

**MODELACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS DE LA ZONA
INDUSTRIAL DE MAMONAL**

JAVIER ALFREDO GOMEZ TRESPALACIOS

WILL JOSE PEÑA CAMARGO

Proyecto de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil

Director

JAVIER MOUTHON BELLO

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS, D.T.

1997

**MODELACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS DE LA ZONA
INDUSTRIAL DE MAMONAL**

JAVIER ALFREDO GOMEZ TRESPALACIOS
//
WILL JOSE PEÑA CAMARGO

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS, D.T.

1997

34211

Nota de aceptación

En nombre de los jurados calificadores se aprueba la propuesta presentada por los estudiantes, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena, 18 de noviembre de 1997

34211

Dando fe al jurado de hoy con el 97-09-10

A Dios y
a nuestros padres por su
incondicional apoyo en la
obtención de nuestros
objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Javier Mouthón Bello, Ingeniero Civil y Director del Proyecto por sus valiosas orientaciones.

Carmelo Jiménez Lombana, Ingeniero Químico y Jefe del Departamento de Control Ambiental de Colclinker, por la asesoría y el apoyo brindado en el desarrollo del proyecto.

Evelis Espitia Camacho, Química Farmaceuta y Responsable del control ambiental en la producción de Ciba Geigy, por sus orientaciones oportunas.

DASALUD, por la alta colaboración brindada en la prestación de los equipos necesarios para la ejecución del proyecto.

Jaime López, Ingeniero Químico y superintendente técnico en la refinería de Ecopetrol.

A todas aquellas personas y entidades que de una u otra forma colaboraron incondicionalmente, con algunos recursos para el proyecto.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
2. DESCRIPCION DE LA ZONA INDUSTRIAL DE MAMONAL	24
2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA DEL COMPLEJO INDUSTRIAL DE MAMONAL	24
2.2 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DE LA ZONA EN ESTUDIO	26
2.2.1 Descripción	26
2.2.2 Localización	30
3. ANTECEDENTES	31
3.1 ASPECTOS LEGALES	31
3.1.1 Antecedentes sobre estudios de impacto ambiental	32
3.1.2 Decreto 02 de 1982	34
3.1.2.1 Normas de Calidad	35
3.1.2.2 Normas de emisión específica por tipo de industria	38
3.1.2.3 Estudios de impacto ambiental	43

3.1.2.4 Tasas retributivas	44
3.1.2.5 Aspectos procedimentales	45
3.2 ANTECEDENTES SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA INDUSTRIAL DE MAMONAL	46
3.2.1 Naturaleza del problema de la contaminación	46
3.2.2 Análisis de resultados	49
4. MARCO TEORICO	52
4.1 ELEMENTOS QUE DEFINEN LA CONTAMINACION ATMOSFERICA	52
4.1.1 Fuente	53
4.1.2 Transporte	55
4.1.3 Receptores	57
4.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACION EN LOS SERES VIVOS Y LOS BIENES DE USO COMUN	59
4.2.1 Efectos de los contaminantes sobre el hombre y los animales	59
4.2.2 Umbral-Tolerancia-Adaptación	63
4.2.3 Efectos de los contaminantes sobre los bienes de uso	64
4.2.4 Efectos de los contaminantes sobre la vegetación	65
4.3 METEOROLOGIA BASICA APLICADA A LA EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS Y SU PROCESO DE MEZCLA	66

4.3.1 Estructura general y térmica de la atmósfera	66
4.3.2 Transferencia de calor en la atmósfera	68
4.3.3 Radiación solar	73
4.3.4 Vientos	74
4.3.4.1 Rotación de la Tierra y circulación general de los vientos	74
4.3.4.2 Balance de fuerzas	80
4.3.4.3 Influencia de los factores topográficos en la contaminación Atmosférica	82
4.3.5 Procesos de mezcla	85
4.3.6 Estabilidad e inestabilidad atmosférica	86
4.3.6.1 La ecuación del estado	87
4.3.6.2 El primer principio de la termodinámica	88
4.3.6.3 Procesos adiabáticos	90
4.3.6.4 Gradiente Adiabático de Temperatura del Aire Seco (GATAS)	92
4.3.6.5 Aire húmedo	96
4.3.6.6 La inversión atmosférica	97
4.4 PRINCIPIOS DE LOS MODELOS DE DISPERSION	100
4.4.1 Modelos de dispersión	100
4.4.2 Técnicas de modelación	101
4.4.3 Modelo puntual de Gauss	102
4.4.4 Coeficientes de dispersión	107
4.4.5 Máxima altura de mezcla	113

4.4.6 Elevación de plumas	114
4.5 SISTEMATIZACION DE LOS MODELOS DE DISPERSION	120
4.5.1 Modelo PTMAX	124
4.5.2 Modelo PTDIS	125
4.5.3 Modelo PTMTP	127
4.6 CALIBRACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN	129
4.7 MECANISMOS DE CONTROL DE EMISIONES DE PARTÍCULAS	132
5. METODOLOGIA	140
5.1 CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE MAMONAL	141
5.2 ANALISIS DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS APLICADAS A LA MODELACION	143
5.2.1 Vientos	143
5.2.2 Estabilidad atmosférica de la zona	144
5.3 PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS RECEPTORES DE INTERES	149
5.4 ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS SITIOS DE RECEPCION SELECCIONADOS	151
5.4.1 Método gravimétrico para el análisis de material particulado	151
5.4.2 Calibración del equipo de muestreo	152

5.4.3 Toma de muestras	159
6. RESULTADOS	161
6.1 CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS (CIBA, COLCLINKER Y ECOPETROL - 1996)	161
6.2 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS DE LA ZONA	164
6.2.1 Análisis de los vientos	164
6.2.1.1 Vientos provenientes del Norte	165
6.2.1.2 Vientos provenientes del Noreste	165
6.2.1.3 Vientos provenientes del Noroeste	166
6.2.1.4 Vientos provenientes del Oeste	166
6.2.1.5 Vientos provenientes del Suroeste	167
6.3 PROYECCION DE LAS EMISIONES A TRAVES DEL MODELO PTMAX	169
6.3.1 Criterios para el análisis de los resultados obtenidos en el modelo PTMAX	170
6.3.1.1 Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para Ciba Geigy	171
6.3.1.2 Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para COLCLINKER HORNOS 1 Y 2	171
6.3.1.3 Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para COLCLINKER HORNO 3	172

6.3.1.4	Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para ECOPETROL	173
6.3.2	Definición de las áreas recomendadas para la toma de Muestras	179
6.4	PROYECCION DE LAS EMISIONES A TRAVES DEL MODELO PTMTP	181
6.4.1	Información sobre los puntos de recepción	181
6.4.2	Condiciones micrometeorológicas de la zona en estudio	182
6.4.3	Análisis de los resultados obtenidos a través del modelo <i>PTMTP</i>	183
7.	CONCLUSIONES	187
7.1	ANALISIS COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO	187
7.2	ANALISIS COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES DE BIOXIDO DE AZUFRE Y BIOXIDO DE NITROGENO	191
7.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	192
8.	BIBLIOGRAFIA	197

