

REPUBLICA DE COLOMBIA

ESTUDIO DEL PLAN PARA EL CONTROL
DE LA POLUCION DEL AIRE EN EL AREA
DE LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTA

INVESTIGACION
Y
SERVICIOS

Febrero de 1992

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

REPUBLICA DE COLOMBIA

**ESTUDIO DEL PLAN PARA EL CONTROL
DE LA POLUCION DEL AIRE EN EL AREA
DE LA CIUDAD DE SANTAFE DE BOGOTA**

**INFORME FINAL
VOL. 4
SUMARIO**

JICA LIBRARY



1096912(9)

23505

Febrero de 1992

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

国際協力事業団

23505

Prefacio

En respuesta a la solicitud formulada por el Gobierno de la República de Colombia, el Gobierno del Japón ha decidido llevar a cabo el estudio del Plan para el Control de la Polucion del Aire en el Area de la Ciudad de Santafé de Bogotá y confió la realización del estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

JICA despachó a la República de Colombia en cinco oportunidades entre agosto de 1990 y diciembre de 1991, la misión de estudios encabezada por el Sr. Yoshikazu Sugita de Suuri-Keikaku Co., Ltd. e integrada por miembros de la misma firma y Pacific Consultants International.

La misión sostuvo una serie de reuniones con las autoridades competentes del Gobierno de la República de Colombia y realizó los estudios de campo en el area objeto del estudio. Después del regreso al Japón de dicha misión, se realizaron los trabajos pertinentes, habiendo quedado concluido el presente informe.

Deseo que este informe contribuya a la materialización del proyecto y sirva para afianzar más los lazos de amistad que unen a ambos paises.

Finalmente, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las autoridades pertinentes del Gobierno de la República de Colombia por la colaboración y apoyo brindado para la realización de este estudio.

Febrero, 1992



KENSUKE YANAGIYA

Presidente

Agencia de Cooperación Internacional del Japón

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes y objetivo del estudio	3
1.2 Resumen del estudio	4
1.3 Organización del estudio	10
2. SITUACION GENERAL DEL AREA	13
2.1 Topografía y clima	15
2.2 Socioeconomía	15
2.3 Uso de la tierra	15
2.4 Tránsito y transporte	16
2.5 Energía	16
2.6 Organización y leyes	16
3. SITUACION ACTUAL DEL MEDIO AMBIENTE	19
3.1 Meteorología	21
3.2 Concentración de calidad del aire ambiente	26
4. SITUACION ACTUAL DE LAS FUENTES GENERADORAS	35
4.1 Fábricas y establecimientos	37
4.2 Vehículos	43
4.3 Aviones	48
4.4 Fuentes domésticas	48
4.5 Resumen de las fuentes generadoras	49
5. MODELO DE SIMULACION DE DIFUSION	51
5.1 Generalidades sobre el modelo de simulación de difusión	53
5.2 Capacidad de reproducción del modelo de simulación de difusión	55
6. ESTRUCTURA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA	67
6.1 Características de la contaminación atmosférica	59
6.2 Porcentaje de contribución de las fuentes generadoras y distribución zonal de las concentraciones a través del modelo de simulación de la difusión	60
6.3 Porcentaje contribuido por la fuente generadora de las SPM de acuerdo al método CMB	64
7. PREVISION DE CONCENTRACIONES FUTURAS Y EMISION REDUCCION REQUERIDA	65
7.1 Previsión de las fuentes generadoras futuras	67
7.2 Previsión de concentraciones futuras	68
7.3 Valores objetivo del medio ambiente	69
7.4 Porcentajes de reducción requeridos	70

8. MEDIDAS DE CONTROL PARA LAS FUENTES GENERADORAS	73
8.1 Fábricas y establecimientos	75
8.1.1 Actualidad y necesidad de las medidas de control	75
8.1.2 Contenido de las medidas de control	76
8.2 Medidas para los vehículos.....	82
8.2.1 Situación actual y necesidad de medidas	82
8.2.2 Contramedidas	84
8.3 Efectos de las medidas contra para las fuentes generadoras	93
9. PROPOSICION DE LAS PAUTAS SOBRE LAS MEDIDAS A ADOPTARSE	99
9.1 Metas	101
9.1.1 Criterios básicos	101
9.1.2 Metas del plan	102
9.1.3 Metas de reducción de substancias contaminantes	102
9.2 Plan de ejecución	103
9.2.1 Descripción general de las medidas	103
9.2.2 Gastos de las medidas	109
9.2.3 Promoción del plan	110
9.3 Resumen	112

1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes y objetivo del estudio

(1) Antecedentes del estudio

En la ciudad de Santafé de Bogotá D.C., capital de la República de Colombia, la contaminación del aire está avanzando año tras año como consecuencia de la incrementada emisión de contaminantes por parte de vehículos automotores y fábricas. Aquí la contaminación ha empeorado por causa de factores meteorológicos provocados por su condición topográfica, al estar situada la ciudad en una depresión montañosa a 2.600m sobre el nivel del mar. Dada esa situación, la Secretaría Distrital de Salud de la ciudad de Santafé de Bogotá comenzó en 1984 a medir la concentración de la contaminación atmosférica en el medio ambiente con un sistema de monitoreo semi-automático, tomando medidas para el control de la contaminación del aire. No obstante, dado el estado actual, no se ha establecido un sistema de organización de los datos básicos indispensables recolectados para poner en vigor medidas que controlen la contaminación del aire.

La República de Colombia decidió entonces establecer un plan de control de la contaminación que incluyera un estudio del actual estado de la polución en el medio ambiente y del origen de esa polución, las medidas contra esas fuentes contaminantes, mejoras en el sistema de monitoreo, y un sistema de información sobre el ambiente. En febrero de 1988, el gobierno de Colombia solicitó al gobierno del Japón que le extendiera la cooperación técnica para el estudio de medidas para el control de la contaminación del aire.

En respuesta a ello, el Japón despachó a la República Colombia un grupo preliminar del estudio en enero de 1989, y determinó el alcance del trabajo a realizar mediante discusiones con las autoridades colombianas correspondientes. Dicho estudio se efectuó entre julio de 1990 y febrero de 1992. El contenido de ese estudio está resumido en este informe.

(2) Objetivo del estudio

El objetivo del estudio fue investigar y analizar las condiciones de la contaminación del aire, de la meteorología, de las fuentes generadoras del aire, las condiciones socio-económicas y las medidas para controlar la polución atmosférica en la ciudad de Santafé de Bogotá, en base a las cuales se pudieran proponer directivas que llevaran a tales medidas de control de la contaminación en el lugar. Y a través de este estudio, el grupo investigador tuvo la intención de transferir tecnología a sus contrapartes colombianas con relación a varios estudios, análisis y medidas de control de la contaminación atmosférica.

1.2 Resumen del estudio

(1) Alcance del estudio

Como se muestra en la Figura 1.2.1, el área del estudio está bajo la jurisdicción de la Secretaría Distrital de la ciudad de Santafé de Bogotá, cubriendo unos 40km de norte a sur y 25km de este a oeste, dentro de la cual se incluye la zona urbana de la ciudad de Bogotá.



Fig. 1.2.1 Area del estudio ()

El presente estudio fue realizado en la ciudad de Santafé de Bogotá y en Japón. Como se puede ver en la Figura 1.2.2, el estudio incluye el estudio básico y el estudio analítico. Su descripción está detallada a continuación.

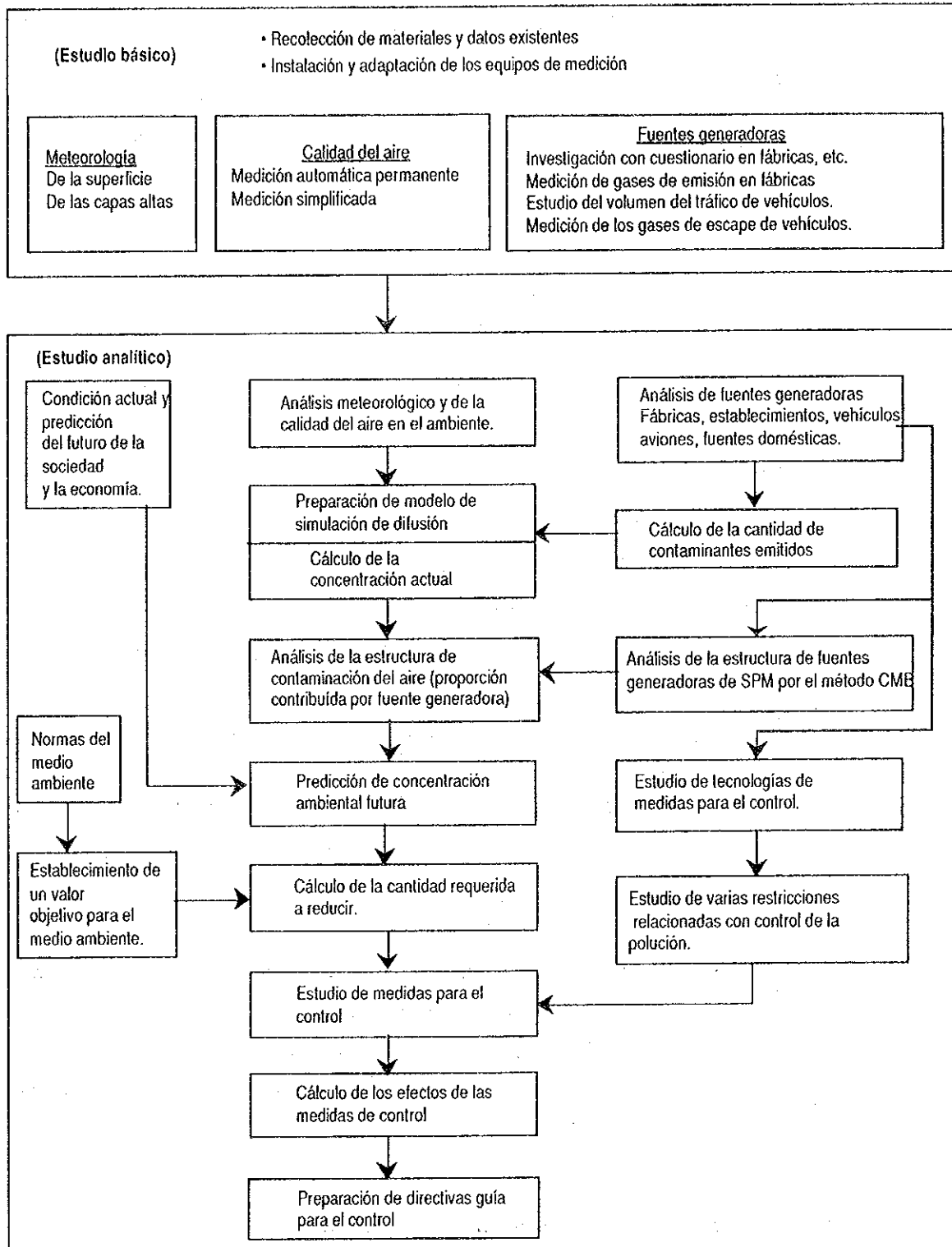


Fig. 1.2.2 Resumen del estudio

1) Estudio básico

a) Recolección de los materiales y datos existentes.

- Meteorología, clima, calidad del aire
- Condiciones socio-económicas leyes, reglamentos, normas, etc.
- Medidas de control de las fuentes generadoras
- Vehículos automotores, aviones, fábricas, establecimientos y fuentes domésticas

b) Instalación y adaptación de equipos de medición

- Puesto de monitoreo (5 estaciones)
- Meteorología de las capas altas
- Vehículo de medición de los gases de combustión en fábricas y vehículo de medición de los gases de los escapes de vehículos

c) Investigación en el sitio

- Meteorología
Observación de la meteorología de superficie y de las capas altas.
- Calidad del aire en el ambiente
 - Medición del SO₂, NO, NO₂, SPM, CO, NMHC, THC, O₃, empleando 5 puestos de monitoreo.
 - Medición y análisis de las partículas por tamaño y análisis de los metales pesados.
 - Medición del SO₂, NO₂, NO_x, CO a través del método simplificado.
- Fuentes generadoras
 - Investigación en fábricas usando cuestionarios y medición del gas de combustión en fábricas.
 - Examen del volumen del tráfico y la velocidad de conducción y medición de los gases de escape de los vehículos
 - Análisis del azufre presente en los combustibles.
 - Análisis de los componentes de los metales pesados en las capas superficiales del suelo.

2) Estudio analítico

a) Análisis de las condiciones sociales y económicas

- Sociedad, economía, uso de la tierra, tráfico, transporte, energía, leyes, reglamentos, normas, organización administrativa

- b) Análisis de datos meteorológicos
 - Meteorología de superficie y de las capas altas
- c) Análisis de la calidad del aire en el ambiente
 - Puesto de monitoreo
 - Método simplificado
- d) Análisis de las fuentes generadoras
 - Fábricas, establecimientos, vehículos, aviones y fuentes domésticas.
- e) Preparación de un modelo de simulación de difusión del aire y análisis de la estructura de la contaminación del aire.
 - Simulación de difusión del aire para el SO₂, NO_x, NO₂ y el CO.
 - Contribución de las fuentes generadoras
 - Contribución de las SPM por el Método Químico del Equilibrio de la Masa.
- f) Predicción de la concentración de contaminantes y cantidad requerida a reducir
 - Predicción de la emisión de contaminantes en el aire de diversas fuentes.
 - Predicción de la concentración del aire en el ambiente
 - Valor previsto para el medio ambiente
 - Cantidad de contaminantes a reducir en el aire
- g) Estudio de medidas de control de las fuentes generadoras de contaminantes en el ambiente y sus efectos.
 - Medidas de control contra los gases emitidos por las fábricas.
 - Medidas de control contra los gases de los vehículos.
 - Predicción de los efectos de las medidas de control.
- h) Establecimiento de directivas guía para el plan de control de la contaminación ambiental.
 - Objetivos.
 - Plan de implementación.
 - Conclusión.

(2) Programa del estudio

El estudio se realizó desde julio de 1990 hasta febrero de 1992. El programa del estudio está detallado en la Figura 1.2.3.

(3) Transferencia de tecnología.

El equipo del estudio logró transferir la tecnología necesaria a sus contrapartes de la ciudad de Santafé de Bogotá en lo concerniente a los conocimientos fundamentales de medición, métodos de medición y la técnica del mantenimiento de equipos durante las mediciones meteorológicas, de la calidad del aire en el ambiente y de las fuentes generadoras de contaminación.

La transferencia de tecnología también se efectuó con respecto a la técnica del análisis de datos medidos a través de la explicación analítica de los resultados. El contenido de la transferencia tecnológica se describe a continuación:

- Observación meteorológica.
 - Meteorología de superficie.
 - Meteorología de las capas altas.
- Medición y análisis de la calidad del aire en el ambiente.
 - Medición permanente en el puesto de monitoreo (SO₂, NO, NO₂, NO_x, SPM, CO, NMHC, THC, O₃).
 - Medición y análisis a través del método simplificado en un área amplia y alrededor de los caminos (SO₂, NO, NO₂, CO).
 - Medición y análisis de partículas suspendidas (SP) según su tamaño usando el muestreador de gran volumen de aire Andersen.
 - Muestreo usando el muestreador de pequeño volumen y análisis de los metales pesados mediante el espectro atómico de la absorción.
- Medición de las fuentes generadoras.
 - Investigación en fábricas usando cuestionarios y medición de los gases de combustibles fabriles.
 - Medición de los gases de escape de los vehículos.
 - Estudio del volumen del tráfico y de la velocidad de conducción.
- Estudio analítico.
 - Meteorología, calidad del aire en el ambiente, fuentes generadoras de polución.
 - Modelo de simulación de difusión del aire.
 - Medidas de control de la contaminación del aire.
 - Estudio de directivas guía

Tema de estudio		Año	1990					1991					1992										
		Mes	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
Estudio básico	Recolección de datos existentes			█	█	█	█									█							
	Instalación y adaptación de equipos de medición		█			█	█																
	Meteorología	Meteorología de superficie																					
		Meteorología de capas altas			█	█			█					█									
	Calidad del aire en el ambiente	Medición permanente																					
		Medición de metales pesados																					
		Distribución de partículas por tamaño			█	█	█		█				█										
		Medición simplificada				█	█		█				█										
	Fuentes fijas	Cuestionarios en fábricas		█	█	█																	
		Medición de gases combustibles en fábricas				█	█		█	█													
	Fuentes móviles	Estudio del volumen del tráfico				█																	
Volumen del tráfico mediante foto aérea					█	█	█	█															
Medición de los gases de escapes											█												
Estudio analítico	Condiciones sociales y económicas						█					█											
	Calidad meteorológica y del aire en el ambiente					█			█				█			█							
	Análisis de fuentes generadoras de contaminantes del aire																						
	Modelo de simulación de difusión del aire y																						
	Análisis de la estructura de polución del aire																						
	Estimación de la calidad futura del aire en el ambiente y cantidad reducida																						
	Estudio de medidas de control de las fuentes generadoras de contaminación del aire y sus efectos																						
	Presentación de directivas guía																						
Preparación de un informe		█			█		█									█		█					
Presentación del informe		△			△		△									△		△					
			IC/R				PI/R																

Fig. 1.2.3 Programa del tiempo para este estudio

1.3 Organización del estudio

(1) Organización de la Secretaría Distrital de Salud de Santafé de Bogotá D.C.

Para realizar este estudio, la Secretaría Distrital de Salud de. Santafé de Bogotá D.C. estableció un grupo de contrapartes encabezado por el Dr. Edgar Camilo Luengas Pinzón, Jefe de la División de Protección Ambiental de la Secretaría Distrital de Salud de Santafé de Bogotá, D.C. Los miembros que lo componían son citados en el Tabla 1.3.1.

