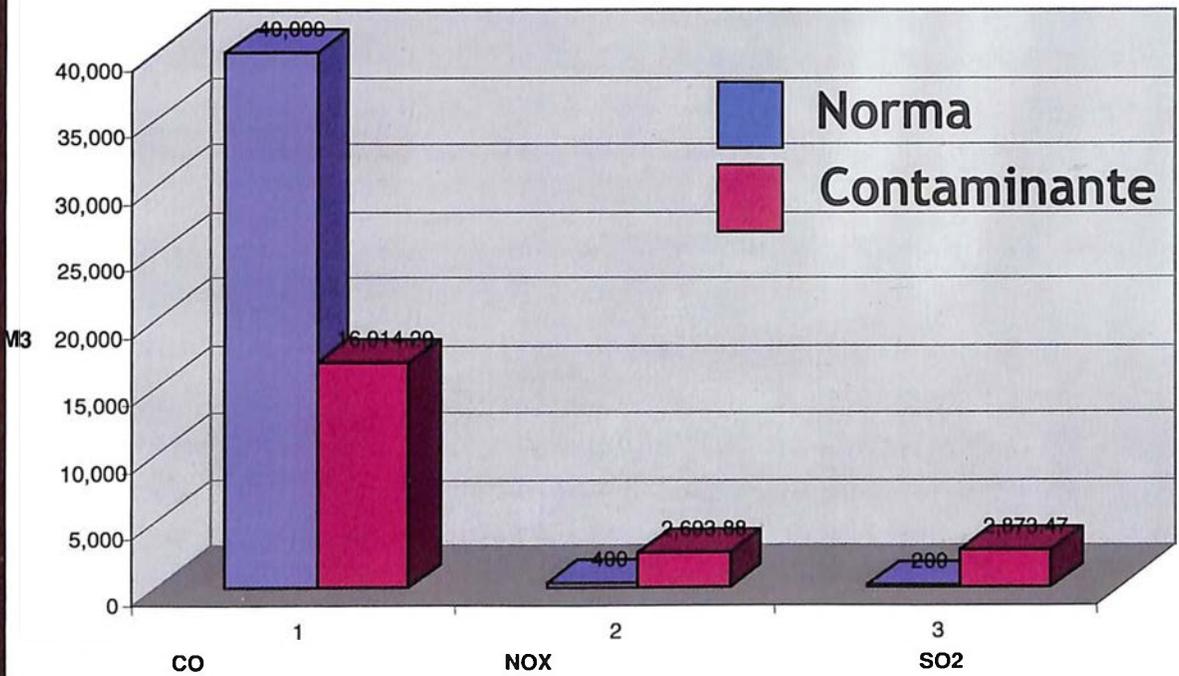
ESTACION 8M



ESTACION 11M



ESTACION 14M





### Análisis particular

A continuación se detallan las condiciones intrínsecas en términos de posicionamiento con relación al muestreo general de cada estación al momento específico del levantamiento de las informaciones, de manera que se conozcan los limitantes presentes en dicho punto particular. Así y al final de cada estación, se realizó un comentario en forma de observación que busca correlacionar y entender el compartimiento de los contaminantes en cada particular.

#### Estación no. 1

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al segundo (2) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al noveno (9) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al onceavo (11) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Al ser la primera estación ubicada en la entrada del túnel, se observan que las concentraciones de los contaminantes se encuentran dentro de las mas bajas (2do lugar) con relación a las estaciones muestreadas en horas matutinas. La ventilación en ese punto es la más notable en comparación con las demás estaciones. Se presentó una relación entre el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>.

#### **Estación no. 2**

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al catorceavo (14) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al octavo (8) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al quinto (5) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al segundo (2) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Es la segunda estación ubicada en la entrada del túnel. El CO se comportó por debajo de los estándares. No hubo relación estrecha entre los contaminantes.

### Estación no. 3

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al doceavo (12) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al tercer (3) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al quinto (5) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al séptimo (7) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al tercer (3) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Esta estación en comparación a la anterior, muestra cierta similitud en los datos arrojados, excluyendo las emisiones del CO, que para este caso sí fueron sobrepasados. Dicha similitud se da por la cercanía que presenta ambas.

### Estación no. 4

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al sexto (6) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al primer (1) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al tercer (3) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al séptimo (7) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– En el horario matutino fue la estación que presentó mayor gravedad en las concentraciones de los contaminantes. Esta estación va llegando prácticamente al centro, en donde la falta de extracción se hace notar.