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos y frecuencias para la medición de la calidad del aire	37
Tabla 2. Normas de emisión para fábrica de cemento	41
Tabla 3. Normas de emisión para otras industrias	42
Tabla 4. Fuentes de contaminación atmosférica en Mamonal – Cartagena	48
Tabla 5. Muestreo de concentraciones de Material Particulado(1988)	49
Tabla 6. Constantes que determinan los coeficientes de dispersión	109
Tabla 7. Clasificación general de los modelos de dispersión	121
Tabla 8. Modelos más usados y sus características	122
Tabla 9. Clasificación de la estabilidad según Pasquill-Gifford	147
Tabla 10. Clasificación de la estabilidad como una función de la radiación neta y de la velocidad del viento según Turner	147
Tabla 11. La insolación como una función de la altitud solar	147
Tabla 12. Calibración del Hi - Vol	154
Tabla 13. Análisis gravimétrico de filtros	160

Tabla 14. Control de emisiones CIBA-GEIGY (1996)	161
Tabla 15. Control de emisiones COLCLINKER (1996)	162
Tabla 16. Control de emisiones ECOPETROL (Regenerador de Ruptura Catalítica - 1996)	162
Tabla 17. Suma de emisiones CIBA, COLCLINKER, ECOPETROL (1996)	162
Tabla 18. Estimación de la descarga total del sector Industrial de Mamonal (1989)	163
Tabla 19. Area de población civil seleccionada para el muestreo	179
Tabla 20. Puntos de muestreo seleccionados a lo largo de la Zona Industrial de Mamonal	180
Tabla 21. Localización de las chimeneas en la zona industrial de Mamonal	181
Tabla 22. Localización de los puntos de recepción	182
Tabla 23. Condiciones micrometeorológicas mas representativas para la zona industrial de Mamonal	183
Tabla 24. Análisis comparativo de las concentraciones en los sitios de interés para material particulado	187
Tabla 25. Análisis comparativo de las concentraciones en los sitios de interés para SO ₂ y NO ₂ .	191

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. División de la atmósfera según el gradiente de temperatura	67
Figura 2. Representación esquemática de la circulación general de los vientos	76
Figura 3. Dirección de los vientos en las capas superiores de la atmósfera según las fuerzas de presión y de Coriolis	81
Figura 4. Balance de las fuerzas de presión, fricción y de Coriolis	82
Figura 5. Perfil de temperatura para una atmósfera inestable o superadiabática	94
Figura 6. Perfil de temperatura indicando la inversión atmosférica	98
Figura 7. Representación de los términos del modelo gaussiano	106
Figura 8. Coeficientes de Dispersión	111
Figura 9. Determinación gráfica de los coeficientes de dispersión	112
Figura 10. Determinación de la máxima altura de mezcla	114
Figura 11. Forma y operación de los ciclones	134
Figura 12. Multiciclones	135

Figura 13. Detalle de un scrubber tipo "Tray Tower"	136
Figura 14. Filtros de manga o de tela	138
Figura 15. Precipitador electrostático	139
Figura 16. La insolación como función de la altitud solar	146
Figura 17. Muestreador de Alto Volumen (Hi - Vol)	156
Figura 18. Equipo de calibración del muestreador de alto volumen	157
Figura 19. Curva típica del calibrador	158
Figura 20. Histograma circular – Rosa de los Vientos (17 años de muestreo. Estación Aeropuerto Rafael Nuñez IDEAM)	168
Figura 21. Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para CIBA GEIGY	175
Figura 22. Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para COLCLINKER HORNO1 Y 2	176
Figura 23. Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para COLCLINKER HORNO 3	177
Figura 24. Resultados obtenidos a través del modelo <i>ptmax</i> para ECOPETROL	178
Figura 25. Promedio de las concentraciones (MP, SO ₂ , NO ₂) obtenidas a través del modelo PTMTP para fuentes múltiples	186
Figura 26. Localización de los sitios recomendados para el control de la calidad del aire en la zona industrial de Mamonal	196

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Información meteorológica (IDEAM)

Anexo B. Cuadro de resumen de cálculos de emisión de contaminantes (Ciba - Geigy y Ecopetrol)

Anexo C. Calibración del Hi - Vol (Colclinker)

Anexo D. Corporaciones Autónomas Regionales. Ley 99/93

Anexo E. Formularios del muestreo de partículas en los sitios de recepción

Anexo F. Datos de entrada y salida modelos PTMAX y PTMTP

Anexo G. Fotografías

Anexo H. Algunas muestras recopiladas en los sitios de recepción

INTRODUCCION

El ingeniero actual orienta sus exploraciones al aprovechamiento eficaz de los recursos naturales que están a su alcance, procesándolos debidamente para dar soluciones a las limitaciones que en el proceso de desarrollo de una comunidad se presenten, obteniendo con ello un beneficio para la humanidad, pero sobre todo se deben invertir esfuerzos en controlar adecuadamente las alteraciones que se causan a los ecosistemas naturales que se ven afectados con sus incursiones. Es por ello, que en estos tiempos se está tomando conciencia de la necesidad de guardar un equilibrio entre el desarrollo industrial y la naturaleza, de tal manera que no resulte afectada irreversiblemente por las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

La contaminación en general encierra una complejidad que necesita de todas las ciencias que el hombre ha desarrollado para su estudio, por lo que es necesario incursionar en las diferentes áreas que cobija este tema. En este proyecto se busca desarrollar un estudio de contaminación atmosférica por emisiones de NO_2 , SO_2 y Material Particulado, de diversas fuentes fijas con

emisiones específicas en el sector industrial de mamonal, conociendo las características de las fuentes y las condiciones meteorológicas, estableciendo pautas y parámetros que faciliten determinar la concentración de sustancias tóxicas en un espacio determinado a través de una modelación matemática.