Tabla 1.3.1 Miembros del grupo de contrapartes

Campo	Temas a cargo	Nombre
Supervisión	Todo el estudio	ING. EDGAR CAMILO LUENGAS PINZON
Análisis socio-económico	Estado actual de la sociedad y economía y el plan urbano	TEC. JAIME MERCHAN PULIDO
Medición meteorológica	Medición meteorológica de superficie y capas altas	TEC. JOSE ARDILA MORENO TEC. JAIME MERCHAN PULIDO
Medición de concentración de la calidad del aire	Medición en puntos estacionarios y medición simplificada	ING. CESAR A. GARCIA UBAQUE TEC. MIGUEL ANTONIO CARO TEC. JAIRO TELLEZ BALEN
Análisis químico de la calidad del aire	Análisis químico y muestras	ING. MAURICIO DIAZ ZAPATA ING. EDGAR BELTRAN
Fuente estacionaria	Medición y análisis de fuentes estacionarias	TEC. HERNAN G. PATIÑO GARZON TEC. DIEGO RAYO ANTURY TEC. RICARDO CEBALLOS QUINTERO
Medición de fuente móvil	Medición y análisis de fuentes móviles	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ TEC. ANGELA GOMEZ FORERO TEC. ERNESTO HERRAN PRIETO TEC. JAIME MERCHAN PULIDO
Modelo y simulacro	Análisis de simulacros	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ
Control de la fuente de polución	Control de fuentes estacionarias y móviles	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ TEC. HERNAN G. PATIÑO GARZON
Preparación de directivas guía	Preparación de medidas del control de contaminación del aire	ING. EDGAR CAMILO LUENGAS PINZON

(2) Organización japonesa

La organización japonesa del estudio estuvo conformada por un Comité Asesor y el Equipo de Estudio organizado por Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Los miembros del Comité Asesor y del Equipo de Estudio indican en las Tabla 1.3.2 y 1.3.3 respectivamente.

Tabla 1.3.2 Miembros del Comité Asesor

Nombre	Sector a su cargo	Puesto actual	Observaciones
Tomokazu Okumura	Chairman, Supervisión General	Jefe de la División de Planeamiento, Oficina de Coordinación y Planeamiento, Agencia de Medio Ambiente	Julio, 1990 ~
Kenzi Kazuno	Medición de las Fuentes Contaminantes	Miembro de la Sección Control de Contaminación del Aire, Oficina de Protección del Ambiente, Ciudad de Yokohama	Julio, 1990 ~
Gen Inoue	Análisis de la Contaminación del Aire	Jefe de la Sección de Medición Atmosférica, División del Ambiente Atmosférico, Instituto Nacional para Estudios Ambientales	Julio, 1990 ~
Satoru Mizuno	Control de las Fuentes Estacionaria	Jefe de la Sección de Control de la Contaminación Total, División Control de la Contaminación del Aire, Oficina de la Calidad del Aire, Agencia de Medio Ambiente	Julio, 1990 ~ Agosto, 1991
Takashi Shimodaira	Control de las Fuentes Estacionaria	Jefe de la División de Control de la Contaminación Automotriz, Oficina de la Calidad del Aire, Agencia de Medio Ambiente	Sept, 1991 ~
Shinsuke Unisuga	Control de las Fuentes Móviles	Jefe de Sección, División Control de la Contaminación Automotriz, Oficina de la Calidad del Aire, Agencia de Medio Ambiente	Julio, 1990 ~ Julio, 1991
Motoharu Yamazaki	Control de las Fuentes Móviles	Jefe de Sección, División Control de la Contaminación Automotriz, Oficina de la Calidad del Aire, Agencia de Medio Ambiente.	Agosto 1991 ~

Tabla 1.3.3 Miembros del Equipo de Estudio

Nombre	Sección a su cargo
Yoshikazu Sugita	Supervisión general
Nobuo Araki	Análisis meteorológico y de la calidad del aire
Makoto Miyakawa	Análisis de las fuentes contaminantes
Haruo Kikuchi	Análisis de simulación y modelo
Kihachiro Urushibata	Planeamiento del Control de la Contaminación del Aire
Shinzo Hirasawa	Control de las fuentes estacionarias
Masaaki Noguchi	Control de las fuentes móviles
Yutaka Nozaki	Análisis socioeconómico
Masanori Fuzikawa	Medición meteorológica
Yoichiro Okayama	Monitoreo de la calidad del aire
Kazuo Watanabe	Investigación de las fuentes estacionarias
Tsutomu Kurihara	Investigación de las fuentes móviles
Nobumasa Morita	Mantenimiento de equipos

2. SITUACION GENERAL DEL AREA

2. SITUACION GENERAL DEL AREA

2.1 Topografía y clima

La ciudad de Santafé de Bogotá (la Ciudad) se encuentra aproximadamente a 2.600 m de altura al sureste de un altiplano de sábana de Bogotá y en la parte este se extiende la cordillera oriental, que tiene 500m más con alturas del orden de los 3.000 m.

El clima de la Ciudad, al encontrarse en un altiplano de 2.600 m sobre el nivel del mar, registra una temperatura media anual de 14°C, a pesar de estar ubicada en una latitud próxima interior al ecuador, dentro del clima de montaña tropical, pertenece al clima húmedo de tierras templadas y frías. La variación de la temperatura en las estaciones es pequeña, teniendo dos épocas de lluvia. Además se caracteriza por tener vientos débiles con una velocidad media anual de 1.9 m/s.

2.2 Socioeconomía

En 1985, Bogotá D.E. (con 1.587 km² de superficie) registró una población de aproximadamente 4.236.000 habitantes, que representa el 14,1% de la población de Colombia. En cuanto a la Ciudad (con una superficie de 311 km²) tiene una población de 3.950.000 habitantes, ha registrado un aumento del 4,7% en los últimos 4 años, cuya mayor parte tuvo lugar en la parte sur y norte, mostrando una disminución la parte central, o sea el fenómeno de rosquilla.

Al observar la estructura industrial de la Ciudad según el PIB, la industria terciaria representa el 71% con alto desarrollo de los campos de comercialización, transporte y comunicaciones. La industria secundaria es del 29%, entre las cuales la industria manufacturera representa alrededor del 22%. Dentro de las industrias manufactureras, es grande la proporción de las industrias de alimentos, química caucho, textil, maquinarias y materiales de transporte. Además, el crecimiento real es de aproximadamente 5%.

2.3 Uso de la tierra

En la Ciudad se distribuyen las tierras residenciales en la parte norte y sur, mientras que la parte central corresponde a tierras para instalaciones de actividades del área metropolitana y la parte oeste corresponde a tierras agrícolas. En cuanto a la zona industrial, se encuentra ubicada en la parte oeste, próxima a la parte central y en la parte sur. El coeficiente de urbanización de la parte central es alto y el desarrollo urbano se está extendiendo hacia las tierras agrícolas de los suburbios.

2.4 Tránsito y transporte

Los caminos principales de la Ciudad son de trazado paralelo y perpendicular a la cordillera del este, además posee 3 vías de circunclación. Entre ellos, la Avenida Caracas es la más importante.

El medio de transporte más utilizado por el habitante de la Ciudad es el motorizado. La proporción de buses y busetas, como medios de transporte masivo representa el 75%. Aparte del bus y buseta sólo existe el trolebús como otro medio de transporte masivo.

En 1991, el parque automotor de Bogotá D.E. fue aproximadamente de 350.000 unidades, correspondiendo el 63% a los automóviles, el 14% a camionetas, el 11% a camperos y el 5% a buses. La cantidad de unidades por habitante es de 6.8 unidades por 100 personas y el crecimiento del parque automotor en los últimos 5 años ha registrado un alto valor, con un promedio de 7.9% anual, sobrepasando el crecimiento de la población.

La cantidad de vehículos tales como el bus y buseta utilizados para el transporte público es de aproximadamente 14.000 unidades, cuyos servicios son prestados por la municipalidad y por 39 empresas privadas. El número de líneas es de 450, de los cuales 268 atraviesan el centro de la Ciudad. La cantidad de pasajeros transportados es de 2,5 millones de personas diarias y el aumento anual es aproximadamente 3%.

El porcentaje y los modelos de los vehículos en circulación, son el 23% de más de 20 años, el 70% entre los 10 y 20 años, lo cual indica con una alta proporción de vehículos viejos. Además, en la parte oeste de la Ciudad se encuentra el aeropuerto de El Dorado, donde operan líneas internacionales y domésticas. Registra aterrizajes y despegues diarios de aproximadamente 170 veces; dentro de éstos, los de los grandes aviones jet para pasajeros son de 90 veces por día.

2.5 Energía

Los principales combustibles para la energía industrial son el carbón y el petróleo crudo (crudo de castilla). La mayor parte del consumo de la energía hogareña es para la cocina y agua caliente.

2.6 Organización y leyes

La organización nacional para la prevención de la contaminación atmosférica está a cargo del Ministerio de Salud y el Servicio Seccional de Salud del Sistema Nacional de Salud, y cumple las tareas prácticas en sus respectivos departamentos. En la Ciudad está a cargo la Secretaría Distrital de Salud.

Como leyes relativas a la contaminación atmosférica, fue publicado el Decreto Ley N°

2 en 1982 y el N° 2206 en 1983, basados en la Ley de Saneamiento en 1979 (ordenamiento N° 9). El primero establece las normas del medio ambiente sobre la contaminación atmosférica (SO₂, NO₂, SP, CO, O₃) y las normas de emisión de gases de las fábricas y los reglamentos correspondientes.

Para llevar a cabo esas normas, la Sección de Protección del Ambiente de la Ciudad determinó la concentración de la contaminación atmosférica en 13 puntos desde 1984. Asimismo, se midió la cantidad de polvo de gases emitidos por las fábricas.

3. SITUACION ACTUAL DEL MEDIO AMBIENTE

3. SITUACION ACTUAL DEL MEDIO AMBIENTE

En la Ciudad, los resultados medidos desde el otoño de 1990 hasta el verano de 1991, en términos de meteorología y calidad del aire, se ha encontrado lo siguiente:

3.1 Meteorología

(1) Meteorología terrestre

En lo referente a la meteorología terrestre, según los resultados medidos con respecto a la dirección del viento y de su velocidad, en los cinco sitios mostrados en la Figura 3.1.1, la velocidad media del viento es débil, entre 1,9 m/s a 2,5 m/s, y en particular, se nota una tendencia a disminuir en las zonas urbanas del lado este del área. Además, analizando los cambios horarios de la velocidad del viento, vemos que se debilita desde las 8 de la noche hasta las 8 de la madrugada, recobrando fuerzas gradualmente desde la mañana, que resulta más débil con un pico hacia las 2 de la tarde. Hay también cambios mensuales, y durante el período de medición fue débil en el mes de marzo y fuerte en los meses de febrero y agosto en todos los sitios. La dirección del viento en el sitio de medición, localizado en la parte central de la Ciudad, no tuvo un cambio notorio, sin embargo, se destaca el viento desde el sur en los sitios de El Tunal y San Juan de Dios, que se encuentran en la parte meridional.

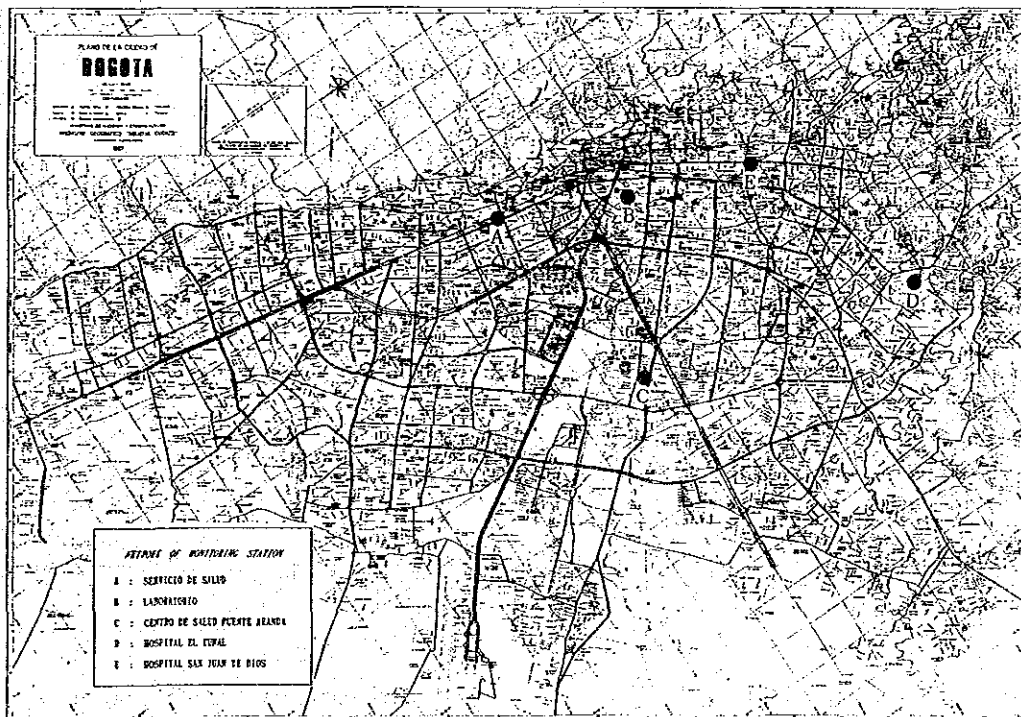
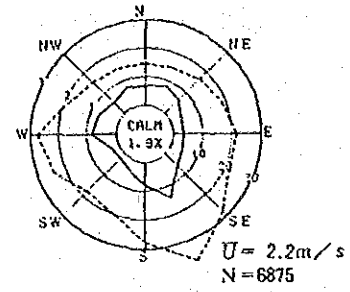
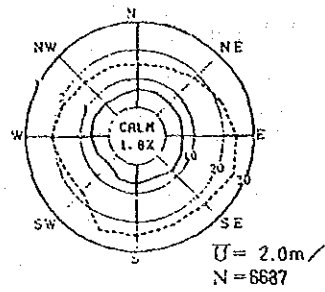
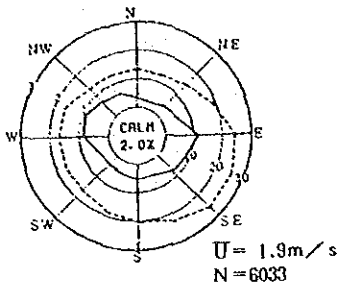


Fig. 3.1.1 Sitios de Monitoreo

A: Servicio de Salud

B: Laboratorio

C: Puente Aranda



D: El Tunal

E: San Juan de Dios

— Porcentaje de la dirección del viento (%)
 - - - Promedio de la velocidad del viento (m/s)

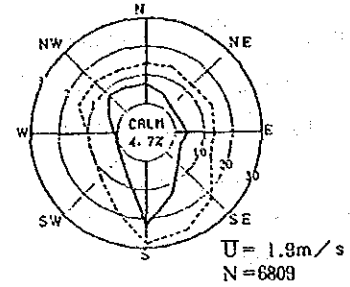
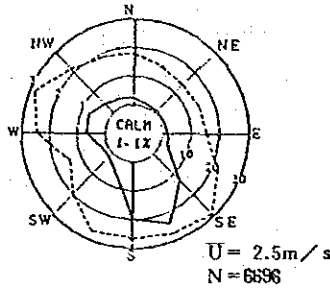


Fig. 3.1.2 Rosa de los vientos

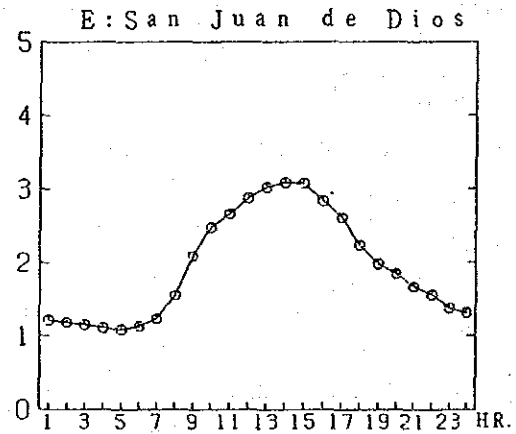
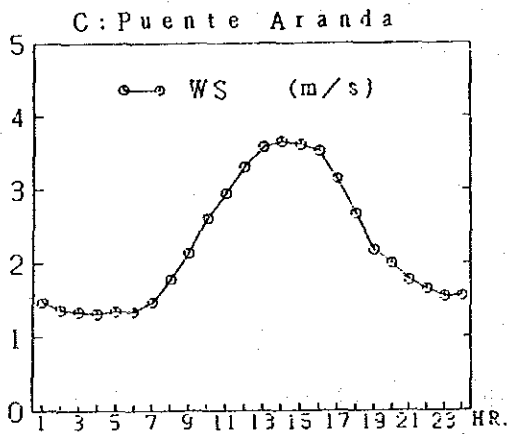


Fig. 3.1.3 Cambio horario de la velocidad del viento

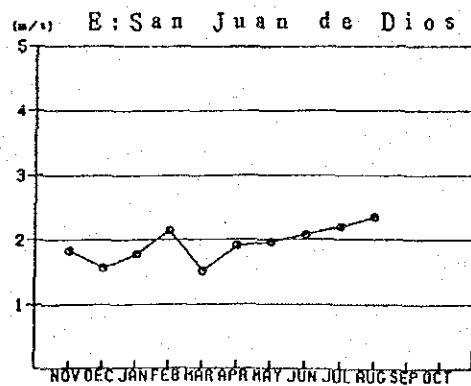
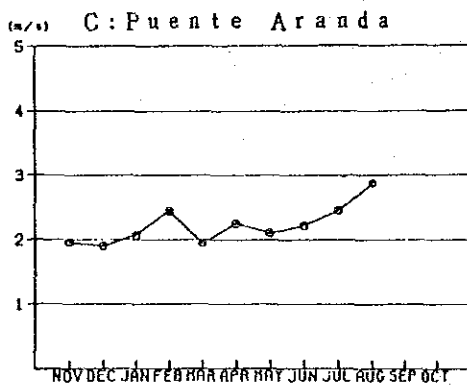


Fig. 3.1.4 Cambio mensual de la velocidad del viento

(2) Meteorología de capas altas

Con respecto a la observación meteorológica de la atmósfera superior en el sitio del Hospital Simón Bolívar, según resultados obtenidos en un total de cuatro ocasiones (una semana por vez), la distribución vertical de la velocidad del viento durante el período de medición mostró una velocidad del viento fuerte entre 150m y 300m de altitud, y sobre esta altitud se notó una tendencia estable. Al respecto, la velocidad media del viento a los 500m de la atmósfera superior es de 3,5 m/s, que no es una velocidad de viento demasiado fuerte en comparación con la de 2,2 m/s de la superficie terrestre.