#### Estación no. 5

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al treceavo (13) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al noveno (9) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al primer (1) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Dentro de las horas vespertinas, esta estación presenta unas de las más bajas concentraciones en todo lo largo del túnel, sin embargo, sobrepasa en todo momento los estándares. Se observa cierta relación entre los vehículos que transitan y el CO.

#### Estación no. 6

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al catorceavo (14) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al onceavo (11) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al doceavo (12) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al sexto (6) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Esta estación en combinación con las próximas tres estaciones, conforman el núcleo central del túnel. El CO presentó en este caso, bajos valores con relación a los estándares, y los demás contaminantes, aunque por encima de la norma, presentaron valores bajos en comparación a las demás estaciones.

#### **Estación no. 7**

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al primer (1) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al primer (1) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al primer (1) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al treceavo (13) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Se observa relación entre la mayor cantidad de vehículos transitando por el túnel, la concentración más alta de CO medida y la cantidad mayor de SO<sub>2</sub> registrada. Es otra de las tandas matutinas que presenta mayor gravedad de contaminación, y mas aun por ser parte de las estaciones centrales.

### Estación no. 8

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al tercer (3) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al doceavo (12) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al onceavo (11) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al sexto (6) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Aunque en tandas vespertinas las temperaturas se hacen mas altas, las concentraciones de contaminantes parecen no presentar relación con ésta en dicha estación. Las concentraciones de CO se comportan por debajo de la norma, y las demás concentraciones, que por encima de ella, presentan bajos valores en comparación con otras estaciones.

### Estación no. 9

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al noveno (9) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al quinto (5) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al segundo (2) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al segundo (2) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al quinto (5) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– En esta estación se presentan relaciones entre la temperatura y el CO, y entre el NO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub>.

### Estación no. 10

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al treceavo (13) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al segundo (2) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al sexto (6) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al doceavo (12) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– La estación 10 en horas matutinas presenta valores considerables de los contaminantes. A partir de aquí, en el túnel nos vamos acercando mas a la salida, lo que supone menores concentraciones.

### Estación no. 11

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al octavo (8) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al treceavo (13) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al onceavo (11) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al dieciseisavo (16) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al décimo (10) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Los valores en esta estación se hacen más bajos en comparación con las demás estaciones, sin embargo, en todo momento, exceptuando el CO, todos los demás contaminantes permanecen por encima de la norma. Hasta ahora hemos vistos que casi todos los contaminantes sobrepasan los estándares de calidad, por lo que la ventilación del túnel es muy pobre.

### Estación no. 12

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al onceavo (11) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al sexto (6) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al noveno (9) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al treceavo (13) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al catorceavo (14) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (matutinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– En esta estación, las concentraciones de forma generalizada se comportan de la manera mas baja en comparación con todas las estaciones del túnel, pero se sigue manteniendo por encima de los estándares para todos los contaminantes.

### Estación no. 13

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al quinto (5) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al octavo (8) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al séptimo (7) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al octavo (8) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al octavo (8) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Observaciones.**– Se observa cierta relación entre el CO, temperatura y el SO<sub>2</sub>. Los demás valores se detectan cerca de la media, y siempre por encima de los estándares.

#### Estación no. 14

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al séptimo (7) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al séptimo (7) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al tercer (3) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al cuarto (4) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertinas) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al noveno (9) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas pico (vespertina) del área en estudio.

**Observaciones.**– Aunque las estaciones 13 y 14, son las más próximas a la salida por el oeste, se podría entender que la ventilación natural sería más eficaz. En este caso en particular no se presenta así, ya que las distancias a la salida sobrepasan la distancia comparativa de las primera estaciones del lado Este. Dado lo mencionado anteriormente, tanto las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> se comportan muy por encima de los estándares. Los valores de los demás contaminantes presentan valores cercanos a la media.

### **Estación no. 3 madrugada**

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al dieciochoavo (18) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al dieciochoavo (18) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al diecisieteavo (17) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al doceavo (12) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al dieciochoavo (18) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Observaciones.**– Dicha estación presentó los más bajos valores en casi todos los contaminantes, sin embargo, todas las concentraciones, exceptuando el CO, se manifestaron por encima de la norma.

### **Estación no. 8 madrugada**

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al diecisieteavo (17) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al diecisieteavo (17) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al dieciseisavo (16) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al diecisieteavo (17) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al dieciseisavo (16) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Observaciones.**– Esta estación, presentó también bajos valores en cuanto al CO, dado al bajo flujo vehicular de la hora. Se observó relación entre el NO y la temperatura.