Los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto se basan en la utilización del modelo PTXXX, para la emisión de una fuente en particular y para una combinación de ellas. El estudio realizado centra su atención en tres fábricas en las cuales fue posible tener acceso a la información.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este proyecto es desarrollar la aplicación de un modelo existente de dispersión de contaminantes atmosféricos para determinar las concentraciones de algunos poluentes (NO_2 , SO_2 y Material Particulado) en el aire ambiente de la zona industrial de mamonal y puntos receptores adyacentes, y a su vez confrontar las concentraciones obtenidas a través del modelo, con muestreos en los principales puntos receptores. Luego con base en lo anterior emitir un concepto general sobre la calidad del aire en la zona industrial de Mamonal y sus posibles puntos de influencia. Tales concentraciones se presentan como producto de las emisiones de algunas fábricas de la zona industrial de mamonal.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilación de los datos de emisión de contaminantes (NO_2 , SO_2 y Material Particulado) de las fuentes, producto de los estudios isocinéticos que en las industrias del sector se realizan en las chimeneas.
- Obtener los registros meteorológicos y climatológicos que son los aspectos que determinan el transporte y proceso de mezcla de los contaminantes en la atmósfera, cuyo registro y control es efectuado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y estudiar como afectan estos fenómenos las emisiones obtenidas a través de una modelación.
- Efectuar mediciones de la concentración de material particulado utilizando un muestreador de partículas en suspensión de alto volumen (Hi - Vol), en puntos estratégicos ubicados teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la modelación, la presencia de seres vivos principalmente el hombre, y las condiciones de acceso y normal funcionamiento del equipo.
- Hacer un análisis comparativo de las concentraciones de material particulado obtenidas a través de la modelación y del muestreo.

- Comparar las concentraciones obtenidas para cada tipo de contaminante por medio de la modelación, con las normas establecidas por el gobierno a través del Ministerio del Medio Ambiente.
- Darle al proyecto un enfoque didáctico sumado al carácter investigativo, que lo constituya como un texto básico de consulta para posteriores investigaciones en el área.
- Seleccionar los posibles puntos de control de la calidad del aire en la zona industrial de Mamonal para material Particulado.

2. DESCRIPCION DE LA ZONA INDUSTRIAL DE MAMONAL

2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA DEL COMPLEJO INDUSTRIAL DE MAMONAL

Desde los últimos 20 años del siglo XIX hasta los primeros del siglo XX se creó la base económica de la Cartagena Industrial, con la creación de industrias manufactureras por parte de inmigrantes y nacionales de la clase adinerada.

A partir de la década de los 20, el desarrollo industrial fue mas bien vegetativo, y sin gran importancia a nivel nacional. Hasta mediados de la década de los 50 se dio un gran impulso a este desarrollo con la instalación de la refinería de petróleo lo cual motivó a inversionistas nacionales y extranjeros hacia ésta área.

Es así como en la década de los 60 se instalan empresas en Mamonal como son: Alcalis, fábrica de soda cáustica y sal (1961); Petroquímica, en 1964; Dow Química, 1965; Vikingos, 1969 entre muchas otras más. Las décadas siguientes se han caracterizado por el desarrollo y el surgimiento de grandes industrias. Hoy en día en el sector de Mamonal se ubican más de 100 empresas en pleno desarrollo y existen muchos planes y proyectos que contribuirán al crecimiento de la zona, como es el caso de la zona industrial de la Candelaria (1).

(1) García, D. Y Díaz, E. Bases para el ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica que atraviesa la vía a Mamonal, 1996

2.2 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

2.2.1 Descripción: El sector de Mamonal cuenta con una localización estratégica al contar con una extensa franja frente a la Bahía de Cartagena y encontrarse cerca a la ciudad sin producir sobre ella mayores interferencias; posee una refinería de petróleo, gasoducto y oleoducto, que constituye uno de sus principales atractivos sin mencionar otros aspectos de singular importancia que lo caracterizan como un importante núcleo de desarrollo del país.

La zona Industrial de Mamonal cuenta actualmente con una sola vía carretable a través de la cual se comunica con la ciudad (La vía a Mamonal), y están en construcción dos importantes vías que se intercomunican entre sí y que canalizarán el tráfico de interés para esta zona: La Variante de Cartagena y la carretera Gambote-Mamonal.

En Mamonal existen cerca de 100 empresas de diferentes sectores de la producción de las cuales se pueden mencionar las siguientes: Del sector Eléctrico (Corelca, Proeléctrica y Electribol); del sector pesquero (Atuncol, Vikingos,...); del sector manufacturero (Holasa, Colclinker, Lamitech,...); del

sector petroquímico (Agafano, Dow, Ciba, Ecopetrol, Dexton, Cabot, Abocol,...); de otros sectores (Amocar, Astivik, Ciudad Limpia, Promigás,...).

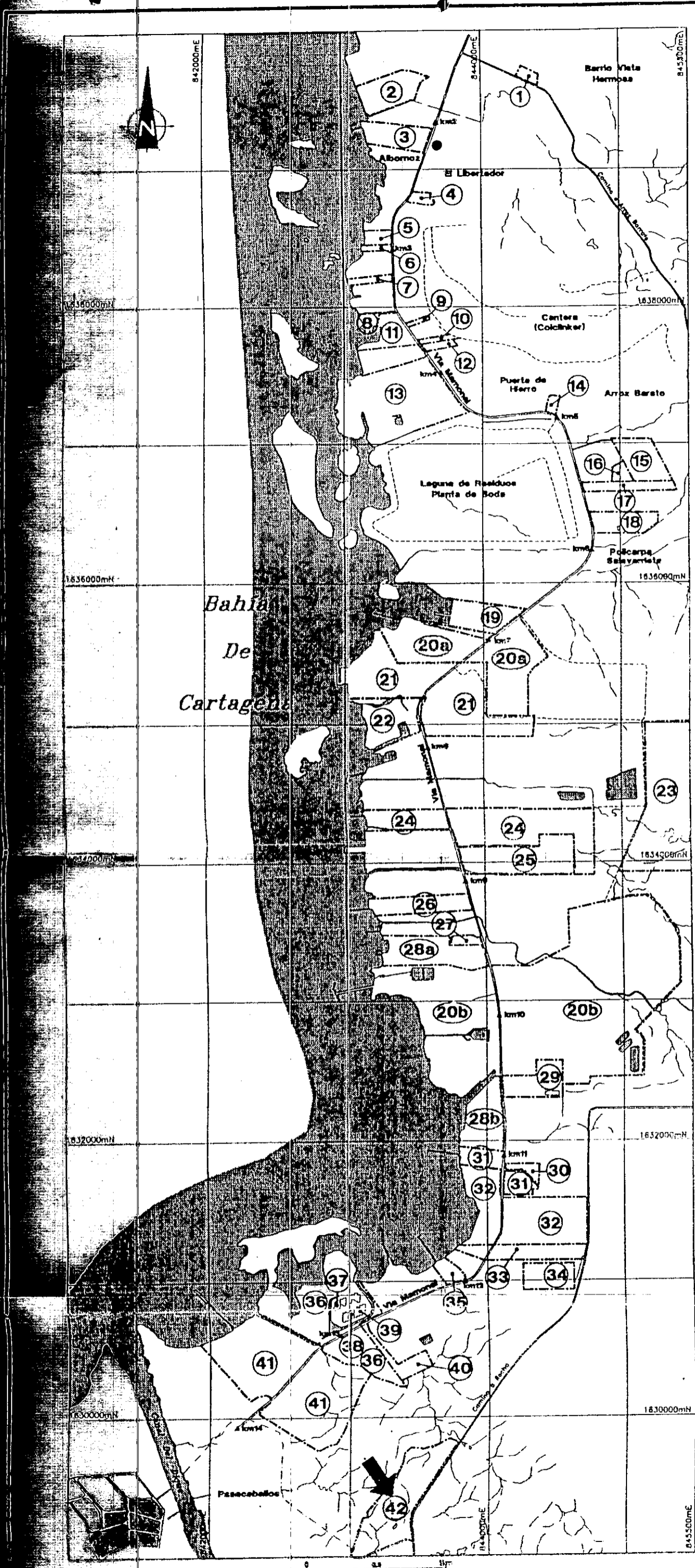
El clima de la zona en estudio es bastante uniforme y se sitúa en el piso término cálido.