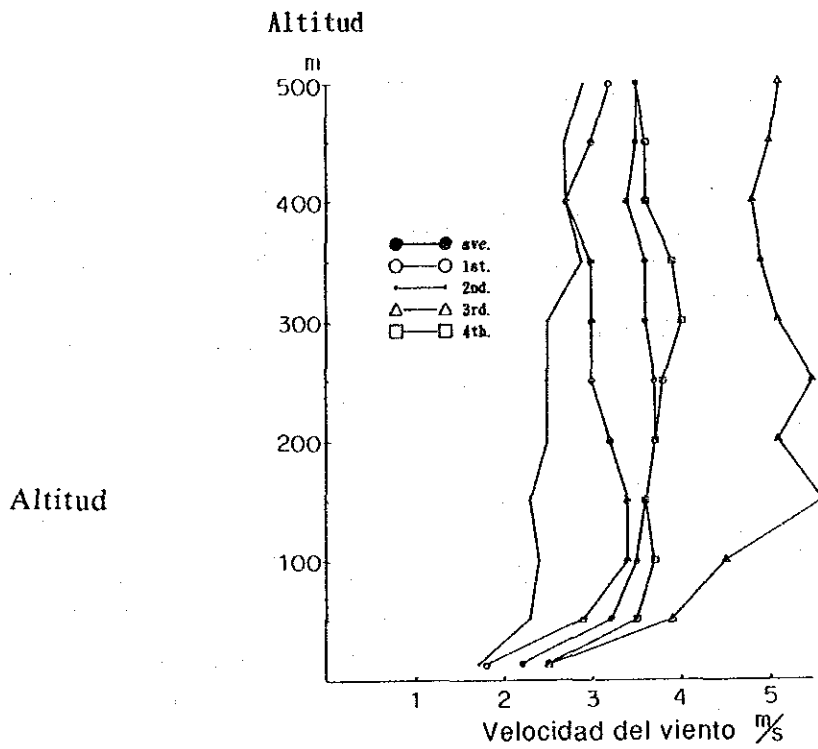


Fig. 3.1 5 Configuración de la velocidad del viento

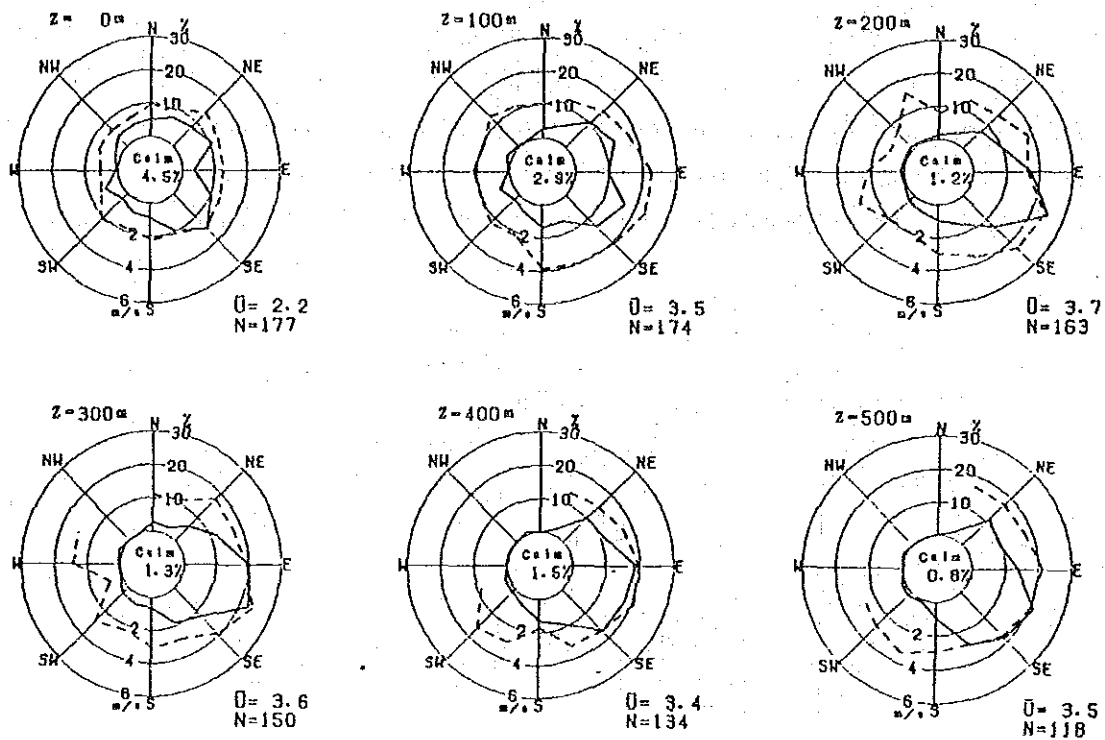


Fig. 3.1.6 Rosa de los vientos de las capas altas

La Figura 3.1.6 muestra el diagrama de vientos reinantes según la altitud, que tiene el viento del este, desde la superficie de la tierra hasta los 500m de altitud, y las variaciones de la dirección del viento según la altitud son pequeñas, tal como lo indican los datos obtenidos.

Al respecto, la frecuencia de la aparición en la reversión de la tierra fue de 10 veces en 146 horas de observación, representando el 7%. La Figura 3.1.7 es un ejemplo de reversión aproximada a los 200 m de distribución de la perpendicularidad de la temperatura. Además, las frecuencias de aparición de las zonas reversoras superior e inferior, fijando los 100m de altitud como norma, fueron valores menores de los 5 veces y 10 veces.

Meteorología de las capas altas

Puesto de observación: Simón Bolívar (U.L.) Fecha: 1990-12-1

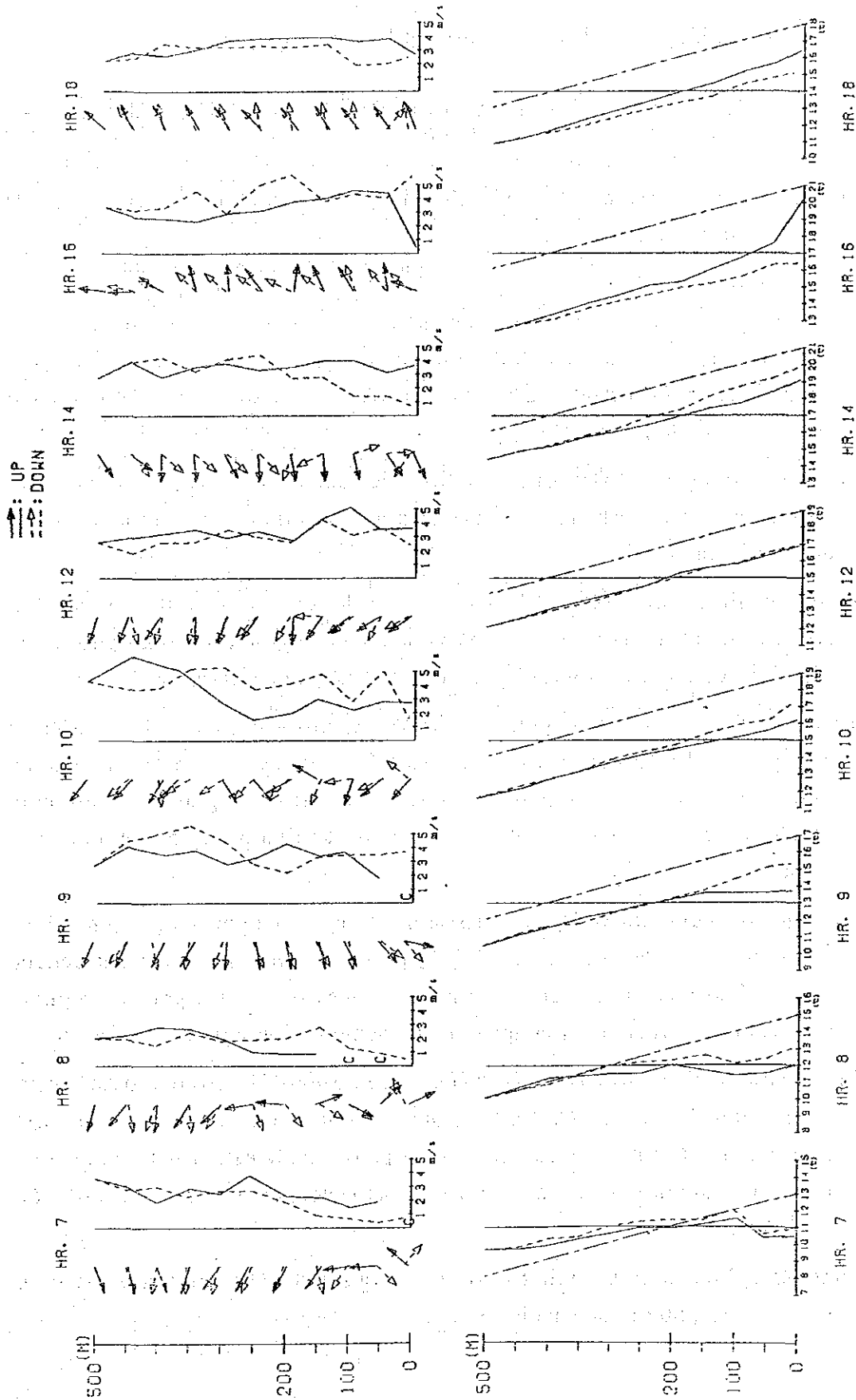


Fig. 3.1.7 Ejemplos de Inversion altas
(Dirección del viento, velocidad del viento, temperatura)

3.2 Concentración de calidad del aire ambiente

(1) Situación actual de la concentración de calidad del aire ambiente

En la Tabla 3.2.1 se muestran las concentraciones de SO₂, NO₂, NO_x, SPM, CO, NMHC y O₃, medidas a partir del mes de noviembre de 1990 hasta el mes de agosto de 1991, en las cinco estaciones de monitoreo.

Dióxido de azufre (SO₂): La concentración promedia es de 7,0 ppb a 25,2 ppb.

La concentración es más alta en la estación E que se encuentra a lo largo del camino, seguida por los 22,9 ppb de la estación C, que indica una concentración un poco alta. Las estaciones A, B y D indican concentraciones relativamente bajas.

Dióxido de nitrógeno (NO₂): El promedio es de 16,5 ppb a 33,3 ppb. La estación

E es la más alta, la estación D es la más baja, y es notable la diferencia zonal de concentración.

Oxidos de nitrógeno (NO_x): El promedio es de 27,1 ppb a 101,2 ppb. La

concentración de la estación E es la más alta, seguida por 60,4 ppb de la estación A. Las estaciones B y D son de bajas concentraciones.

Materia de partículas en suspensión (SPM): El promedio es de 43,3 µg/m³ a

70,2 µg/m³. La concentración de la estación C, que se encuentra en la zona industrial, es la más alta, pero la diferencia zonal no es grande, resultando niveles de concentración relativamente altos de 40 a 60 µg/m³ en todas las zonas.

Monóxido de carbono (CO): El promedio es de 1,5 ppm a 8,5 ppm. Las

concentraciones de las estaciones E y A, que se encuentran en la circunferencia vial, son las más altas, y en las otras estaciones son de 1,5 ppm a 2,3 ppm, y estas concentraciones son aproximadamente el doble de las de Tokio.

Hidrocarburo no metánico (NMHC: HC No Metanico): El promedio está entre

los 1,9 ppmC a 2,7 ppmC. En la estación E que se encuentra a lo largo del camino, la concentración es alta con 2,7 ppmC, en la estación C, en la zona industrial, también es alta de 1,9 ppmC, unas 4 veces el nivel de concentración de Tokio.

Ozono (O₃): Los valores máximos por una hora son de 114 ppb (en la estación

E) y de 123 ppb (en la estación C).

(2) Situación actual de conformidad con la norma del medio ambiente

Comparando las concentraciones medidas con las normas existentes para el ambiente en Colombia, se verifica que los niveles de CO y O₃ difieren notablemente.

SO₂: Los valores de referencia tomados son promedio por tres horas, promedio diario y promedio anual, estando todos conforme a las normas establecidas.

NO₂: El valor de referencia del promedio anual es de 53,2 ppb, el más alto en la estación E es de 33,3 ppb, y están de conformidad en todas las estaciones.

SPM: Si la concentración medida (SPM) se compara con el valor de referencia (SP), se verifica que hay conformidad, tanto en el promedio diario como en el promedio anual, pero no son bajos los niveles de concentración de dichas estaciones.

CO: En cuanto al promedio por ocho horas (13,1 ppm de valor de referencia), las dos estaciones A y E están en disconformidad. Las otras tres estaciones y el valor por una hora están en conformidad totalmente.

O₃: El O₃ se ha medido tanto en la estación C como en la estación E y ambos están en disconformidad. Los porcentajes excedentes con respecto al valor de referencia (86,6 ppb) son 0,4% y 0,2%, respectivamente.

Tabla 3.2.1 Resultado de la medición de la calidad del aire en el ambiente
(desde noviembre de 1990 hasta agosto de 1991)

Unidad: ppb

SO₂

Lugar de medición	Períod (hora)	Promedio anual (38.2)	Promedio máx. diario(152.8)	Promedio máx. de 3 horas(573.1)	Valor máx. horario
(A) Servicio de Salud	5513	7.0	20.7	57.3	71
(B) Laboratorio	6248	9.9	29.7	77.7	90
(C) Puente Aranda	6419	22.9	57.9	81.3	89
(D) El Tunal	6008	8.6	20.7	59.0	73
(E) San Juan de Dios	6502	25.2	42.7	95.0	147

Nota: () es el valor norma de la calidad del aire en el ambiente

Unidad: ppb

NO₂, NO_x

Lugar de medición	Períod (hora)	NO ₂		NO _x	
		Promedio anual (53.2)	Valor máx. horario	Promedio anual	Valor máx. horario
(A) Servicio de Salud	6478	27.2	215	60.4	331
(B) Laboratorio	6212	20.2	144	27.4	212
(C) Puente Aranda	6488	23.2	132	39.2	245
(D) El Tunal	6153	16.5	139	27.1	258
(E) San Juan de Dios	6102	33.3	282	101.2	344

Unidad: µg/m³

SPM

Lugar de medición	Períod (hora)	Promedio anual (100)	Promedio máx. diario(400)	Valor máx. horario
(A) Servicio de Salud	6502	53.1	175.2	387
(B) Laboratorio	5612	43.3	110.6	397
(C) Puente Aranda	5415	70.2	147.4	322
(D) El Tunal	6669	59.1	160.0	567
(E) San Juan de Dios	5845	62.2	172.5	575

Unidad: ppm

CO

Lugar de medición	Períod (hora)	Promedio anual	Promedio máx. de 3 horas(13.1)	Valor máx. horario (43.7)
(A) Servicio de Salud	4973	4.7	17.8 [1.4%]	23.9
(B) Laboratorio	5292	2.3	10.8	16.3
(C) Puente Aranda	5755	2.0	10.2	19.3
(D) El Tunal	5647	1.5	5.0	9.9
(E) San Juan de Dios	6422	8.5	23.6 [13.0%]	29.5

Nota: () es el porcentaje excedente respecto al valor norma

Unidad: ppmC

NMHC, THC

Lugar de medición	Períod (hora)	n-CH ₄		Total HC	
		Promedio anual	Promedio máx. de 6 - 9 horas	Promedio anual	Valor máx. horario
(C) Puente Aranda	4164	1.9	2.6	3.9	15.3
(E) San Juan de Dios	4451	2.7	4.3	4.7	13.3

Unidad: ppb

O₃

Lugar de medición	Períod (hora)	Promedio anual	Valor máx. horario (86.6)
(C) Puente Aranda	6153	10.7	123 [0.4%]
(E) San Juan de Dios	3716	6.7	114 [0.2%]

Nota: () es el porcentaje excedente respecto al valor norma

(3) Cambios horarios de la concentración

La Figura 3.2.1 muestra los cambios horarios de las concentraciones de calidad del aire en el ambiente. Según este resultado, todos los niveles indican en los modelos una concentración pico por la mañana. En particular, los resultados de los modelos para el CO y NOx son muy similares, y ambas tienen las mismas fuentes principales generadoras. La hora de aparición de la concentración pico del O₃ es a las 10 horas; ésta tarda unas 2 horas en comparación con aquéllas para el CO y NOx. Además, se ve una tendencia a la baja en la concentración por la tarde, cuando se supone que por la tarde la velocidad del viento es más fuerte, tal como se muestra en la Figura 3.1.3.

(4) Cambios mensuales de la concentración

La Figura 3.2.2 muestra los cambios mensuales de la concentración. Se ve una tendencia en que la contaminación ambiental en su mayor parte baja en febrero y sube en marzo, con excepción del O₃. Esta tendencia corresponde con la alta velocidad del viento en febrero y la baja velocidad en marzo, debido a los cambios mensuales producidos en la velocidad del viento y mostrados en la Figura 3.1.4 arriba mencionada. Además, para el O₃ se ve una tendencia de alta concentración en el período de enero a abril.

(5) Distribución zonal de la concentración

La Figura 3.2.3 muestra los resultados de la medición y análisis de la concentración del SOx (por el período de un mes) mediante el método de la medición simplificada (PbO₂), y las concentraciones de NO₂ y NOx por el método de placa de NO₂ en los 50 puntos urbanos.

En lo que se refiere a la distribución zonal de la concentración de SO₂, se ve una tendencia de alta concentración desde los alrededores de la parte central de la Ciudad extendiéndose a la parte suroeste, por influencia de las fábricas existentes en esa zona.