#### Estación no. 11 madrugada

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al dieciseisavo (16) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al dieciseisavo (16) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al quinceavo (15) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al catorceavo (14) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (madrugada) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al quinceavo (15) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Observaciones.**– Proporcionalmente las concentraciones aumentan con el aumento del flujo vehicular de la hora. Los contaminantes, exceptuando el CO se presentan por encima de la norma.

#### **Estación no. 14 mañana**

**Vehículos.**– La cantidad de vehículos en esta estación correspondió al quinceavo (15) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Monóxido de carbono (CO).**– La cantidad de CO en esta estación correspondió al quinceavo (15) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**– La cantidad de NO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al catorceavo (14) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**– La cantidad de SO<sub>2</sub> en esta estación correspondió al quinceavo (15) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Temperatura.**– La Temperatura en esta estación correspondió al diecisieteavo (17) lugar en una escala ascendente de 18 estaciones muestreadas, realizada en una de las horas baja (mañana) del área en estudio.

**Observaciones.**– En esta estación pasa lo mismo que todas en las estaciones muestreadas en la mañana. Las concentraciones aumentan a medida que aumenta el flujo vehicular. Aquí también todas las concentraciones exceptuando el CO, sobrepasan la norma.

Generalizando parece ser, que en las horas matutinas, las concentraciones se hacen más difícil de evacuar, y el tiempo de estancia dentro del túnel es más prolongado. Deducimos esto así, ya que las concentraciones en sus valores más altos se presentan en horas de la mañana, y nunca se presentaron valores por debajo de los estándares en ningunos de los contaminantes.

Los valores muestreados hablan por sí solos, basta con mirar los datos agrupados en la tabla resumida por estaciones, y observar las incongruencias entre los límites aceptables en la norma de calidad de aire y la realidad existente dentro de las instalaciones del túnel. De manera muy específica concluimos en este acápite que el problema de contaminación inexorablemente es de suma importancia.

Nota.- Cabe señalar que en este caso se habló de ventilación, y no de extracción, debido a que solo los respiraderos como sistemas pasivos se encuentra en función. Los extractores están totalmente fuera de servicio.

Efectos en la salud humana por exposición a óxido de nitrógeno. Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto Observado
5	14 horas	Individuos normales, Incremento de la resistencia de las vías aéreas. Aumento de la hiperactividad bronquial
2.5	2 horas	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 horas	Individuos normales: Pequeño cambio en la capacidad vital forzada.
0.5-5	3 - 60 min.	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas
0.5	20 min.	Individuos asmáticos: con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de la tasa máxima de flujo espiratorio

La EPA ha establecido que la concentración media del dióxido del nitrógeno en aire ambiente no debe exceder 0,053 porciones de dióxido del nitrógeno por millón de porciones del aire (0,053 PPM). La (OSHA) ha fijado un límite de 25 PPM del óxido nítrico(NO) en el aire durante un día laborable de ocho horas, semana del lugar de trabajo 40 horas semana. El OSHA también ha fijado un límite de 15 minutos de exposición de 5 PPM para el dióxido del nitrógeno(NO<sub>2</sub>) en aire del lugar de trabajo

## Efectos en la salud humana por exposición a Dióxido de Nitrógeno. Organización Panamericana de la Salud (OPS)

### **Efectos en la salud humana por exposición a dióxido de azufre.**

<b>Concentración en 24 horas (● g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Efecto observado</b>
400 900	- Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma.
500 1700	- Incremento de la síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
1700 2300	- Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
2300 2900	- Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
> 2900	- Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

Los sulfatos constituyen un peligro serio para la salud, habiéndose demostrado que concentraciones muy bajas de ellos (de 8 a 10 µg/m<sup>3</sup>) ejercen efectos adversos sobre los asmáticos, los ancianos y otras personas susceptibles con problemas respiratorios crónicos.

# OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD)

Valores guía para "contaminantes clásicos", según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos.	500	10 minutos
		125	24 horas
	Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	50	1 año
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0.1 ppm)	1 hora
		40 (0.02 ppm)	1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de COHb <2.5%	100.000 (90 ppm)	15 minutos
		60.000 (50 ppm)	30 minutos
		30.000 (25 ppm)	1 hora
		10.000 (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 $\mu\text{g}$ Pb/l	0.5	1 año