En Mamonal no se tienen registros meteorológicos puntuales lo que se constituye en una gran deficiencia en cuanto a información meteorológica y climatológica, sin embargo en la actualidad la Corporación Autónoma y Regional del Canal del Dique (CARDIQUE) adelanta la instalación en el sector de estaciones de control no solo climatológicas sino también de control de la calidad del aire. De acuerdo con los datos recopilados en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se tienen las siguientes características:

- **Precipitación:** El período de lluvia se presenta en los meses de mayo a noviembre, con una marcada intensidad en los meses de septiembre, octubre y noviembre, siendo el mes de octubre el más lluvioso. En los meses de diciembre a abril se presenta tiempos relativamente secos, con muy pocas lluvias destacándose el mes de febrero como el más seco.
- **Temperatura:** Las oscilaciones de temperatura registradas están entre 25,4°C y 29,9°C con una temperatura promedio anual de 27,7°C. El gradiente de temperatura del aire es bajo y se encuentra aproximadamente en 0,6 °C por cada 100 metros de altura.

- **Humedad relativa:** La humedad relativa es alta por la cercanía al mar. Presenta un promedio anual de 80 % con variaciones ligadas a las épocas de lluvias, 77 % para el mes de febrero que es el más seco y 82 % para mes de octubre que es el más lluvioso.
- **Vientos:** La zona tiene una influencia predominante de los vientos alisios que provienen del norte y noreste, especialmente durante el período diciembre - abril. El resto del año son variables en dirección y fuerza.
- **Brillo solar:** Se entiende como brillo solar como el tiempo durante el cual no hay interferencia a los rayos solares por efectos de la nubosidad. En general la zona tiene un alto índice de insolación con un promedio anual de 2670 horas de sol y su distribución mensual sigue una tendencia inversa a la precipitación. Este aspecto trae como consecuencia un elevado índice de radiación neta que junto a las bajas velocidades de viento que se presenta en la zona se establecen situaciones de extremada inestabilidad atmosférica, fenómeno favorable para la dispersión de los contaminantes en las horas del día.

● Oficina de la Fundacion Mamonal



- 1. Indupollo
- 2. Contecar
- 3. Frigopesca
- 4. Matteucci
- 5. Polymer
- 6. Antillana
- 7. Océanos
- 8. Astivik
- 9. Tecnoají
- 10. Etec
- 11. Vikingos
- 12. Concretos Premezclados
- 13. Corelca
- 14. Metalización
- 15. Biofilm
- 16. Proeléctrica
- 17. Promigas
- 18. Ciba Geigy
- 19. Atuncol
- 20a Ecopetrol (Terminal)
- 20b Ecopetrol (Refinery)
- 21. Colclinker
- 22. Electribol
- 23. Zona Franca La Candelaria
- 24. Petroquímica
- 25. Propilco
- 26. Texas Petroleum
- 27. Van Leer
- 28a Esso (Terminal)
- 28b Esso (Lube Plant)
- 29. Amocar
- 30. Ambar
- 31. Dexton
- 32. Abocol
- 33. Paad
- 34. Cabot
- 35. Colterminales
- 36. Zona Franca Industrial
- 37. Cartagena Shrimp
- 38. Comai
- 39. Polyban
- 40. Agrevo
- 41. Malterías
- 42. Ladrillera La Clay

2.2.2 Localización: La zona Industrial de Mamonal se encuentra localizada al suroriente de la ciudad de Cartagena de Indias en el departamento de Bolivar (Colombia). Limita pues al norte y noroccidente con el Distrito de Cartagena de Indias, al occidente con la Bahía de Cartagena, al suroccidente con el corregimiento de Pasacaballos, al oriente y sur-oriente con el municipio de Turbaco y Turbana respectivamente.

3. ANTECEDENTES.

3.1 ASPECTOS LEGALES

La evaluación de impacto ambiental es por excelencia la herramienta mas utilizada en la planificación ambiental de programas y proyectos. Estas evaluaciones son práctica común en mas de 106 paises y han contribuido a que las alternativas de inversión se valoren no solo bajo criterios financieros sino también bajo parámetros sociales y ambientales. Gracias a ellas se ha incorporado la dimensión ambiental en decisiones como la localización de instalaciones industriales, proyectos viales, energéticos o agrícolas en zonas de riesgo geológico o ambiental.

3.1.1 Antecedentes sobre los estudios de impacto ambiental: En Colombia, con la Ley 99 de diciembre de 1993 que organizó el Sistema Nacional del Ambiente, se resalta como uno de los fundamentos de la política ambiental la elaboración de estudios de impacto ambiental, que servirán de "instrumento básico para la toma de decisiones", sobre actividades que afecten notoriamente al medio ambiente (Ley 99/93, art.1, numeral11). En esta dirección el Decreto 1753 de 1994, reglamentario del título VIII de la Ley 99, ha definido el proceso de evaluación de impacto ambiental como instrumento de planificación del entorno. Para el efecto se han definido los estudios de impacto ambiental, las audiencias públicas y, como innovación colombiana, los diagnósticos ambientales de alternativas.

Los estudios de impacto ambiental fueron adoptados por países como Colombia, con base en la experiencia norteamericana e introduciendo las modificaciones que los hicieran más aplicables a las condiciones nacionales. En forma explícita el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente, establecido por el Decreto 2811 de 1974, en su artículo 27 indica:

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que proyecte realizar o realice cualquiera obra o actividad susceptible de producir deterioro

ambiental, está obligada a declarar el peligro presumible que sea consecuencia de la obra o actividad.

Igualmente el artículo 28 proclama:

Para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquiera otra actividad que, por sus características, pueda producir deterioro grave a los recursos renovables o al ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental previo y, además, obtener licencia.