La concentración del NO₂ tiene una alta tendencia en la parte central de la Ciudad. El NO tiene una tendencia alta en el área de los caminos principales. Además, la proporción NO₂/NOx es pequeña, aproximadamente de 0,3, y se supone que se debe a la influencia ejercida por el gas de escape de los vehículos.

(6) Distribución de concentración en las áreas viales

Se realizaron mediciones de la concentración de CO y NOx en las áreas viales por el método de tubos detectores, que es el método de medición simple. Se comprobó que la concentración de CO y NOx en los extremos viales extiende su influencia desde los caminos hasta aproximadamente unos 40m. en sus alrededores.

(7) Distribución de las partículas en suspensión (SP) por tamaño

La Figura 3.2.4 muestra la distribución de las partículas del SP por tamaño y cuyos datos fueron obtenidos en la estación de monitoreo de Puente Aranda ubicada en zona industrial. Según este resultado, con un porcentaje menor de $7,0 \mu\text{m}$, se dice que tiene una fuerte influencia sobre el cuerpo humano, es el 50% al 60% a excepción del mes de noviembre de 1990. Además, el porcentaje menor de $1,0 \mu\text{m}$, el cual se dice que es de origen artificial, ocupa una gran parte, un 30% aproximado.

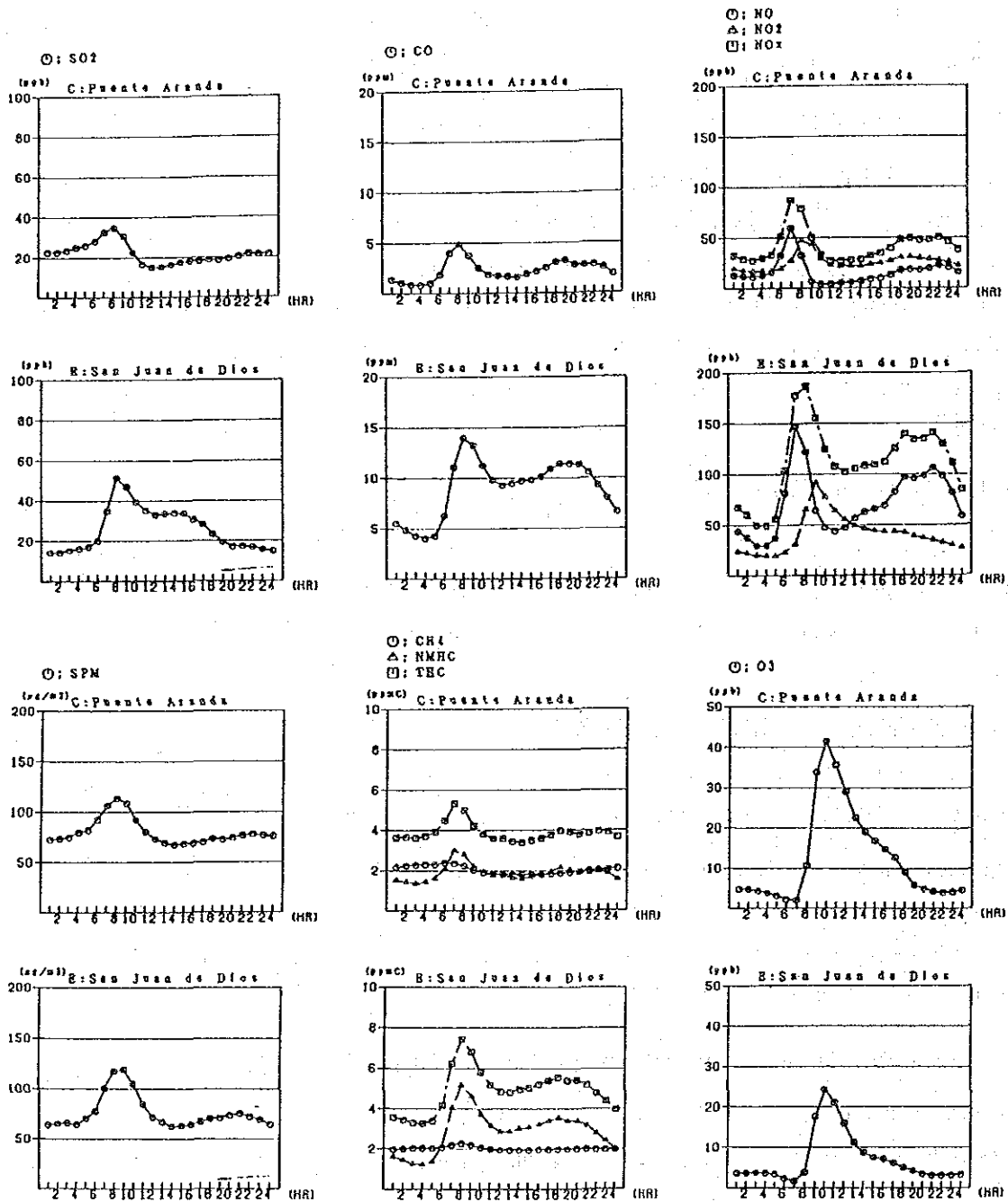
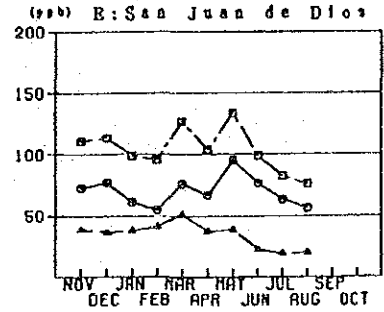
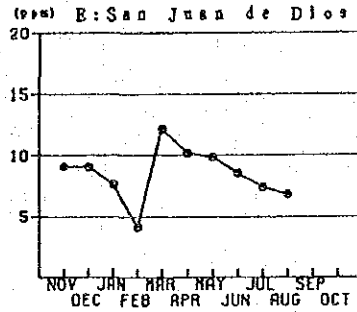
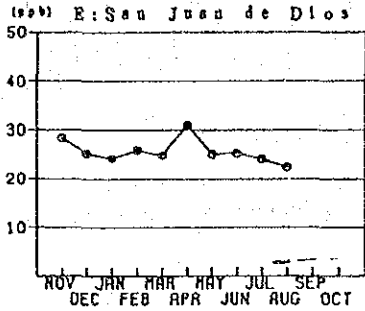
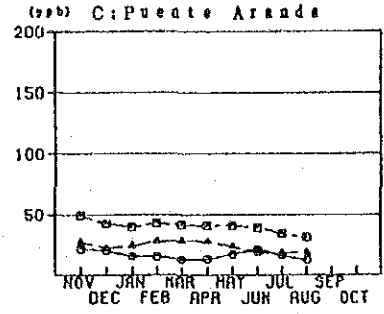
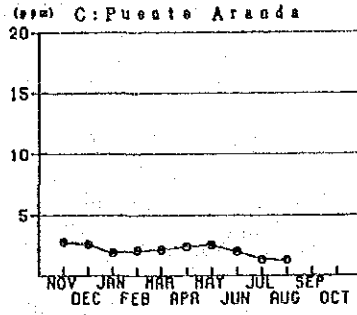
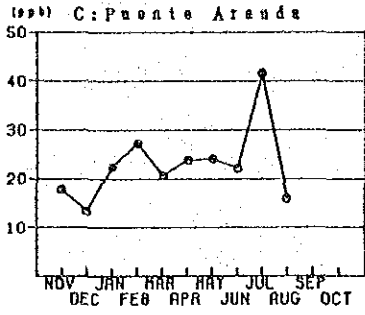


Fig. 3.2.1 Cambios horarios de la concentración en la atmósfera

○; SO₂

○; CO

○; NO
△; NO₂
□; NO_x



○; SPM

○; CH₄
△; n-CH₄
□; T-HC

○; O₃

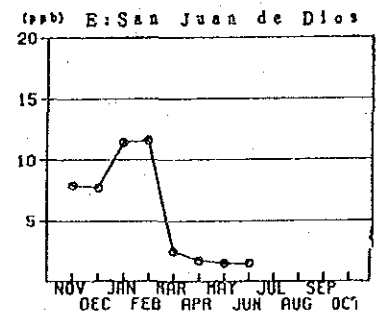
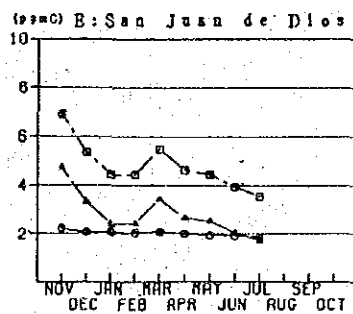
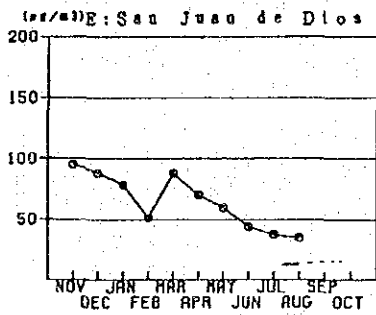
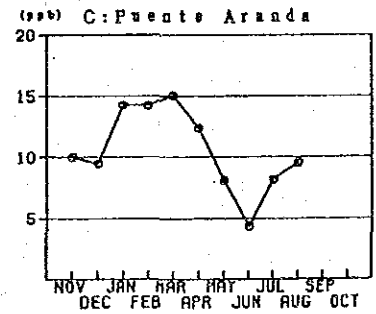
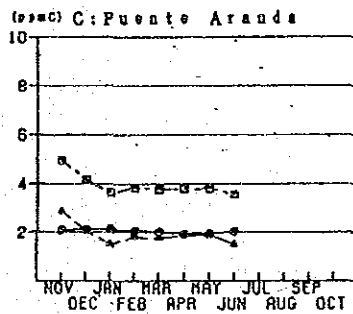
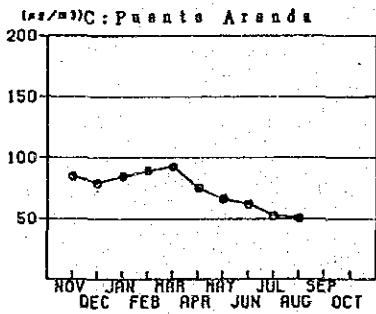


Fig. 3.2.2' Cambios mensuales de la concentración en la atmósfera

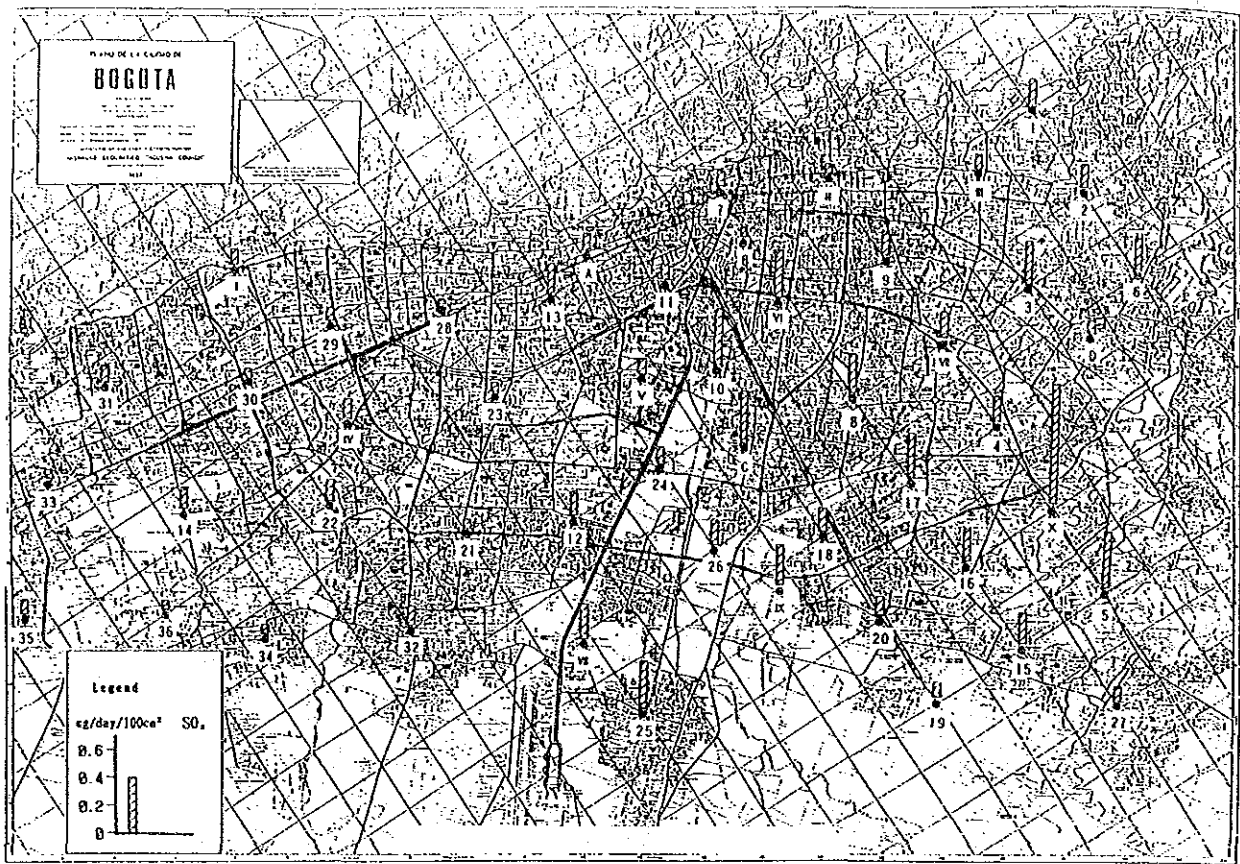


Fig. 3.2.3 (1) Distribución de la concentración de SO_x

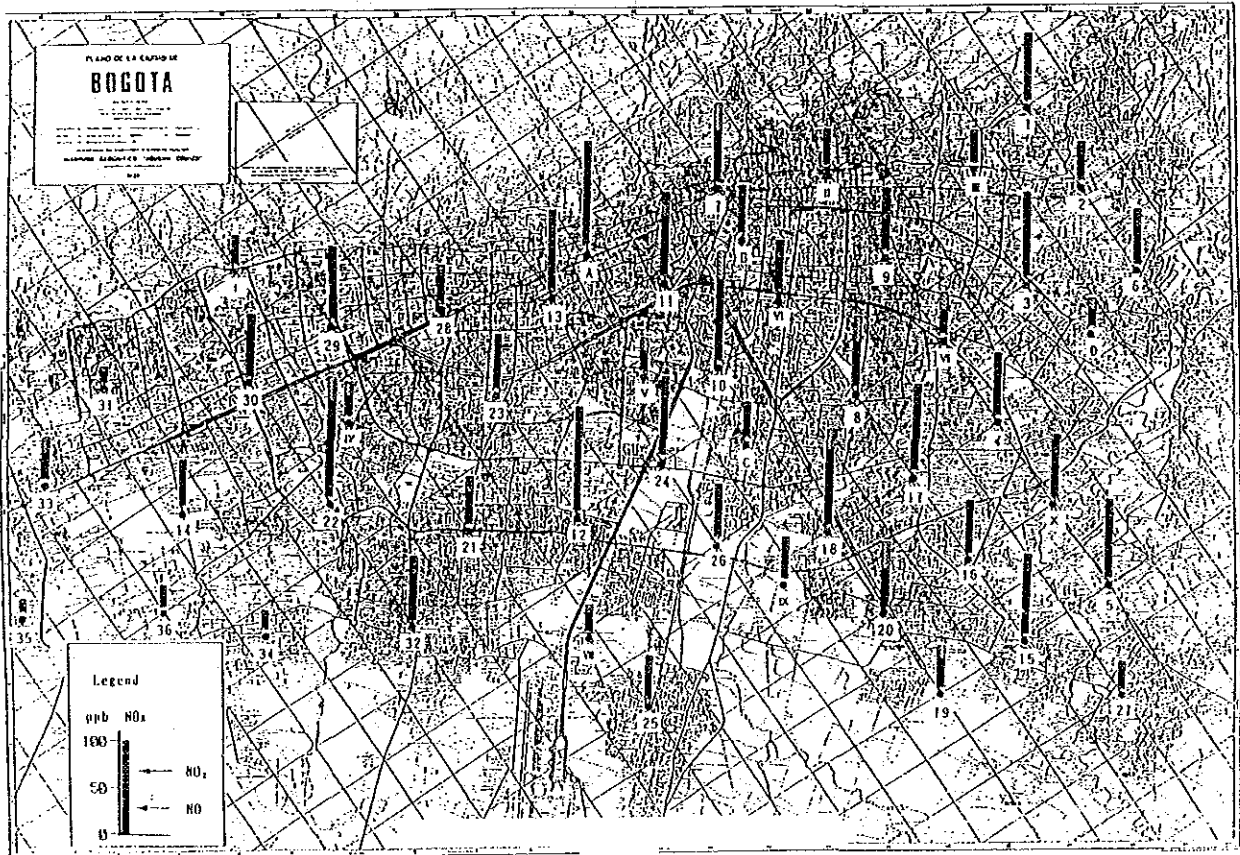


Fig. 3.2.3 (2) Distribución de la concentración de NO_x

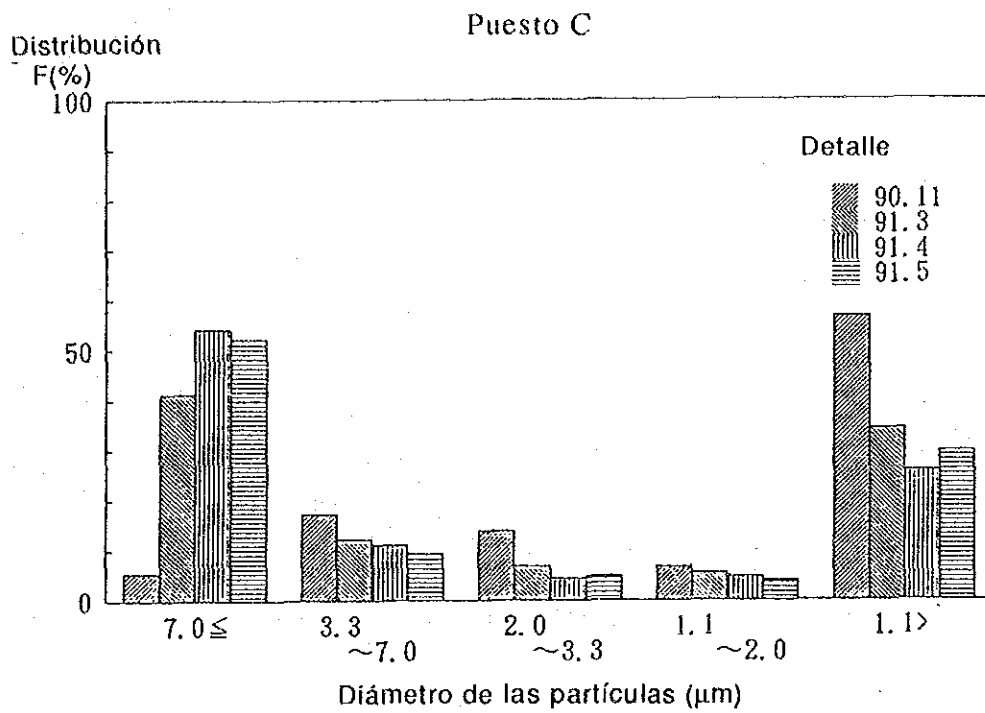


Fig. 3.2.4 Distribución de las partículas en suspensión por tamaño
(Estación de Puente Aranda)

4. SITUACION ACTUAL DE LAS FUENTES GENERADORAS

4. SITUACION ACTUAL DE LAS FUENTES GENERADORAS

El tipo de fuentes de generación que el Estudio tiene por objeto examinar son los gases de emisión en las fábricas y establecimientos, los gases de escape de los vehículos y aviones, y la cocina y suministro de agua caliente en el hogar.