# EPA (Environmental Protection Agency)

## Estándares de la EPA de calidad de aire

Contaminante	Tiempo	Valor del estándar	Tipo de estándar
Monóxido de carbono (CO)	8 horas promedio	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	Primario
	1 hora promedio	35 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	Primario
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Media aritmética anual	0.053 ppm (100 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
	1 hora promedio	0.12 ppm (235 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas promedio	0.08 ppm (157 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
Plomo (Pb)	Promedio cuatrimestral	1,5 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas (PM 10)	Media aritmética anual	50 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas con diámetro de 10 micras o menos	24 horas promedio	150 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas (PM 2,5)	Media aritmética anual	15 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas diámetro de con 2,5 micras o menos	24 horas promedio	65 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Media aritmética anual	0.03 ppm (80 µg/m <sup>3</sup> )	Primario
	24 horas promedio	0.14 ppm (365 µg/m <sup>3</sup> )	Primario
	3 horas promedio	0.50 ppm (1300 µg/m <sup>3</sup> )	Secundario

## IX. Bibliografía

### 9.1 Bibliografía General

1. Emisiones Vehiculares y Políticas Normativas, Katz Bianchi R., Sáez Carreño A. ENAP, Memoria y Balance anual 1995

Fecha de consulta: Junio 2003

2. Refinería de Petróleo de Concón, Memoria y Balance anual 1995.

Fecha de consulta: Junio 2003

3. Manual de Automóviles y Vehículos Motorizados, Ministerio del Ejercito USA. (2000)

Fecha de consulta: Junio 2003

4. Procesos de los Motores de Combustión, Lester C. Lichty. Editora MG. (1998)

Fecha de consulta: Agosto 2003

5. Termotecnia Teoría y Métodos en Termodinámica Aplicada, Ignacio Lira Canguilhem. McGraw - Hill . Segunda edición (2001)

Fecha de consulta: Agosto 2003

6. Contaminación del aire por la industria, Albert Parker. Editorial Reverté. (1993)

Fecha de consulta: Agosto 2003

7. La contaminación atmosférica, José Manuel Sanz SA. CPSGTMOPT Madrid, (1991)

Fecha de consulta: Septiembre 2003

8. Engineering Resource Guide, CF. Twin City Fan Companie, Ltd. (2001)

Fecha de consulta: Septiembre 2003

## 9.2 Bibliografía Específica

1. Ley 64-00. Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. Editora Búho, segunda edición, Santo Domingo RD. (2000)  
Fecha de consulta: Septiembre 2003

2. Normas Ambientales sobre la calidad del aire y control de emisiones atmosférica. Editora Búho, Santo Domingo, R.D. (2001)  
Fecha de consulta: Septiembre 2003

## 9.3 Internet grafía.

1. Centro de Estudios – Universidad Católica Boliviana San Pablo. Bolivia. Web: (<http://www.ucbcba.edu.bo>). Consulta en la Wolrd Wide Web: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>  
Fecha de consulta: Octubre 2003

2. Educación Ambiental en la República Dominicana – J. E. Marcano. Republica Dominicana. Web: (<http://www.jmarcano.com>). Consulta en la Wolrd Wide Web: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf4.html>  
Fecha de consulta: Octubre 2003

## 9.4 Periódico grafía.

3. Artículo del periódico Listín Diario del 5 de septiembre del 2000. Autor: Eleuterio Martínez.

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA  
Vicerrectoría de Desarrollo e Investigación

PROGRAMA POSTGRADO EN ING. SANITARIA Y AMBIENTAL

MENCIÓN MAESTRÍA EN ING. AMBIENTAL

EVALUACIÓN FINAL DEL PROYECTO DE TESIS

SUSTENTANTE

APELLIDOS: PEREZ MÁRMOL

NOMBRES: CARLOS DAVID

MATRICULA: 01-0106

NACIONALIDAD: DOMINICANA

TÍTULO DE TESIS: CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL TUNEL N 27  
FEBRENO TIZAMO CHURCHILL - LINCOLN

ASESOR (ES)

DR. PEDRO CASTILLO

FIRMA [Firma]

DR. PEDRO CASTILLO

FIRMA [Firma]

JURADOS

NOMBRE JUAN ROBERTO SORIANO

FIRMA [Firma]

NOMBRE GUAROCUYA GONZALEZ

FIRMA [Firma]

NOMBRE Indira de Jesús

FIRMA [Firma]

CALIFICACIÓN

FECHA 18 ABRIL 2005

NUMERAL

90

LITERAL

A

[Firma]  
Arq. Rogelio Batista  
Director Unidad de Post Grado

[Firma]  
Ing. Pedro Castillo  
Director Maestría Ing. Ambiental  
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA  
POSTGRADO  
DIRECCION  
PROGRAMA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
SANTO DOMINGO, D. R.