Esta formulación básicamente repite las consideraciones introducidas por el NEPA (National Environmental Policy Act) de 1969, Ley Política Nacional Ambiental la cual entró en vigencia el 1° de enero de 1970. La propuesta de preparación de un Código de Recursos Naturales Renovables de Colombia se debe a la iniciativa de los entonces ministro de Agricultura y gerente del INDERENA, quienes dirigieron el esfuerzo conformando un comité interdisciplinario. El congreso aprobó en 1973 la Ley 23 de 1973, que daba facultades al presidente de la república para "reformular y adicionar la legislación vigente sobre recursos naturales renovables y preservación ambiental, con el fin de lograr un aprovechamiento racional y una adecuada conservación de dichos recursos". El gerente del INDERENA en uno de sus

viajes a Estados Unidos estableció contacto en Washintong, DC, con funcionarios de la EPA (Environmental Protection Agency, entidad federal de protección del medio ambiente), quienes suministraron la información de NEPA y demás regulaciones ambientales.

Posteriormente se discutieron los resultados de los grupos y comités de preparación con una comisión del Congreso formada por dos senadores y dos representantes. El decreto debía ser sancionado por el presidente saliente, Misael Pastrana B., quien al ver las trascendentes implicaciones del Código prefirió dejar la decisión de aprobación al presidente entrante, Alfonso López. Este consideró demasiado exigente el Código argumentando que el país no contaba con la madurez suficiente para manejar y entender una reglamentación de esta naturaleza. A solicitud presidencial se eliminaron cerca de 300 artículos relacionados con la reglamentación, procedimiento y sanciones. Al ser sancionado por el presidente el Decreto 2811, las únicas críticas provinieron de la Asociación Nacional de Industriales, ANDI, que consideraba lesivas para su gremio las estipulaciones de preservación ambiental.

3.1.2 Decreto 02 de 1982: La normatividad y control de las emisiones de los contaminantes atmosféricos en lo que respecta a la calidad del aire, se encuentran estipulados en los Decretos 02 de 1982, en cuanto a fuentes fijas

de contaminación (Chimeneas), y el 2206 de 1983, que trata el procedimiento a seguir para su aplicación.

El Decreto 02/82 fundamentalmente considera cinco grandes áreas:

3.1.2.1 Normas de Calidad: Las normas de calidad de aire consignadas en el Decreto son el resultado del análisis y resumen de normas internacionales sumada a la información suministrada por especialistas en el área de la salud pública relacionada con los efectos de los contaminantes en la salud humana.

Las normas de calidad del aire según el agente contaminante son las siguientes:

- **Partículas en suspensión.** El promedio geométrico de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas, en un intervalo de 12 meses, no deberá ser superior a 100 microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 24 horas que se puede, sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de cuatrocientos microgramos por metro cúbico ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Dióxido de Azufre (SO_2).** El promedio aritmético de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas, en

un intervalo de 12 meses, no deberá exceder en ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La máxima concentración recolectada en forma continua durante 24 horas que se puede sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 3 horas que se puede sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de ($1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Monóxido de Carbono (CO). La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 8 horas es de ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante una hora es de ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Oxidantes fotoquímicos expresados como ozono (O_3). La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante una hora que se puede sobrepasar, por una sola vez en un periodo de 12 meses, es de ($170 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Oxidos de Nitrógeno medidos como Dióxido de Nitrógeno (NO_2). La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante 24 horas en un intervalo de 12 meses es de ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), tomados como promedio aritmético de las muestras diarias recolectadas.

Nota : Las normas sobre calidad de aire señaladas en el artículo representan concentraciones medidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia (25°C de Temperatura y presión barométrica igual a 760 mm de Hg). Para

determinar las normas sobre calidad de aire que correspondan a las condiciones locales, se aplicará la siguiente ecuación:

$$\text{Norma Local} = \text{Norma de Calidad en C. de R.} \times \frac{\text{p.b. Local} \times 298^{\circ}\text{K}}{760 (273+t^{\circ}\text{C})}$$

Entiéndase en la ecuación anterior lo siguiente:

C. de R. = Condiciones de Referencia

p.b. = Presión barométrica local en mm de Hg.

t = Temperatura promedio ambiente local en °C.

Para determinar los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos (calidad de aire) en un sitio específico, se deben utilizar los siguientes métodos y frecuencias para la medición de contaminación del aire:

Tabla 1

Métodos y frecuencias para medición de calidad del aire

TIPO DE CONTAMINANTE	METODO DE ANÁLISIS	FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO
- Partículas en suspensión	Gravimétrico por muestreador de alto volumen	Una muestra tomada en forma continua, durante 24 horas cada tres días
- Dióxido de azufre	Calorimétrico utilizando la pararosanilina	Una muestra tomada en forma continua, durante 24h cada 3 días
Monóxido de Carbono	Analizador infrarrojo no dispersivo	Una muestra diaria tomada en forma continua de 6a.m. a 10p.m. en periodos de 8h
-Oxidantes fotoquímicos	Quimiluminiscencia de fase	Una muestra diaria tomada en

como (CO ₂)	gaseosa	forma continua de 6a.m. a 6p.m.
-Oxidos de Nitrógeno como (NO ₂)	Jacob y Hochheiser	Una muestra tomada en forma continua, durante 24 horas cada tres días.

3.1.2.2 Normas de emisión específica por tipo de industria: Las emisiones en el presente decreto comprenden los contaminantes del aire, visibles o no visibles, producidos por cualquier fuente fija artificial, que produzca contaminación del aire. Es de gran importancia saber que el Ministerio de Salud podrá regular la emisión de cualquier sustancia contaminante no considerada en el presente decreto, previa la expedición de la norma de calidad correspondiente, si a su juicio la presencia de dicha sustancia en el aire causa o puede causar efectos nocivos sobre la salud humana o sobre el ambiente, a fin de que se cumplan las normas sobre calidad de aire.

Casos en los cuales se prohíben la descarga de contaminantes en el aire

Se prohíbe la descarga de contaminantes en el aire tales como partículas, Oxidos de azufre, Oxidos de Nitrógeno y Neblinas ácidas, por parte de cualquier persona pública o privada, en los siguientes casos :

- En cantidades o concentraciones superiores a las establecidas por las normas de emisión señaladas en el decreto.
- Por medio de chimeneas que no cumplan con los requisitos y especificaciones señaladas en el presente decreto.
- Cuando con las emisiones se causen concentraciones, a nivel del suelo evaluadas teniendo en cuenta una declaración de impacto ambiental, superiores a las normas permitidas para calidad del aire señaladas en el decreto.

A continuación se hará el comentario de apartes de algunos artículos importantes expuestos en el decreto:

Artículo 37: Se prohíbe la instalación o ubicación de fuentes fijas artificiales nuevas de contaminación del aire en lugares donde la concentración de contaminantes que se pueden atribuir a las fuentes existentes, adicionadas con la que pudiera causar la fuente nueva, exceda las normas de calidad del aire dispuestas en el decreto.

Artículo 40: La altura mínima de descarga de contaminantes al aire es de 15 metros medidos a partir del suelo. Tampoco podrá ser inferior a la altura señalada en cada caso, según las normas del decreto.