4.1 Fábricas y establecimientos

Se realizó una encuesta en las 154 fábricas y establecimientos de la Ciudad relacionada con la clase de combustibles utilizados y la cantidad consumida, clase de instalaciones para la combustión, etc. Además, en 51 fábricas se llevó a cabo una medición de la concentración de contaminantes del aire causada por los gases de emisión de las chimeneas, un análisis del porcentaje de azufre, etc. en los combustibles, y se calcularon los volúmenes de emisión de los contaminantes en el aire en relación con el SO_x, NO_x y el polvo de las fábricas y establecimientos.

(1) Encuesta

Según los resultados obtenidos con la encuesta, el número de fábricas, por ramas industriales, fue del 31,2% en la fabricación de productos alimenticios excepto bebidas, seguido por el 13,0% en la fabricación de objetos de barro, loza y porcelana.

En lo que se refiere al número por clase de instalaciones, dentro del número total de 381, las calderas ocuparon 205 unidades (53,8%), y los hornos de fabricación de objetos de barro, loza y porcelana 83 unidades (21,8%), resultando el 75,6% del total cubierto por estas dos clases de instalaciones.

En cuanto al consumo por clase de combustibles, dentro de los combustibles líquidos, el crudo es el mayor, con 102 mil kl/año, que en su gran parte se utiliza en las calderas. Sigue el ACPM, siendo 45 mil kl/año. En los combustibles sólidos se utiliza el carbón con un volumen de 142 mil toneladas/año, y en su mayor parte es utilizado en calderas y hornos de ladrillo. Entre los combustibles gaseosos se utiliza un poco de gas propano, siendo de 1,8 mil kl/año. Además, se consumen 2,8 mil toneladas/año de leña.

La Tabla 4.1.1 muestra el número de piezas por altura de las chimeneas. Según los resultados obtenidos, las chimeneas bajas de 11m a 20m representan el 75%, son pocas aquellas de más de 31m, o sea un 3% (11 piezas).

Tabla 4.1.1 Número de chimeneas según su altura

Altura (m)	Número de unidades
a 10	37
11 a 20	275
21 a 30	43
31 a 50	8
51 a 70	3
Total	366

Se indica la distribución de las instalaciones de tratamiento de los gases de emisión de las fábricas, en las que existen 26 colectores de polvo, de los cuales 14 son del tipo cyclon y se ha comprobado que su rendimiento es bastante bajo, entre el 50 y 60 % de los gases emitidos.

(2) Medición de los gases de emisión de las fábricas

La medición de los gases de emisión de las fábricas se llevó a cabo en 51 fábricas. El Estudio indica que existen calderas en 30 instalaciones, hornos de calcinación de ladrillos en 6 instalaciones, hornos de calcinación de caños de barro cocido en 3 instalaciones y otros en las 12 instalaciones restantes. En la Tabla 4.1.2 se muestra el resultado de la medición.

Tabla 4.1.2 Resultado de la medición de los gases de emisión en fábricas

No	Instalación	Combustible	Polvo g/m ³ N	SOx ppm	NOx ppm	O ₂ %	Tg C°
1	Caldera	CRUDO	0,15 - 1,8	270 - 1370	15 - 681	3 - 16	112 - 288
		FUEL OIL	0,15 - 0,25	420 - 460	199 - 210	5 - 14	199 - 200
		CARBON	0,02 - 2,7	5 - 220	31 - 510	10 - 17	28 - 244
2	Horno de ladrillos	CARBON	0,08 - 0,39	66 - 180	12 - 118	18 - 20	72 - 230
3	Horno de caño de barro	CARBON	0,02 - 1,9	11 - 99	11 - 27	15 - 20	28 - 430
4	Secador	ACPM	0,11 - 0,53	5 - 11	29 - 33	19 - 20	67 - 75
5	Incinerador	PLG	0,01 - 0,02	0	3 - 4	19 - 20	74 - 97
		ACPM	0,07 - 0,75	0 - 53	0 - 30	13 - 20	91 - 144
6	Hornos de caldeo	ACPM	0,01 - 0,07	20 - 48	53 - 61	15 - 18	118 - 516

(3) Análisis de los combustibles

Según el resultado obtenido en el análisis, el porcentaje de azufre (porcentaje por peso) en combustible crudo fue de 2,3% por peso como promedio, en el ACPM un 0,4% por peso, y en el carbón del 0,57 al 0,74% por peso. Además, en el fuel oil fue de 2,4% por peso, aunque también se observó en muchos casos una mezcla de éste con aceite de calidad inferior.

(4) Factor de emisión

El factor de emisión de los contaminantes del aire producido por los gases de emisión de las fábricas se estableció a través del resultado de la medición y de los datos existentes en Japón. El resultado se muestra en la Tabla 4.1.3.

(5) Volúmenes de emisión

La Tabla 4.1.4 muestra los resultados calculados de los volúmenes anuales de emisión del polvo, SO_x y NO_x en base a los datos arriba descritos. Por ramas industriales, los tres contaminantes tienen mucho volumen de emisión en la fabricación de productos alimenticios, en la industria de bebidas y en la fabricación de objetos de barro, loza y porcelana.

Tabla 4.1.3 Factores de emisión para fábricas y establecimientos

Tipo de instalación	Combustible	SO _x	Polvo	NO _x
Caldera	Crudo de Castilla	45,08 kg/k l	9,27 kg/k l	5,28 kg/k l
	Fuel oil	46,56 kg/k l		
	Aceite quemado	46,56 kg/k l		
	ACPM	6,96 kg/k l	0,58 kg/k l	2,98 kg/k l
	Carbon mineral	8,84 kg/ton	12,00 kg/ton	4,78 kg/ton
	Leña	-	2,26 kg/ton	1,44 kg/ton
Horno de gas	Gas propano	-	0,20 kg/k l	1,35 kg/k l
Horno de fundición de hierro y acero	Carbón coque	8,84 kg/ton	2,70 kg/ton	1,20 kg/ton
Horno de fundición de aluminio	Fuel oil	46,56 kg/k l	14,39 kg/k l	3,61 kg/k l
	Querosene	1,92 kg/k l	42,79 kg/k l	1,58 kg/k l
Horno para tratamiento térmico de metal	Crudo de Castilla	45,08 kg/k l	1,20 kg/k l	1,00 kg/k l
	ACPM	6,96 kg/k l		
Horno de calentamiento para refinería de petróleo	Gas propano	-	36,18 kg/k l	1,49 kg/k l
Horno de ladrillo y caño de barro	Carbón mineral	11,47 kg/ton	8,18 kg/ton	8,31 kg/ton
Horno de fundición de vidrio	Crudo de Castilla	45,08 kg/k l	4,91 kg/k l	5,71 kg/k l
Horno de calentamiento directo para productos químicos inorgánicos	ACPM	6,96 kg/k l	1,80 kg/k l	9,60 kg/k l
Horno de calentamiento directo para alimentos	Crudo de Castilla	45,08 kg/k l	1,20 kg/k l	1,50 kg/k l
	ACPM	6,96 kg/k l		
	Gas propano	-	0,22 kg/k l	1,30 kg/k l
Horno de secado	ACPM	6,96 kg/k l	1,80 kg/k l	9,60 kg/k l
	Leña	-	2,26 kg/ton	1,44 kg/ton
	Gas propano	-	0,20 kg/k l	1,35 kg/k l
Incinerador de desperdicios	ACPM	6,96 kg/k l	20,10 kg/k l	1,65 kg/k l
Horno de cocimiento	ACPM	6,96 kg/k l	1,80 kg/k l	9,60 kg/k l
Otros hornos	ACPM	6,96 kg/k l	1,80 kg/k l	9,60 kg/k l

Nota 1: Factores de emisión para calderas, hornos de barro, loza y porcelana, y horno para secar de madera fueron calculados según los resultados de medición directa del gas de fábricas.

2: Con respecto a los factores de emisión de SO_x, se supone que los porcentajes del contenido de azufre de los combustibles, líquidos y sólidos son de 100% y 77.5% respectivamente.

Tabla 4.1.4 Volúmenes de Emisión por Ramas Industriales

(Unidad: ton/año)

No.	Código	Industria	Polvo	SO _x	NO _x
1	311	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas (1)	284,7	1400,2	198,8
2	312	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas (2)	25,4	108,9	15,6
3	313	Industria de bebidas	767,8	1854,2	410,4
4	314	Industria de tabaco	5,2	25,5	3,0
5	321	Fabricación de textiles	144,1	797,7	104,0
6	323	Industria del cuero y productos de cuero y sucedáneos del cuero y pieles, excepto calzado y otras prendas vestir	2,1	29,2	3,6
7	324	Fabricación de calzado, excepto el de caucho vulcanizado o moldeado, o de plástico	9,3	45,8	5,4
8	331	Industria de la madera y productos de madera y de corcho, excepto muebles	3,1	15,1	12,1
9	332	Fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos	27,0	92,9	78,4
10	341	Fabricación de papel y productos de papel	54,1	173,8	29,1
11	351	Fabricación de sustancias químicas industriales	12,4	59,7	7,7
12	352	Fabricación de otros productos químicos	8,7	38,7	12,1
13	354	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón	20,3	45,0	5,7
14	355	Fabricación de productos de caucho	9,8	55,0	10,2
15	356	Fabricación de productos plásticos	0,1	0,0	0,8
16	361	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	676,0	1038,2	686,8
17	362	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	4,5	41,1	5,2
18	369	Fabricación de productos minerales no metálicos	0,0	4,3	1,9
19	371	Industrias básicas de hierro y acero	10,6	67,8	6,9
20	372	Industrias básicas de metales no ferrosos	14,0	2,2	2,7
21	384	Fabricación de equipo y material de transporte	18,2	105,4	15,1
22	390	Otras industrias manufactureras	69,7	332,6	44,0
23	404	Industria automotriz	0,5	6,2	2,8
24	501	Hospitales	18,1	104,1	14,4
25	502	Hoteles	10,7	59,1	10,7
26	508	Otros establecimientos	1,9	1,0	0,3
Total			2198,3	6503,7	1687,7

4.2 Vehículos

(1) Estudio del volumen de tráfico

En los caminos principales de la ciudad se llevó a cabo el estudio de la medición real con contadores del volumen de tráfico en 46 puntos en total. Según resultados obtenidos con el estudio, es muy alto el volumen de tráfico diario en los caminos generales de la ciudad, y como máximo se registró una cifra de 132.000 vehículos/día (día laborable) en la Autopista Norte, y en la mayoría se observó que el volumen de tráfico era de más de 30.000 vehículos/día. El porcentaje de buses es alto, como del 20% al 30% en la parte sur y parte oeste de la ciudad, en comparación con la cantidad observada en la parte norte, es más alto en la parte central, y en la Carretera 10 es muy elevado, como del 70% más o menos. El porcentaje de camiones es bajo en la ciudad, pero es alto en las carreteras generales de acceso de la Ciudad de Santafe de Bogotá a otras ciudades, y se observó un porcentaje del 15% más o menos.

Los estudios realizados del volumen de tráfico de acuerdo a la hora, los vehículos se mueven claramente en dirección norte-sur. Como indica la Figura 4.2.1, las máximas se producen en la mañana cuando bajan del norte hacia el sur, y en la tarde a la inversa.

(2) Estudio del porcentaje de vehículos matriculados en la Ciudad

Según resultados obtenidos, el porcentaje de los vehículos matriculados en la ciudad y en las zonas aledañas a la misma, por medio de la lectura de las placas de matrícula de los vehículos en 4 puntos elegidos de los caminos principales de la ciudad, fue bajo aproximadamente del 50% .

(3) Estudio de la velocidad de conducción

Según los resultados del estudio, la conducción de un vehículo a la velocidad media permitida en la ciudad en los caminos generales es de 20 a 30 km/h en horas normales, y de 15 a 20 km/h en momentos de congestión del tráfico, y hay ejemplos en que se hace menor de 10 km/h, cuya causa principal son los buses que transitan por Ave. Caracas y Ave. 10. Al respecto, la frecuencia de paradas por km de un bús en este momento son muchas, de 5 a 10 veces.

(4) Estudio de la medición de los gases de escape de los vehículos

Según los resultados obtenidos por la medición de la concentración de CO, NO_x y HC en los gases de los tubos de escape de los vehículos (160) que son conducidos en la ciudad, en los automóviles de motor a gasolina el CO es del 6,1%, el NO_x 55 ppm y HC 1.505 ppm como término medio, siendo del 11,6%, 369 ppm y 5.470 ppm como máximo, respectivamente; se observó la tendencia de que son grandes las diferencias de concentración según los vehículos. Además, la concentración de HC en los buses y camiones con motor a gasolina es alta, alrededor de 3.000 ppm más o menos.

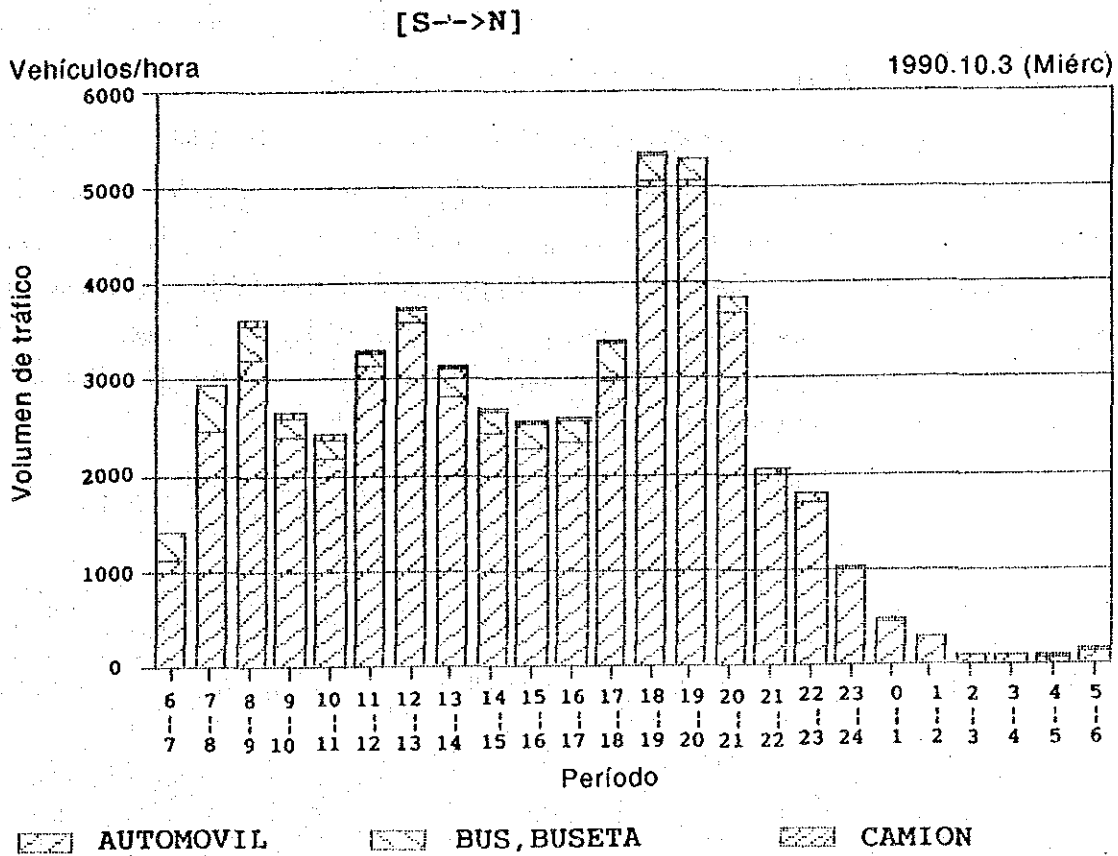
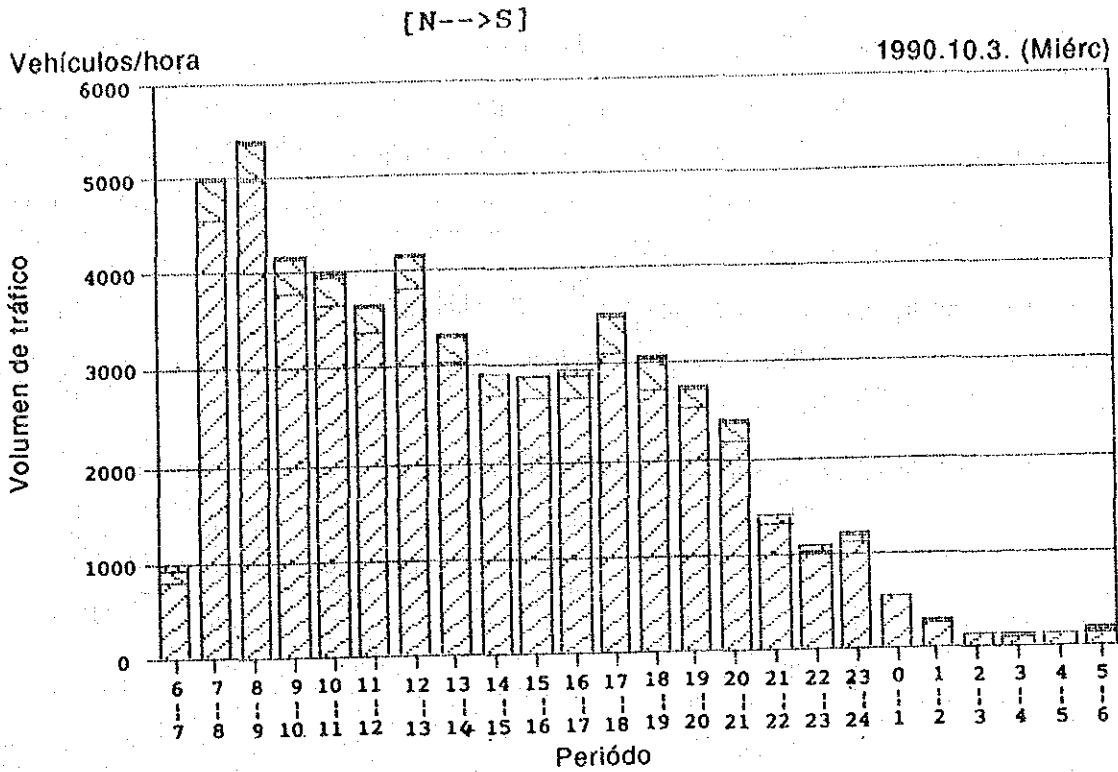


Fig. 4.2.1. Típicas variaciones del volumen horario de tráfico en dirección norte-sur (Carrera 30)

(5) Volumen de conducción de vehículos

En la Tabla 4.2.1 se muestra el volumen de conducción por tipo de vehículos, utilizándose los resultados obtenidos en la investigación del volumen de tráfico en los caminos principales realizados por la ciudad y los datos leídos en las fotografías aéreas tomadas en los caminos más estrechos.

Según esta tabla, el volumen de conducción de automóviles es del 83% más o menos de la totalidad, lo cual representa un porcentaje muy grande. Los buses incluyendo las busetas son del 12% más o menos.

Tabla 4.2.1 Volumen de conducción por tipo de vehículo

Unidad: 10^6 unidad•km/año

Tipo	Volumen de conducción	
Automóvil	4.285	(82,5%)
Bus	641	(12,3%)
Camión	265	(5,2%)
Total	5.191	(100%)

(6) Factor de emisión de contaminantes en el aire

Ya que no hay datos directamente medidos en la ciudad en cuanto al volumen de escape de los contaminantes del aire (o sea el factor de emisión) cuando los vehículos son conducidos 1 km, se ha establecido según lo indicado en la Tabla 4.2.2 con referencia a datos similares de Méjico y los Estados Unidos, así como también comparados con datos del Japón. Al respecto, puesto que el factor de emisión cambia con la velocidad de conducción del vehículo, se ha realizado el cálculo haciendo que la velocidad del vehículo sea la variable explicativa.

Tabla 4.2.2 Factores de emisión de vehículos

(Unidad: g/km)

Vehículo	Material de emisión	Velocidad promedio (km/h)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Auto-móvil	HC	6,75	4,73	3,74	3,19	2,83	2,58	2,39	2,23	2,06
	CO	71,38	53,97	43,91	38,71	35,25	32,82	30,72	28,28	26,55
	NOx	1,26	1,12	1,06	1,07	1,13	1,21	1,31	1,40	1,49
	SOx	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09
Bus	HC	17,75	13,38	10,58	8,63	7,22	6,20	5,36	4,69	4,20
	CO	300,29	229,04	182,09	150,25	127,37	109,64	96,72	86,53	78,46
	NOx	4,72	4,39	4,16	4,05	3,99	3,98	3,99	4,06	4,12
	SOx	1,01	0,85	0,77	0,73	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63
Camión	HC	18,98	14,83	11,79	9,51	7,79	6,53	5,52	4,70	4,16
	CO	356,20	276,90	219,42	178,32	148,16	124,90	108,43	96,05	86,44
	NOx	7,44	6,91	6,47	6,16	5,92	5,76	5,62	5,61	5,59
	SOx	1,62	1,38	1,25	1,18	1,13	1,09	1,07	1,05	1,03

(7) Volumen de emisión de los contaminantes del aire

En la Tabla 4.2.3 se muestra el volumen de emisión de los contaminantes del aire, calculado por el factor de emisión y el volumen de conducción de los vehículos. Según este resultado, en los contaminantes del aire, es del 40 al 60% más o menos en los automóviles, del 30% más o menos en los buses y del 10 al 20% en los camiones, y no son pequeños porcentajes comparada con el volumen de conducción de los buses y camiones.

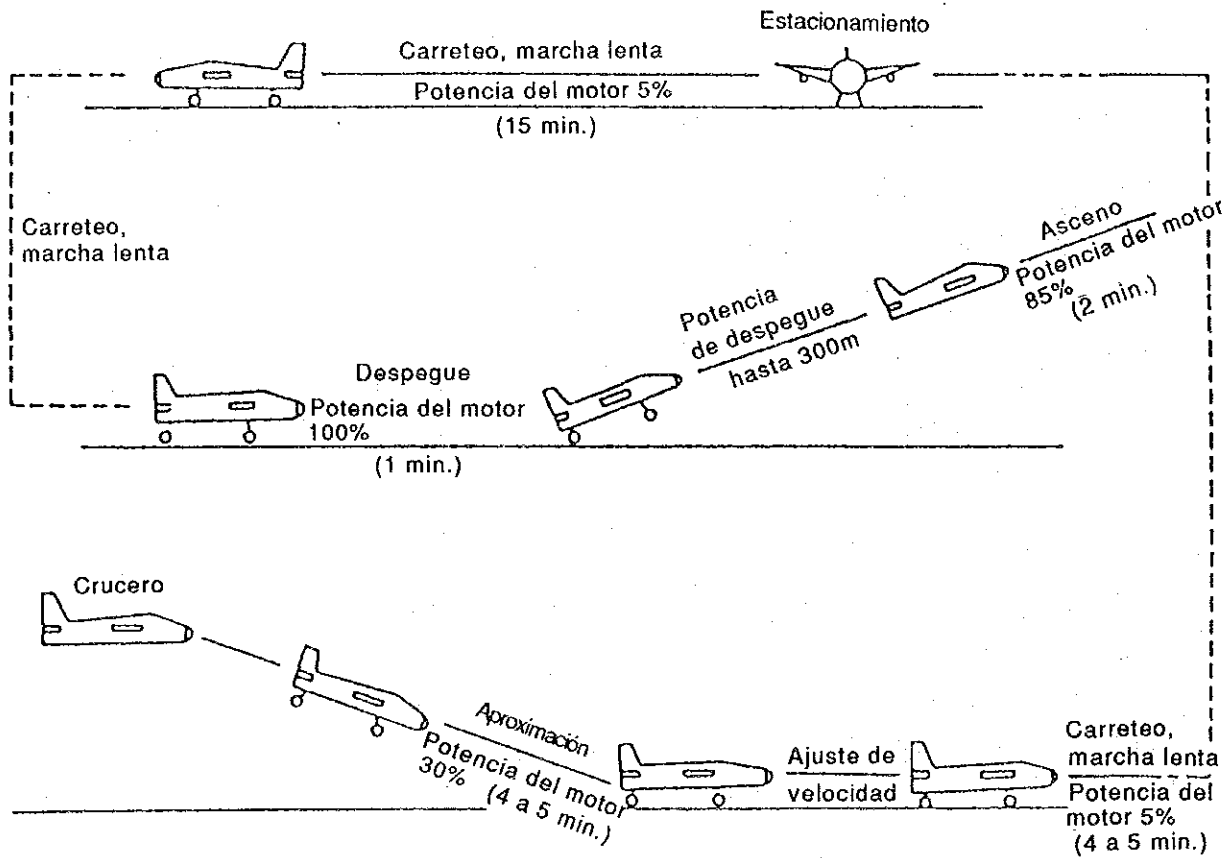
Tabla 4.2.3 Emisión de los contaminantes por tipo de vehículo

Unidad: toneladas/año, (%)

Typo de vehículo	SOx (como SO ₂)	NOx (como NO ₂)	CO	HC
Automóvil	496 (39,1)	5.039 (54,5)	149.237 (51,7)	12.039 (60,7)
Bus	475 (37,4)	2.644 (28,6)	100.545 (34,9)	5.781 (29,1)
Camión	298 (23,5)	1.567 (16,9)	38.651 (13,4)	2.025 (10,2)
Total	1.269 (100)	9.250 (100)	288.433 (100)	19.845 (100)

4.3 Aviones

En el aeropuerto de El Dorado, ubicado en la parte oeste de la ciudad, despegan y aterrizan 29.200 y 4.484 vuelos domésticos e internacionales de avión jet grande durante un año, respectivamente. El modo de vuelo de un avión se divide en cuatro modos: calentamiento, despegue, ascenso y acercamiento-aterrizaje, como se muestra en la Fig. 4.3.1. El resultado calculado al haber utilizado el factor de emisión según el modo en cuanto al NOx y SOx para los contaminantes principales del aire en los gases de escape de un avión, indicó 114 toneladas/año de NOx y 29 toneladas/año de SOx.



Note: Para los DC-8 y B727, la potencia del motor en la aproximación es de 40%

Fig. 4.3.1 Modo de navegación de un avión

4.4 Fuentes domésticas

Se supuso que los volúmenes de emisión de los contaminantes del aire desde el cosinol y el gas propano, de los combustibles utilizados en los hogares de una población de 4 millones de habitantes (1990) en la Ciudad, son 84 toneladas/año de SOx, 254 toneladas/año de NOx y 105 toneladas/año de polvo.

4.5 Resumen de las fuentes generadoras

El resumen de los volúmenes de emisión de los contaminantes del aire está clasificado por fuente de generación y se muestra en la Tabla 4.5.1. El SOx ocupa el 82% de la totalidad por causa de las fábricas y establecimientos. Además, el NOx ocupa el 82% de la totalidad por los vehículos. El volumen de escape de los aviones y fuentes domésticas ocupa un pequeño porcentaje, como del 1 al 3%.

La distribución de los gases de SOx emitidos de las fábricas y establecimientos se puede ver en la Tabla 4.5.1.

Tabla 4.5.1 Volúmenes de emisión de los contaminantes del aire

Unidad: toneladas/año, (%)

Fuentes generadoras	SOx	NOx	Polvo	CO	HC
Fábrica y establecimiento	6.054 (82)	1.688 (15)	2.198 (95)	–	–
Vehículos	1.269 (16)	9.250 (82)	–	288.433	19.845
Avión	29 (0,4)	114 (1)	–	–	–
Fuente doméstica	84 (1)	254 (2)	105 (5)	–	–
Total	7.886 (100)	11.306 (100)	2.303 (100)	288.433	19.845

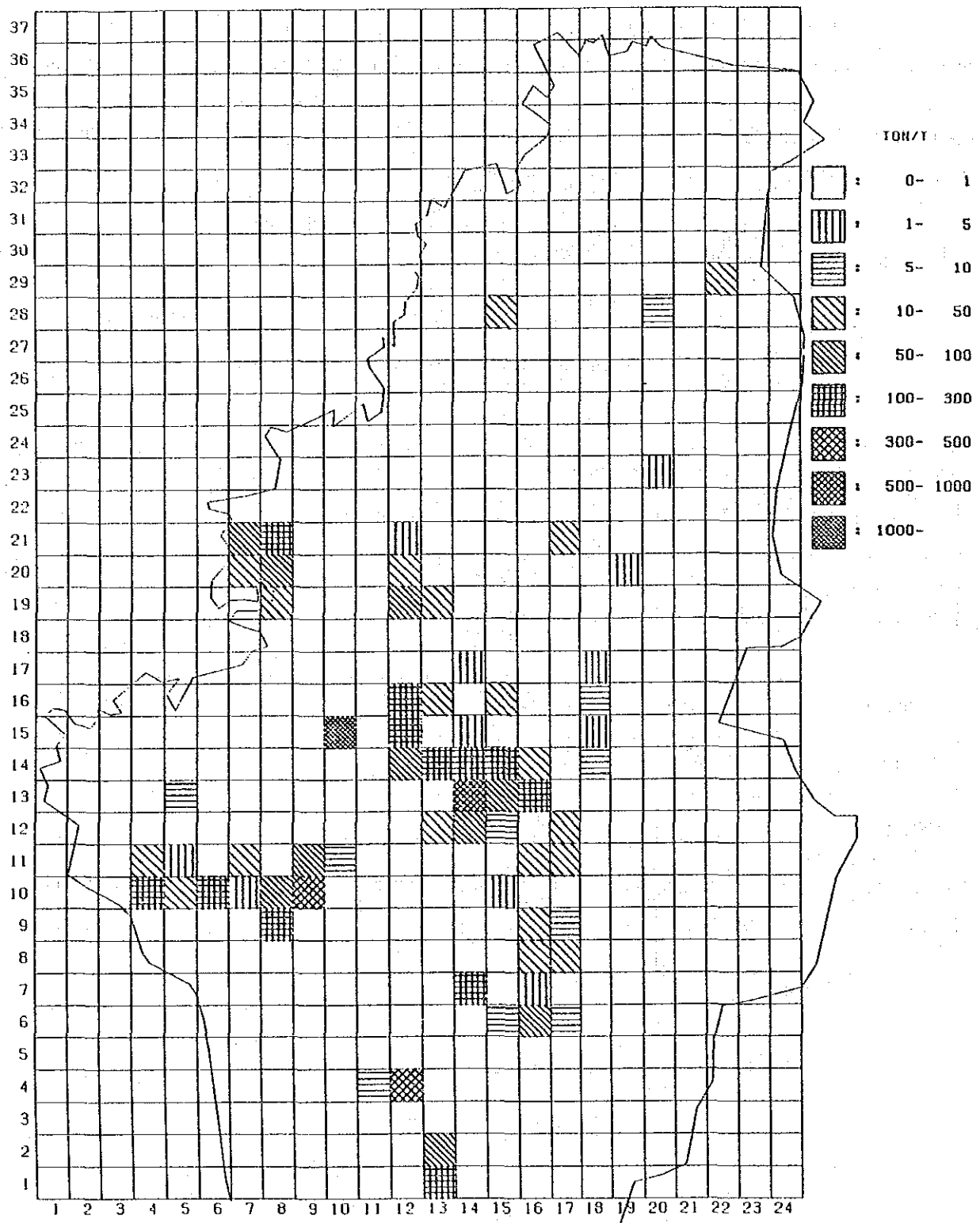


Fig. 4.5.1 Distribución de los gases de SOx emitidos (Fábricas y Establecimientos)

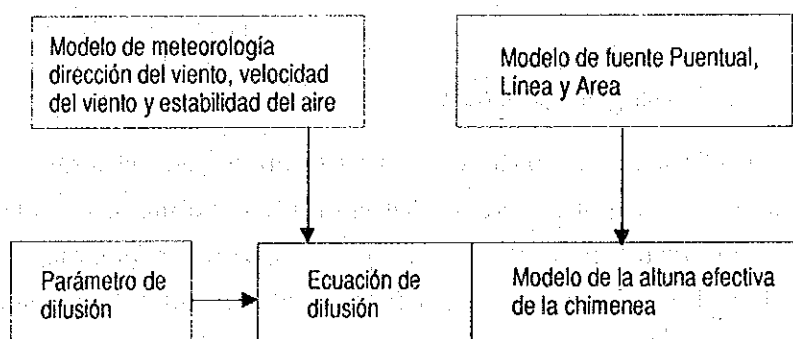
5. MODELO DE SIMULACION DE DIFUSION

5. MODELO DE SIMULACION DE DIFUSION

El modelo de simulación de difusión fue elaborado para obtener los datos de la concentración contribuida y el porcentaje de contribución de los gases de emisión de las chimeneas de las fábricas y los vehículos. Además, se calculó la concentración por la malla de cuadro kiometro del area total del estudio.

5.1 Generalidades sobre el modelo de simulación de difusión

El modelo se compone de los submodelos indicados a continuación.



(1) Alcance del objetivo

① Cálculo de la concentración

Valor promedio de largo plazo del SO₂, NO_x, NO₂ y CO (Valor promedio anual)

② Fuentes de generación

Fábricas, establecimientos, vehículos y aviones

③ Sitios del cálculo

Estación de monitoreo en 5 sitios, además de puntos centrales de 1 km red en la ciudad

(2) Modelo meteorológico

Los datos meteorológicos utilizados en el cálculo de difusión fueron la dirección del viento, velocidad del viento y la estabilidad del aire. Ya que estos elementos meteorológicos difieren en cada zona, la Ciudad se dividió en bloques zonales meteorológicos. En el Estudio, el área se dividió en 5 bloques, y se utilizaron los datos

de la estación de monitoreo ubicada en el respectivo bloque como el dato meteorológico promedio de cada bloque. Al respecto, la estabilidad del aire se obtuvo al utilizar los datos de la velocidad del viento y la radiación solar en el día y los de la velocidad del viento y radiación neta por la noche. Además, se llevó a cabo la revisión de acuerdo a la altura de la fuente de generación, en relación con la velocidad del viento. A continuación se indica el número de divisiones de los elementos meteorológicos.