Artículo 44: En los terrenos o áreas que pertenezcan a un mismo dueño y no presenten solución de continuidad física, los procesos similares podrán ser considerados como una unidad para efectos de determinación de la norma y las responsabilidades que pueden derivarse de su incumplimiento.

Parágrafo: El total de las emisiones producidas por los diferentes puntos de descarga en una unidad de procesos similares será el que se compare con la norma. Cuando no se cumpla la norma, la autoridad correspondiente exigirá una reducción de la emisión o el establecimiento de controles directos adecuados, todo lo cual podrá realizarse en uno o varios puntos de descarga.

Artículo 45: Cálculo de la altura equivalente. Cuando quiera que se presenten varios puntos de descarga en procesos similares, ubicados en un terreno o área que no presente la solución de continuidad física, de conformidad con lo establecido en artículo 44 para comparar la altura de descarga con la altura de referencia, se calculará una altura equivalente a aquella, mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$H_{eq} = \frac{\sum H_i Q_i}{\sum Q_i}$$

H_{eq} = Altura equivalente de los puntos de descarga.

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

H_i = Altura de descarga del punto i , en metros.

Q_i = Gastos a través del punto de descarga i , en metros cúbicos por minuto.

Artículo 54: Normas de emisión para fábricas de Cemento. Los hornos de clinker de las fábricas de cemento no podrán emitir al aire ambiente partículas en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 2.

Tabla 2
Normas de emisión para fábricas de cemento

Máxima producción diaria de cemento ton/día	Zona Rural Kilos/Ton	Zona Urbana Kilos/Ton	Altura de referencia (metros)
500 ó menos	9.00	6.00	30
600	8.00	5.20	35
700	7.32	4.60	40
800	6.74	4.20	45
1000	5.88	3.50	50
1500	4.59	2.50	55
2000	3.85	2.00	60
2500	3.35	1.70	65
3000 ó más	3.00	1.50	70

La norma de emisión a que se refiere este artículo está señalada e kilos de partícula por tonelada producida de cemento.

Artículo 70: Normas de emisión para otras industrias. Las industrias distintas de las específicamente reguladas en los Artículos 48,54,62 y 66 del Decreto, no podrán emitir al aire ambiente partículas en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 3.

Tabla 3
Normas de emisión para otras industrias

Producción horaria en ton de producto terminado	Zona Rural (Kilos/Hora)	Zona Urbana (Kilos/Hora)	Altura Referencia metros	de en
0.1	3.01	1.50	15	
0.5	5.96	2.98	15	
1.0	8.00	4.00	15	
2.0	14.67	7.33	15	
3.0	20.92	10.46	15	
4.0	26.91	13.45	15	
5.0	32.71	16.36	15	
10.0	60.00	30.00	20	
20.0	79.82	41.21	20	
30.0	94.32	49.62	25	
40.0	106.17	56.60	25	
50.0	116.39	62.70	30	
100.0	154.91	86.20	35	
200.0	205.93	118.30	40	

300.0	243.33	142.42	50
400.0	273.92	162.50	60
500.0 ó más	300.27	180.00	70

La norma de emisión a que se refiere este artículo está señalada en kilos de partícula por hora. Los valores están indicados para ubicación de fuentes a nivel del mar y para alturas del punto de descarga igual a la ALTURA DE REFERENCIA señalada. Cuando la fuente esté ubicada a una altura diferente a la del nivel del mar los valores señalados se deberán multiplicar por el valor **K**, indicado en el artículo 42 del decreto.

3.1.2.3 Estudios de impacto ambiental: El Ministerio de Salud para la instalación o modificación de una fuente fija artificial de contaminación del aire cuya magnitud lo amerite, o cuando sus emisiones sean susceptibles de causar efectos adversos en la salud y bienestar de las personas, exigirá que se presente un ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL; previo a la iniciación de la construcción o instalación de la fuente, y como requisito para obtener la autorización sanitaria de instalación y la autorización sanitaria de funcionamiento. Un estudio de impacto ambiental consta de:

- Una descripción general del proyecto, que incluye, un diagrama de flujo de los procesos de producción y operación, indicando los puntos de descarga a la atmósfera, materias primas que se utilizarán en el proceso, producción

diaria en toneladas, combustibles a utilizar y su composición química, características del gas a emitir, lo referente a los equipos de control para cumplir con las normas de emisión y la disposición final del material recolectado por los equipos de control.

- Identificación y delimitación del área de influencia del proyecto, conforme con lo expedido por el Ministerio de Salud.
- En el área de influencia del proyecto se debe describir calidad del aire, condiciones meteorológicas y rosa de los vientos, condiciones topográficas, uso de la tierra, áreas urbanas y densidad de población y la identificación y localización de otras fuentes de contaminación del aire.
- Se debe estimar la concentración promedio anual y promedio diario, producida por la emisión de contaminantes, utilizando los modelos de dispersión que el Ministerio de Salud establezca.
- Identificar las alternativas de control y altura de chimeneas o ductos según el Decreto.
- Identificar los efectos probables producidos por el proyecto en el área de influencia.

3.1.2.4 Tasas retributivas: Por medio del Decreto 02/82 y siendo considerado el aire como un recurso natural renovable, la utilización de él para la descarga de contaminantes, será grabado con tasas retributivas. En el

Decreto se establecen dos tipos de tasas : Una que cubre a las industrias que, a partir de la fecha que determine el Ministerio de Salud no cumpla con las normas de emisión del mencionado Decreto y por lo tanto viertan mas cantidad de contaminantes de los allí definidos ; el segundo tipo de cobro se realizará a aquellas industrias que hayan ejecutado los planes de control que el Ministerio exige pero que, por inconvenientes ajenos a la voluntad de la industria, como por ejemplo, fallas en diseño o en el montaje de los equipos, no dan cumplimiento a las normas de emisión fijadas.

3.1.2.5 Aspectos procedimentales: La base fundamental que operará el Ministerio con el objeto de licenciar a las industrias, es la de racionalización en su manejo, es decir hacer las exigencias mínimas de documentos necesarios para evaluar una industria, la definición ágil y oportuna sobre la magnitud del problema de contaminación que origina y la capacidad de respuesta gubernamental en cuanto a los aspectos técnicos, administrativos y humanos se refiere.

3.2 ANTECEDENTES SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA INDUSTRIAL DE MAMONAL

El estudio más reciente del impacto sobre la calidad del aire en Cartagena se realizó en mayo de 1989, como parte del "Estudio Socioeconómico y Ambiental de la zona Industrial de Cartagena", dirigido a la evaluación histórica de la contribución del sector industrial de Mamonal al desarrollo de Cartagena. A continuación se presentan las principales características de este estudio.

3.2.1 Naturaleza del problema de la contaminación: Los principales contaminantes atmosféricos en Mamonal son el material particulado y los gases. Proviene del uso de combustibles como gas natural, fuel oil y ACPM(diesel) en el desarrollo de los procesos de refinería de petróleo, elaboración de productos químicos y minerales no metálicos; presentan la siguiente composición:

- GASES : Oxidos de Nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos y óxidos de carbono.

- **MATERIAL PARTICULADO:** Carbón, fertilizantes en suspensión, partículas de lavado con arena, materiales empleados en la fabricación del cemento(caliza, arcilla, etc.), impurezas metálicas y carbonatos.

Inicialmente se revisó el archivo de registro de fuentes de contaminación atmosférica del Ministerio de Salud y se recopiló información sobre el consumo de combustibles, la producción industrial sectorial y los factores de emisión de la EPA, según el tipo de combustible utilizado y los productos elaborados (Tabla 4).

"Se estimó que la descarga atmosférica de material particulado en la zona industrial de Mamonal podría alcanzar las mil toneladas/día, si no existieran equipos de control. Sin embargo, la información obtenida en el Ministerio de Salud reduce esta emisión teórica potencial a seis toneladas diarias, debido al control en cada una de las industrias. Así mismo, se estimaron las descargas de óxidos de azufre (SOx) en 40 toneladas/día, óxidos nitrosos (NOx) en 29 ton/día y otros gases como el amoniaco (NH₄) en 5 ton/día. Para éstos contaminantes no existían mediciones de la descarga producida por las industrias de Mamonal"(1).

(1)SANCHEZ, Ernesto. Licencias Ambientales. Evaluación de impacto ambiental: Instrumento de planificación. Departamento Nacional de planeación – Ministerio del Medio Ambiente. TM Editores.

Tabla 4
FUENTES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA EN
MAMONAL-CARTAGENA.

INDUSTRIA	EMISIONES ATMOSFERICAS CALCULADAS SIN CONTROLES		
	POR QUEMA (g/s)	COMBUSTIBLES(g/s)	POR PROCESO DE PRODUCCION
PETROQUIMICA COLOMBIANA	0.0009	8.0E-4 SOx 1.2E-2 NOx	11.3 Cloruro de Vinilo
ABOCOL	0.18	2.28 SOx 0.61 NOx	0.85 fluoruros NH4
AMOCAR			31.7 NO2, 316 NH4 140 hidrocarburos
ALCALIS	0.56	0.03 SOx 7.68 NOx	20.3 NH4
DOW QUIMICA	0.0024	2.3E-3 SOx 3.4E-2 NOx	0.20 NO3 0.10 NH4
CIBA-GEIGY	0.00054	3.0E-3 SOx 4.5E-2 NOx	0.40 NO3 0.20 NH4
FRIGOPEISCA	0.0032	8.1 SOx 1.22 NOx	
CABOT	0.0051	2.4E-4 SOx 0.07 NOx	
COLCLINKER			103 SO2 26 NOx
MATTEUCCICURT			
ELECTROBOLIVAR	0.93	0.040 SOx 12.80 NOx	
CORELCA	1.59	0.080 SOx 21.90 NOx	
ECOPETROL	0.99	0.050 SOx 13.70 NOx	

Fuente: FEDESARROLLO

Se calcularon las emisiones de los contaminantes y la distribución de concentraciones en el área de influencia próxima a la zona industrial de Mamonal, empleando el modelo de dispersión atmosférica PTXXX, elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA. Este modelo requiere una información básica relacionada con las condiciones climatológicas del área en cuanto a temperatura, velocidad, dirección del

viento y estabilidad, características físicas de las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos y las propiedades de los gases arrojados a la atmósfera.

Como fuentes principales de emisión se tomaron las chimeneas de las plantas industriales, que aportan los mayores volúmenes de gases, seleccionando once fuentes puntuales. La altura efectiva de la chimenea para cada planta industrial se calculó como el promedio ponderado de las alturas de las chimeneas, de acuerdo con el volumen de gases emitido de las chimeneas de esa planta, siguiendo el procedimiento establecido por el Ministerio de Salud.

3.2.2 Análisis de resultados: Algunas mediciones de partículas suspendidas realizadas por el Servicio Seccional de Bolívar se presentan como promedio geométrico en la tabla 5.

Tabla 5. Muestreo de concentraciones de material particulado (1988)

MES	NUMERO DE MUESTRAS	CONCENTRACION DE PARTICULAS $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Junio de 1988	9	74.9
Julio de 1988	9	79.2

Fuente: FEDESARROLLO

La norma establece como valor máximo permisible para material particulado $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, expresado como promedio geométrico de las concentraciones medidas en un año de muestreos. Entonces, los valores de contaminación por partículas no han alcanzado valores críticos pero revisten importancia para ser considerados en un estudio de consideración.

La contribución del sector industrial a la concentración de partículas en Mamonal representa mas del 30% y alcanza valores superiores a $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor tiende a disminuir progresivamente y se reduce al 10% en el sector sur donde la influencia de la zona industrial es menor. En cuanto a NO_x y SO_x el aporte al sector industrial alcanza valores superiores al 50% del valor máximo permitido para muestras de 24h y es menor en el sector sur con valores cercanos al 5% de valor estipulado en la norma.

El estudio elaborado por Ecopetrol en 1988, determinó que en Cartagena las refinerías se encuentran alejadas de la ciudad y el aporte de contaminantes es inferior a los límites internacionales. Existen otras industrias con mayores emisiones que se suman a la contaminación del sector. Considerando que la magnitud de las emisiones en Barrancabermeja era más importante, las recomendaciones sobre técnicas de control de la contaminación atmosférica allí formuladas se consideraban aplicables al complejo de Cartagena.

Los valores de concentración obtenidos para una distancia de 12 Km fueron:

- Partículas..... $1\mu\text{g}/\text{m}^3$
- CO..... $1\mu\text{g}/\text{m}^3$
- SO₂..... $6\mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO_x..... $1\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Compuestos orgánicos..... $2\mu\text{g}/\text{m}^3$

A partir de ellos se obtiene que los valores de SO₂ y compuestos orgánicos presentan un valor significativo en la concentración, pero afortunadamente no superan las normas internacionales.

4. MARCO TEORICO

4.1 ELEMENTOS QUE DEFINEN LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

El decreto 948/95 mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, define contaminación atmosférica como el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire. Entiéndase por contaminantes los fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Para que exista un caso de contaminación atmosférica debe cumplirse la relación fuente – transporte – receptor.

4.1.1 Fuente: El origen de la contaminación del aire es la fuente de emisión. Estas fuentes son:

- Transporte
- Producción de energía eléctrica
- Incineración de residuos
- Consumo de combustibles
- Procesos industriales

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar de muchas formas: de acuerdo al tipo de fuente, al tipo de emisión, debido a su procedencia, según el tamaño de las partículas que emiten, según la composición química de los polutantes...

Algunas manifestaciones físicas y químicas de los contaminantes son:

Polvos: Son Partículas sólidas dispersas en un gas originadas por la desintegración mecánica de algún material.