- Clase de dirección del viento: 16 direcciones y calma ($\leq 0,4$ m/s)
- Clase de velocidad del viento: Clase 8
- Clase de estabilidad del aire: Clase 11

(3) Modelo de la fuente generadora

Las chimeneas de las fábricas y establecimientos se manejaron enteramente como las fuentes puntuales. Para los caminos donde los vehículos conducen se han considerado caminos generales como las fuentes lineales y los caminos más estrechos como las fuentes de área. Para los aviones se ha considerado el terreno del aeropuerto como la fuente de área y hasta 500m desde el techo aéreo como la fuente puntual.

(4) Modelo de la altura efectiva de la chimenea

Los gases de emisión van a subir hasta la altura de la chimenea eficazmente por su flotabilidad y a la temperatura y velocidad de descarga. En el Estudio, se hicieron cálculos utilizando la ecuación de CONCAWE cuando hay vientos y la ecuación de Briggs cuando no hay vientos.

(5) Ecuación de difusión

Cuando hubo vientos se utilizó la ecuación de Plume en general, y la ecuación de Puff cuando no hubo vientos.

(6) Parámetro de difusión

Para la ecuación de Plume se utilizó el cuadro de Pasguill-Gifford, y para la ecuación de Puff se usó el cuadro Turner.

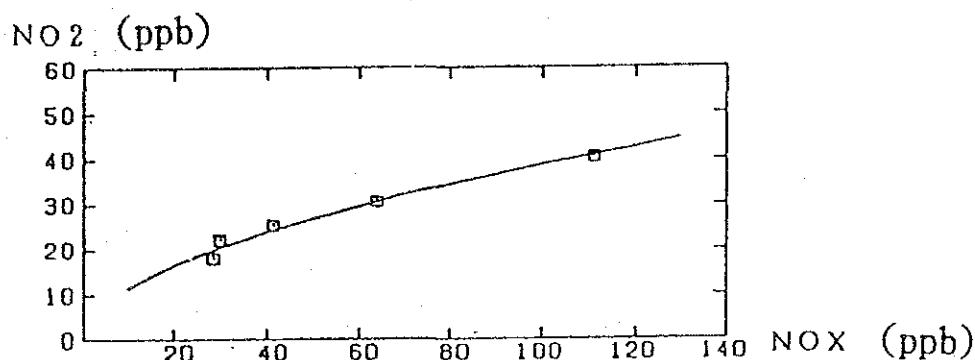
(7) Ecuación de conversión de NO₂

Para calcular la conversión del NO_x y NO₂ se utiliza el método estadístico indicado a continuación:

$$\text{NO}_2 = 3.41 \cdot \text{NO}_x^{0.527} \text{ (unidad: ppb)}$$

NO₂ y NO_x: Promedios de largo plazo (promedios anuales)

Factor: Se obtuvo por el método de regresión lineal logarítmica utilizando los datos medidos en las 5 estaciones.



5.2 Capacidad de reproducción del modelo de simulación de difusión

Se muestra la capacidad de reproducción del modelo de simulación en relación con la calidad del aire en el ambiente. Como lo indican los resultados en la Tabla 5.2.1, hay cuatro sustancias relacionadas con la contaminación en más de 0,8. Sin embargo las estaciones en donde el SO₂ y CO tienen una alta concentración, la correlación se ha estimado un poco bajo.

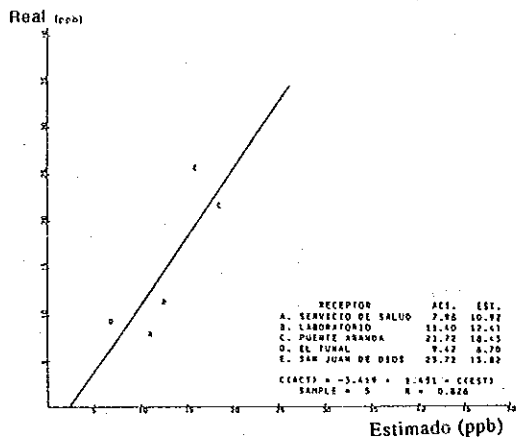


Fig. 5.2.1 (1) Diagrama de la difusión real y valores calculados del SO₂

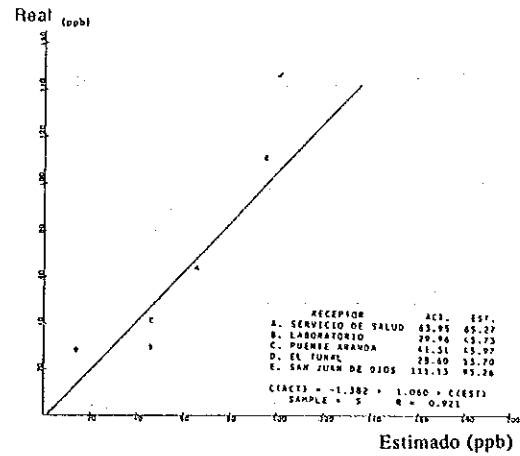


Fig. 5.2.1 (2) Diagrama de la difusión real y valores calculados del NO_x

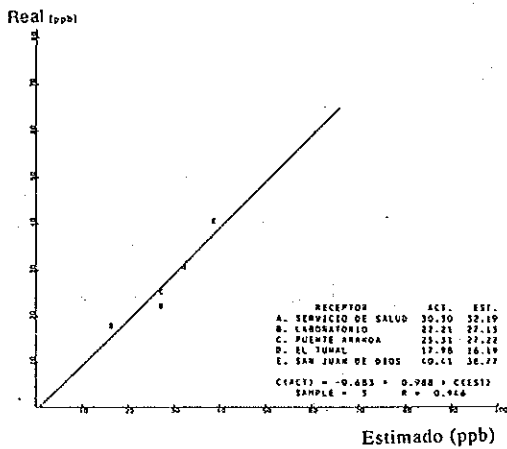


Fig. 5.2.1 (3) Diagrama de la difusión real y valores calculados del NO₂

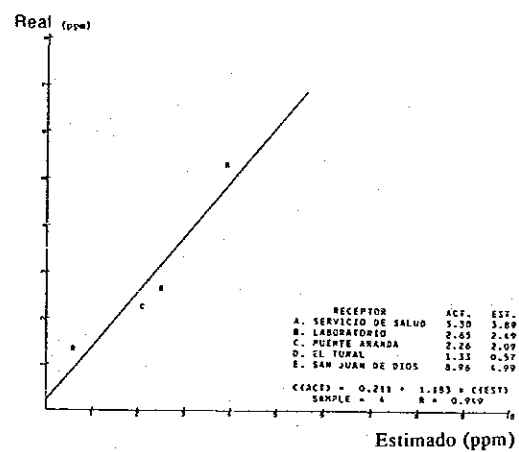


Fig. 5.2.1 (4) Diagrama de la difusión real y valores calculados del CO

Tabla 5.2.1 Correlación de valores reales y estimados

Item	Factor de correlación r	Fórmula de la regresión $Y = aX + b$	Dispersión del error relativo S/\bar{Y}	$\bar{Y} - \bar{X}$
SO ₂ (ppb)	0,83	$Y = 1,5 x - 3,4$	0,37	2,4
NO _x (ppb)	0,92	$Y = 1,1 x - 1,4$	0,28	1,8
NO ₂ (ppb)	0,95	$Y = 1,0 x - 1,7$	0,12	-1,0
CO (ppm)	0,95	$Y = 1,7 x - 0,7$	0,45	1,3

Nota Y: Valor actual X: Valor de estimación

6. ESTRUCTURA DE LA CONTAMINACION ATOMOSFERICA

6. ESTRUCTURA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

6.1 Características de la contaminación atmosférica

Observando el resumen de las características principales de la contaminación del aire en el área de la Ciudad y teniendo en cuenta los resultados del análisis, a continuación se indican las características meteorológicas de un factor generador de la contaminación del aire ambiente:

- Es débil la velocidad del viento, y en particular es débil hasta alrededor de las ocho en la mañana, lo cual resulta en la aparición de una alta concentración de CO desde las siete hasta las nueve. Además, en general, no se puede dejar de comparar también la velocidad del viento a nivel del techo aéreo.
- En el caso de que se eleve la concentración de contaminantes en el aire, por ejemplo del CO, se supone que se presentan muchos casos en que aparece una zona reversora y capa isotérmica alrededor de la tierra.

Además, son las características de cada fuente de generación, de la cual se emiten los contaminantes del aire ambiente:

- En lo que se refiere al SO₂, la emisión por la combustión de los combustibles en las fábricas y establecimientos ocupa la mayor parte, y la zona más concentrada se encuentra en la parte suroeste de la Ciudad. Además, se encuentran allí chimeneas de poca altura.
- Con respecto al NO_x y NO₂, la mayoría se derivan de los vehículos, y se considera mayor su influencia en los alrededores de los caminos.
- Con respecto al polvo en las chimeneas de las fábricas, etc., se encuentran pocas instalaciones de tratamiento de los gases, y que emiten humo con alta concentración.
- En relación al CO, ya que la Ciudad se localiza en un altiplano de baja presión atmosférica, por donde corren muchos vehículos muy viejos, no se establecen límites de emisión automotriz, y así sucesivamente, se emite el CO en gran cantidad.
- Respecto al HC, igual que en el caso del CO, su fuente generadora es en su mayoría los vehículos, generalmente es considerado como no metánico.

A continuación se indican los resultados de las mediciones de concentración de contaminantes del aire en el ambiente, producida por fuentes generadoras y por las características meteorológicas arriba mencionadas:

- Respecto al CO, en el área de los caminos se produce una alta concentración que no satisface la norma del medio ambiente. Además, las concentraciones en los lugares distantes de los caminos indican valores elevados cercanos al valor de referencia.
- Con relación al O₃, su concentración excedente al valor especificado en la norma del medio ambiente aparece por más de 20 horas anualmente. Además, la concentración del no-metano, que es la materia causante del O₃, es muy alta.
- Con respecto a las SPM, se satisface la norma del medio ambiente en todas las estaciones de monitoreo, pero son altos sus niveles de concentración, indicadas las más altas en las circunferencias de los caminos y zonas donde se encuentran las fábricas.
- En cuanto al SO₂, se satisfacen la norma del medio ambiente en todas las estaciones de monitoreo, pero aparecen concentraciones relativamente altas en los alrededores de los caminos y zonas fabriles.
- Con referencia al NO₂, se satisface la norma del medio ambiente en todas las estaciones de monitoreo, pero hay concentraciones relativamente altas en los alrededores de los caminos.

Además, se llevó a cabo el modelo de simulación de difusión para entender el porcentaje de contribución de las fuentes de generación como se indica a continuación:

6.2 Porcentaje de contribución de las fuentes generadoras y distribución zonal de las concentraciones a través del modelo de simulación de la difusión

(1) Concentración contribuída y porcentaje de concentración

A continuación se indica la concentración contribuída por cada fuente generadora de contaminación y el porcentaje de contribución en el punto de máxima concentración de cada estación de monitoreo y sobre la malla.

SO₂:

En las cinco estaciones de monitoreo, la concentración de la estación C de Puente Aranda es la más elevada (20,8 ppb), con el 68% por la contribución de las fábricas y establecimientos, y la concentración calculada es de 14,2 ppb.

Además, el punto de máxima concentración en la malla se localiza alrededor de los caminos de la zona industrial en la parte oeste, donde la concentración calculada es de 32,3 ppb, o sea una concentración cercana al valor establecido en la norma del medio ambiente. Los porcentajes de contribución por fuente generadora son del 61% en las fábricas y 32% de los vehículos. (Ver Figura 6.2.1)

NO_x:

La norma del medio ambiente con respecto al óxido de nitrógeno se establece a través del NO₂, y puesto que el NO emitido desde la fuente de generación se convierte en NO₂ de acuerdo a una reacción compleja, en el Estudio se obtuvo el porcentaje de contribución mediante el NO_x. Según el resultado del cálculo entre las cinco estaciones, son altas las concentraciones en la estación E de San Juan de Dios y A del Servicio de Salud y el punto de máxima concentración, y su porcentaje de contribución por fuente de generación está formado por los vehículos en su mayoría. La concentración contribuida por los vehículos es de 42,3 ppb a 104,4 ppb y los porcentajes de contribución son del 89% al 97%, a excepción de la estación de El Tunal, que tiene baja concentración. A pesar de que el volumen de NO_x en los gases de emisión de las fábricas es de 15% para el conjunto del área, los fenómenos que hacen que los porcentajes sean bajos se derivan del efecto de difusión a lo alto del cielo mediante la chimenea. (Ver Figura 6.2.2)

CO:

Casi no hay emisión de CO desde la chimenea fabril y se puede decir que su emisión se debe a los vehículos automotores, con excepción de las existentes en el mundo natural. Según el resultado del cálculo, son altas las concentraciones en las estaciones A y E, localizadas en las circunferencias de los caminos y su punto de máxima concentración, es de aproximadamente 5,2 ppm a 7,0 ppm, añadiendo el valor de fondo (valor que subtrae el promedio del valor calculado al promedio del valor medido). (Ver Fig. 6.2.3).

(2) Distribución zonal de la concentración.

Con respecto a la simulación, si se considera la concentración de la distribución zonal del SO₂, NO₂ y CO:

SO₂: Presenta alta concentración en la zona industrial localizada en la dirección suroeste, desde el oeste de la parte central de la Ciudad.

NO₂: La concentración de más de 25 ppb en NO₂ en una zona, extensa donde se concentra la red de caminos principales.

CO: Alta concentración a lo largo del camino principal que pasa por la parte central, de norte a sur.

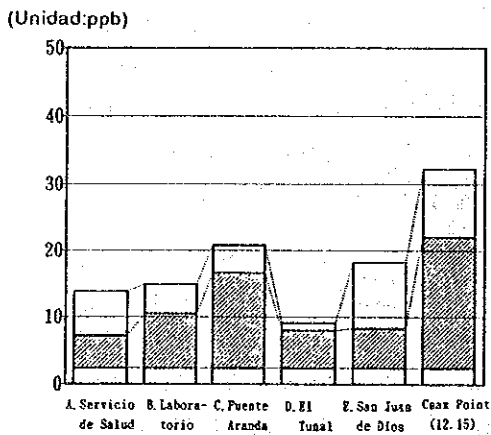


Fig. 6.2.1 Fuentes contribuyentes a la concentración de SO₂

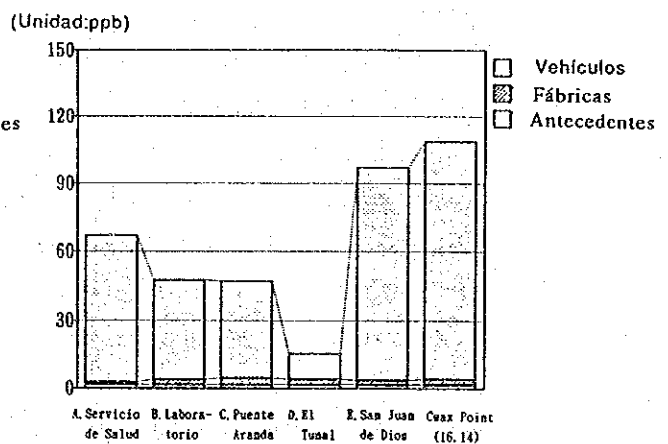


Fig. 6.2.2 Fuentes contribuyentes a la concentración de NO_x

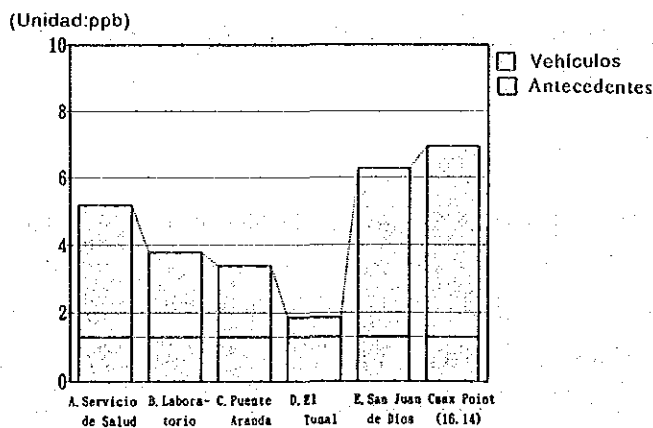


Fig. 6.2.3 Fuentes contribuyentes a la concentración de CO

X: Lugar de concentración máx
 unidad: ppb

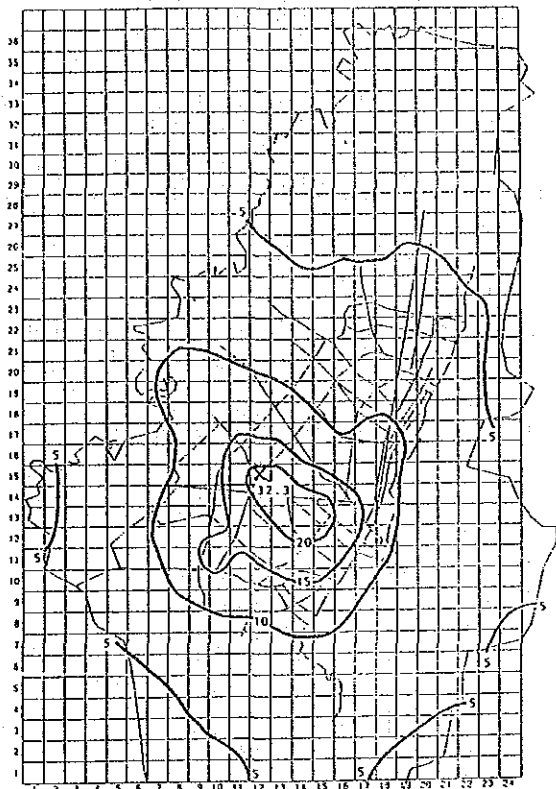


Fig. 6.2.4 Isoplethas de concentración promedio del SO₂ (Todas las fuentes)

X: Lugar de concentración máx
 unidad: ppb

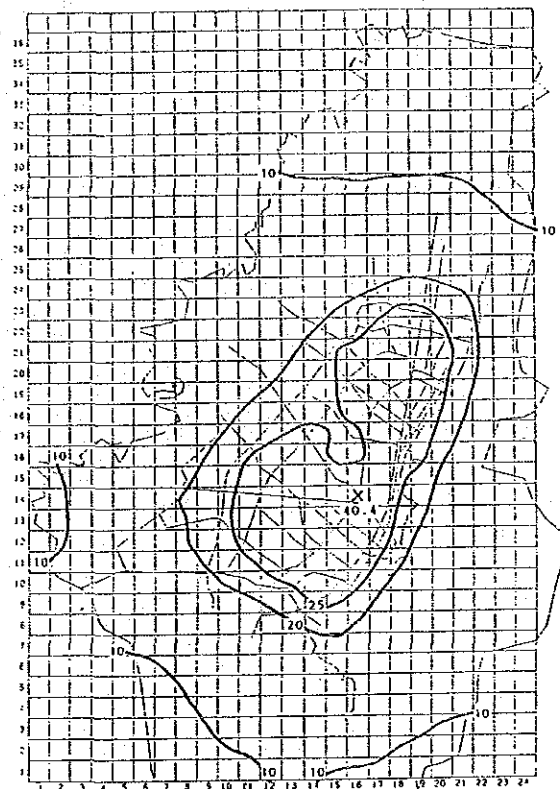
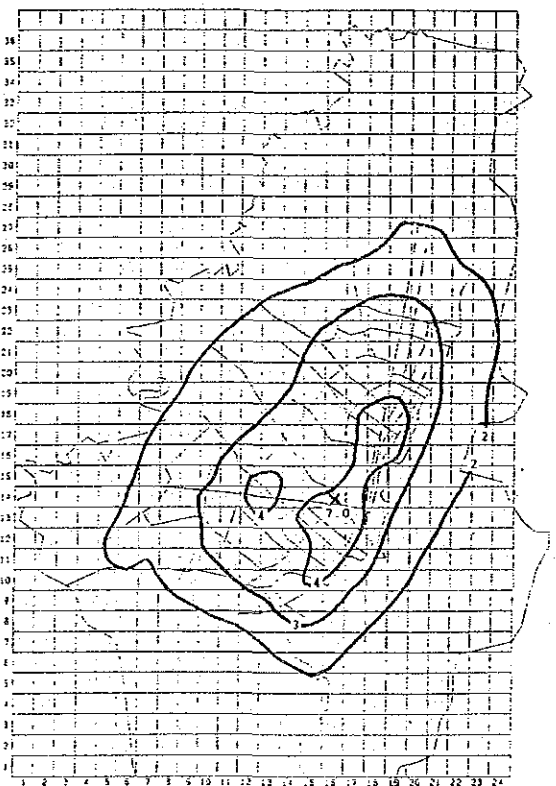


Fig. 6.2.5 Isoplethas de concentración promedio del NO₂ (Todas las fuentes)



unidad: ppb

X: Lugar de concentración máx

Fig. 6.2.6 Isoplethas de concentración promedio del CO (Todas las fuentes)

6.3 Porcentaje contribuido por la fuente generadora de las SPM de acuerdo al método CMB

Al obtener el porcentaje de distribución por cada fuente de generación de las SPM (materia de partículas en suspensión) utilizando un método estático como el método de CMB a base de los datos de la concentración de SPM y la concentración emitida de los metales pesados de la fuente de generación, no se ha llegado a saber una gran parte de datos con respecto al origen del humo. Debido a esta causa, se considera que son insuficientes los datos de constitución de los metales pesados y de las concentraciones ambientales en el lado de la fuente de generación, y así sucesivamente, sin embargo, es necesario acumular más datos y los datos relacionados con ello en el futuro.

**7. PREVISION DE CONCENTRACIONES
FUTURAS Y EMISION REDUCCION
REQUERIDA**

7. PREVISION DE CONCENTRACIONES FUTURAS Y EMISION REDUCCION REQUERIDA

7.1 Previsión de las fuentes generadoras futuras

Se llevó a cabo por el siguiente método de cálculo supuesto del volumen de emisión de los contaminantes del aire en el ambiente, desde las fuentes de generación en el futuro. Se consideró que el año objetivo es el año 2001; se considerarán los 10 años a partir de 1991.

Fábricas y establecimientos:

Se pronosticaron los consumos de combustible, utilizándose el porcentaje del valor de producción por ramas industriales de los últimos 10 años en la Ciudad (el valor promedio: 4.4%/año).

Vehículos:

Se estimó el porcentaje de crecimiento del volumen de tráfico de automóviles en 3,9% /año utilizando la evolución de consumo pasado de a gasolina, y para los buses y camiones se utilizó el crecimiento de la población proyectado. La implementación diesel de los buses y camiones se pronosticó tomando en cuenta la tendencia reciente, calculándose en un aumento en un 50%.

Con respecto a los aviones se dejaron como se encuentran en la situación actual, ya que no hay un plan de expansión futura en este momento. En el año 2001 el total de contaminación producido por estas fuentes se calcula que será como en la Tabla 7.1.1,

Tabla 7.1.1 Previsión del volumen total de emisión de contaminantes del aire en el año 2001

(Unidad: ton/año)

Tipo de fuente		Polvo	SOx	NOx	CO	HC
Fuentes estacionarias	Fábricas y establecimientos	3.155	9.076	2.475	-	-
Fuentes móviles	Vehículos motorizados	-	2.057	13.886	398.375	28.947
	Aviones	-	29	114		
Total		3.155	11.162	16.475	398.375	28.947
Comparación con el año 1990		+44%	+43%	+49%	+38%	+46%

7.2 Previsión de concentraciones futuras

Como se muestra en la Figura 7.2.1, en cuanto a las concentraciones pronosticadas

Tabla 7.2.1 Concentración computada en el futuro

Items Puestos	SO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppm)
A. Servicio de Salud	18,8	98,4	38,3	7,08
B. Laboratorio	19,8	69,3	31,8	5,13
C. Puente Aranda	27,2	70,6	32,1	4,52
D. El Tunal	12,0	22,0	17,4	2,45
E. San Juan de Dios	26,6	142,7	46,6	8,55
Indice max. de concentración	43,7 (12, 15)	163,3 (12, 15)	50,0 (12, 15)	9,58 (16, 14)

utilizando las fuentes de generación estimadas para el futuro, se prevee una alta concentración de un 40% al 50% de las cifras actuales.

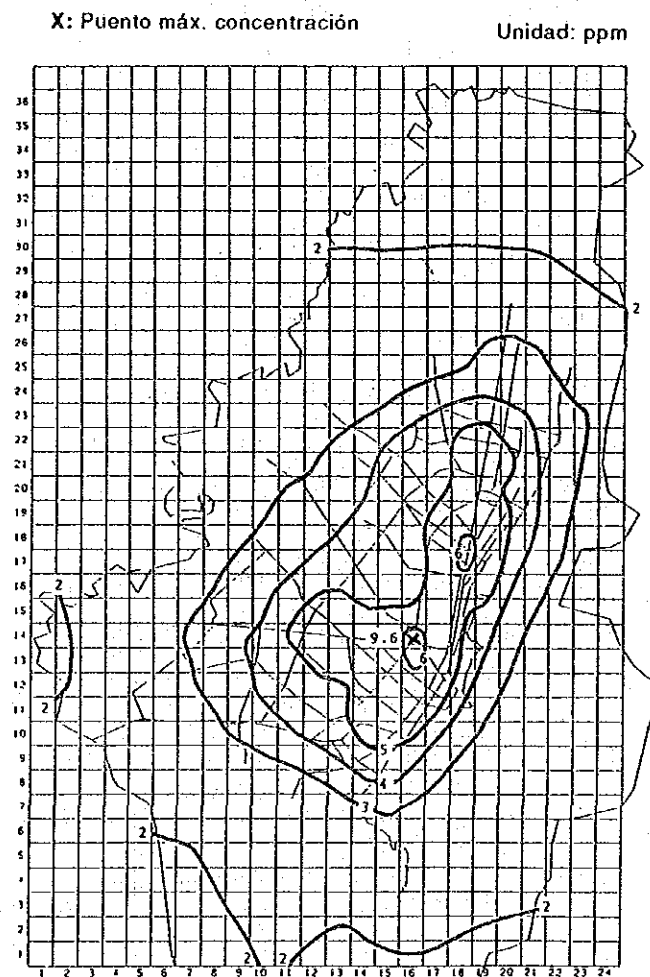
El SO₂ excede la norma relativa al punto de máxima concentración es de 43.7 ppb.

El NO₂ satisface la norma del medio ambiente tanto en las estaciones de monitoreo como en el punto de máxima concentración, aparece 50 ppb en el

punto de máxima concentración, y este valor viene a estar a un nivel de concentración casi igual a la norma (53,2 ppb).

El CO excede el valor de la norma del medio ambiente en oasí todas las estaciones de monitoreo, a excepción de una estación. Las concentraciones son las altas excediendo 4,0 ppm en las zonas amplias urbanas de la Ciudad.

Fig. 7.2.1 Isopletas de concentración promedio del CO (Toda fuente)



7.3 Valores objetivo del medio ambiente

La meta de las medidas de control es el cumplir y mantener las normas del medio ambiente del país. Los efectos del control son pronosticados por la simulación de difusión calculándose el volumen de promedio anual y muchas veces se manejan las medidas contra las fuentes de generación en base a la escala de tiempo anual. Por lo tanto, la norma del medio ambiente se fija como el valor medio anual.

Aunque la norma del medio ambiente para la calidad del aire trata con valores medios anuales, existen sustancias contaminantes del aire que se determinan por su valor medio diario o valor horario y es necesario que se satisfagan también estos valores normas. En consecuencia, se utilizan datos de medición y, según las relaciones del valor medio anual con el valor medio diario y con el valor horario, se calcula el valor medio anual que corresponde al valor normal del medio diario y valor horario, y si ese valor fuera más bajo que el valor normal del valor medio anual, se adopta éste como valor objetivo.

Se ha calculado el valor medio anual correspondiente a la norma de corto tiempo utilizando los datos de medición del Estudio, pero en todos los casos se han obtenido valores más altos que el valor medio anual con resultados que se detallan en la siguiente Tabla.

Tabla 7.3.1 Resultado calculado del valor medio anual equivalente

Item	Norma del medio ambiente de Colombia	Valor medio anual equivalente
SO ₂	Medio anual	38,2 ppb
	Medio diario (Valor alto secundario)	152,8 ppb
	Promedio de 3 horas	573,1 ppb
NO ₂	Medio anual	53,2 ppb
SP	Medio anual	100 µg/m ³
	Medio diario (Valor alto secundario)	400 µg/m ³
CO	Promedio de 8 horas	13,1 ppm
	Promedio de 1 hora	43,7 ppm

Note: Los valores de la norma del medio ambiente se convirtieron de unidades de peso a unidades de volumen según las especificaciones de los equipos de medición.

Al respecto, ya que el O₃ se produce del HC no metánico o NO_x por una reacción fotoquímica compleja, para cumplir la norma del medio ambiente en lo que refiere al O₃, es necesario reducir las concentraciones del HC no metánico y NO_x que son sus materias causantes. Puesto que los niveles de concentración del HC no metánico y NO_x para cumplir la norma del medio ambiente en lo relacionado con el O₃ tienen un mecanismo de generación muy complejo, y es insuficiente aún la cantidad de los datos obtenidos, es difícil llegar a una conclusión de inmediato. Se deberá reducir en el presente la alta concentración del HC no metánico a menos de un tercio, tomando 0,5 ppmC de promedio anual como una meta, en términos de relación entre la concentración del HC no metánico y el valor máximo del O₃.

Sumario de los Valores de Meta Ambiental

Item	Valores de meta ambiental
SO ₂	38,2 ppb
NO ₂	53,2 ppb
SP	100 µg/m ³
CO	3,6 ppm
NMHC	0,5 ppmC

7.4 Porcentajes de reducción requeridos

Comparadas las concentraciones pronosticadas para el año 2001 con los valores objetivos para el medio ambiente, tal como se muestra en la Tabla 7.4.1, el valor pronosticado del CO excede al valor objetivo en todas las estaciones, a excepción de la estación D de El Tunal y en la mayoría de las de la zona urbana de la Ciudad. Con respecto al SO₂, la concentración en la estación de monitoreo es inferior al valor objetivo, pero se excede al valor objetivo en zonas parciales, incluyendo el punto de máxima concentración.

Para obtener los volúmenes de emisión de los contaminantes del aire a se calcularon los porcentajes de reducción a ser reducidos, requeridos comparando las concentraciones pronosticadas con los valores objetivos.

Los porcentajes de reducción del CO son del 63% en el punto de máxima concentración de la malla y del 58% en la estación E de San Juan de Dios ubicada a lo largo de los caminos, seguida por la estación A del Servicio de Salud cuya concentración es alta, y se requiere una reducción del 49%. Al observar este resultado, ya que es muy grande el porcentaje de reducción en la circunferencia de caminos donde se recibe muy fuertemente la influencia de los gases de escape de los vehículos, a corto plazo, tiene por objetivo el 49% una reducción del en la estación A del Servicio de Salud, ubicada

valor objetivo en los alrededores de los caminos, el porcentaje de reducción viene a ser de 63%.

Los porcentajes de reducción del SO₂ vienen a ser del 13% en el punto de máxima concentración de la malla y del 0% de porcentaje de reducción respecto a la estación de monitoreo, y su nivel de concentración es alta, cercana al valor de meta del medio ambiente, por lo tanto, se deberá llegar al 26% como porcentaje de reducción teniendo por objetivo de volver esta concentración al nivel de concentración actual.

Ya que el valor pronosticado es inferior al valor objetivo en los sitios de todas las estaciones de monitoreo, el porcentaje de reducción del NO₂ es de 0%, sin embargo, no es tan baja la concentración pronosticada para el futuro, y puesto que es deseable que se mantenga el nivel de concentración actual, el porcentaje de reducción deberá ser de 33%.

El porcentaje de reducción del HC no metánico, que es una de las materias causantes del O₃, ha venido a ser la concentración de un tercio desde el nivel de concentración actual, como se muestra en la subcláusula 7.3 desde el estado de apariencia de la concentración actual. Sin embargo, si se considera que en el futuro el volumen de tráfico de los vehículos será aproximadamente 1,5 veces mayor y que se aumentarán también en la misma razón las otras fuentes de origen que no se incluyen, el porcentaje de reducción requerido viene a ser muy severo, como de un 80%, aproximadamente cuatro quintas partes de la concentración futura.

Finalmente, resumiendo los porcentajes de reducción de los contaminantes, para el CO es del 49 al 63% (a lo largo de los Caminos), para el SO₂ es del 13 al 26% (valor objetivo máximo), para el NO_x es del 0 al 33% (valor objetivo máximo) y para el NMHC es del 80%.

Tabla 7.4.1 Valores pronósticos (en el año de 2001) y porcentajes de reducción

Estación de monitoreo	Calidad del aire	CO (ppm)		NO ₂ (ppb)		SO ₂ (ppb)	
	Valor objetivo	3,6		53,2		38,2	
		Valor pronosticado	Porcentaje de reducción (%)	Valor pronosticado	Porcentaje de reducción (%)	Valor pronosticado	Porcentaje de reducción (%)
(A) Servicio de Salud		7,1	49	38,3	-	18,8	-
(B) Laboratorio		5,1	29	31,8	-	19,8	-
(C) Puente Aranda		4,5	20	32,1	-	27,2	-
(D) El Tunal		2,5	-	17,4	-	12,0	-
(E) San Juan de Dios		8,6	58	46,7	-	26,6	-
El lugar de máxima concentración		9,6	63	50,0	-	43,7	13

**8. MEDIDAS DE CONTROL PARA LAS
FUENTES GENERADORAS**

8. MEDIDAS DE CONTROL PARA LAS FUENTES GENERADORAS

En el presente estudio, las fábricas, establecimientos y vehículos se consideran los objetos del estudio de las medidas de control.

8.1 Fábricas y establecimientos

8.1.1 Actualidad y necesidad de las medidas de control

Según las investigaciones sobre las situaciones reales de instalación de emisión de humo, el número de instalaciones son 381 unidades en total, entre ellas hay 177 calderas de combustible líquido, 27 calderas de carbón, y 83 hornos de cocción de ladrillo y caños de barro, estos 3 tipos suman el 76% aproximada del total.

Están bajo control de una norma de emisión prescripta en la ley establecida en 1979. Pero, dicha norma está definida con un valor poco apropiado para las calderas y los hornos de ladrillo y caños de barro, que son las principales instalaciones emisoras de humo en la Ciudad. Por lo tanto, casi todas las instalaciones no sobrepasan al valor de la norma y no se puede esperar un eficaz control. La mayoría de las calderas son pequeñas y envejecidas con un manejo no apropiado de combustión y emisión de humo negro por combustión incompleta. Como único dispositivo colector de humo, sólo tiene al captador ciclónico de polvos con un bajo rendimiento de un 50 ~ 60%. Además están colocados tan sólo 26 dispositivos, y casi todas las instalaciones emisoras de humo echan el humo no tratado desde chimeneas bajas, afectando a las viviendas de los alrededores.

La proporción de azufre en combustibles es de un 2, 3% en petróleo crudo, un 0,4% en ACPM y del 0,6 al 0,7% en carbón mineral y, como se ve, la de petróleo crudo es la más elevada. Si se calcula la concentración sobre el suelo en caso de utilizar petróleo crudo, con los datos medidos del gas emitidos de fábrica son del 30 al 40 ppb, como concentración máxima/hora de SO₂. Pero, éste es el resultado calculado de una chimenea independiente; en caso que haya mas chimeneas junto a ésta, la concentración se multiplicará y habrá peligro de sobrepasar el valor de la norma.

La situación actual de la concentración de la calida del aire se satisface a las normas de medio ambiente de SO₂, NO_x, y SPM aunque está a un nivel de concentración muy alta. Sobre todo, en cuanto al SO₂, con el desarrollo industrial y aumento de consumo de combustibles, en el futuro se prevee que sobrepasará el valor de objetivo ambiental, por consiguiente, es necesario reducir la cantidad emitida.