Humos : Son pequeñas partículas originadas por condensación de un vapor supersaturado, conteniendo concentraciones relativamente elevadas de sustancias con baja presión de vapor.

Nieblas :Son suspensiones de pequeñas gotas líquidas formadas por la condensación del vapor, aunque algunas veces también por atomización.

Aerosoles : Un aerosol es una suspensión de partículas líquidas o sólidas en el aire. Otra definición apunta que son nubes de partículas microscópicas y submicroscópicas en el aire, tales como humo, niebla o neblina.

Gases de sulfuro: SO_2 , SO_3 , H_2S . El SO_2 resulta de la combustión y se oxida a SO_3 y luego a H_2SO_4 . El H_2S es fácilmente quemado a la forma de SO_2 y generalmente no es producto de la combustión. Resulta de procesos industriales (Industrias del petróleo, caucho). Es muy tóxico.

Oxidos del carbono: El CO se encuentra en el aire de muchas ciudades y es producido por las combustiones incompletas de material orgánico. El CO_2 existe en concentraciones hasta de 600 ppm y en general no se considera como un contaminante. En el aire se encuentra en concentraciones naturales de 300 ppm. Se requieren concentraciones de 5000 ppm para que afecten la respiración del hombre.

Gases Nitrogenados: Resultan de combustiones a altas temperaturas, como en el motor de un automóvil, refinerías, complejos metalúrgicos etc.

Hidrocarburos : Proviene de los exostos de los carros y causan irritación en los ojos.

Aldehídos y cetonas: Se producen por la oxidación de hidrocarburos.

Acidos orgánicos: Son emitidos con los aldehídos y las cetonas.

4.1.2 Transporte: El transporte de contaminantes es efectuado principalmente por los factores meteorológicos, climatológicos y topográficos.

Los meteorólogos han conocido desde hace muchos años que el movimiento vertical del aire en la atmósfera depende del gradiente de temperatura con la altitud. Cerca de la superficie de la tierra la temperatura disminuye con la altura normalmente. Cuando la tasa de disminución de la temperatura es más rápida, la mezcla vertical es más pronunciada. Cuando la temperatura aumenta con la altitud la mezcla vertical es casi nula. Este fenómeno es conocido como inversión de temperatura.

Bajo condiciones adiabáticas, la temperatura del aire seco disminuye 2.2°C por cada aumento en la altitud de aproximadamente 300 m.

El fenómeno de inversión atmosférica ocurre en la superficie o capas superiores. Una inversión ocurre en las noches claras con pocos vientos. En esta situación el terreno calienta el aire superficial por un proceso natural del terreno, debido a las ondas térmicas que se escapan a la atmósfera. La capa de aire cerca de la superficie del terreno resulta más fría que las capas superiores y por esto la circulación vertical se detiene. El aire caliente se levanta y el frío se asienta. El aire cálido que trata de levantarse encuentra aire superior más caliente, por lo que no podrá elevarse. Esta inversión desaparece cuando el sol calienta nuevo la superficie de la tierra la mañana siguiente.

Las escalas meteorológicas donde ocurre el transporte de los contaminantes atmosféricos se clasifican de la siguiente manera:

- Macroescala. Cuando los fenómenos ocurren sobre miles de kilómetros.
- Mesoescala. Cuando los fenómenos ocurren sobre centenares de kilómetros.
- Microescala. Cuando los fenómenos ocurren a distancias inferiores de 10 kilómetros. Como por ejemplo las dispersiones de humo de una chimenea.

Los efectos micrometeorológicos se desarrollan en cuestión de minutos u horas. Los mesometeorológicos influyen en el transporte de contaminantes y la dispersión durante horas o días. Las escalas macrometeorológicas duran de días a semanas.

4.1.3 Receptores: Los receptores de la contaminación del aire son directamente el hombre, los animales, la vegetación, los materiales, etc. Existe evidencia real de que la contaminación atmosférica afecta la salud de las personas y de los animales, daña las plantas, ensucia y deteriora los materiales, afecta el clima, reduce la visibilidad y la radiación solar, y en general dificulta el disfrute de la vida y de las cosas.

Algunos de estos efectos son característicos y se pueden medir como por ejemplo los daños causados a la vegetación y los materiales, la mayoría de ellos son difíciles de medir, como lo es el caso de los daños causados a la salud del hombre y de los animales. Esto ha dado como resultado un desacuerdo en referencia a los aspectos cuantitativos de la contaminación del aire.

En cuanto a los efectos de la contaminación del aire sobre las propiedades atmosféricas más importante se mencionan la visibilidad, la cual se ve

reducida a causa de los efectos producidos por las moléculas y las partículas sobre la radiación visible por la absorción y dispersión de la luz. Las modificaciones climatológicas debido a la contaminación de aire surgen como consecuencia de la "bóveda" de contaminantes situada encima de una ciudad. La formación de nieblas tiene su proceso de formación debido a la presencia de altas concentraciones de SO_2 en la superficie de las partículas en un ambiente húmedo, que de otro modo no se producirían.

4.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS SERES VIVOS Y LOS BIENES DE USO COMÚN.

4.2.1 Efectos de los contaminantes sobre el hombre y los animales:

En los últimos decenios los grandes desastres de contaminación aérea ocurridos en Pensylvania, en el Valle del Meuse, Bélgica y en Londres han demostrados que las masas de aire gravemente contaminadas con humo y otros desperdicios industriales y domésticos pueden causar un gran incremento en las tasas de mortalidad y morbilidad por padecimientos pulmonares.

Actualmente existe una preocupación que se está incrementando acerca de los peligros a largo plazo de la salud por los niveles de contaminación atmosférica comunmente presente en el aire urbano. Aunque no existe duda de que algunos contaminantes atmosféricos pueden tener efectos graves en las vías respiratorias, no se ha establecido bien su contribución a la prevalencia de enfermedades respiratorias crónicas, aunque pueden agravar los padecimientos pulmonares preexistentes.

Los dos tipos principales de masas de contaminantes atmosféricos son el smog oxidante y el smog reductor. El smog oxidante es aquel que se forma

por las oxidaciones fotoquímicas de los productos de desecho de los automóviles en el aire ambiente. Aunque los componentes del smog oxidante tienen una importante actividad biológica, no existen pruebas epidemiológicas claras que relacionen la contaminación oxidante con los padecimientos respiratorios. Las concentraciones de ozono similares a aquellas en el smog oxidante causan cambios significativos en el funcionamiento pulmonar experimentalmente. El NO_2 y el O_3 trastornan la actividad bacteriana pulmonar.

El Bióxido de azufre es un gran irritante componente principal del smog reductor, y es altamente absorbible en las vías respiratorias superiores. Causa cambios en la función pulmonar en concentraciones de aproximadamente 1 ppm, mayor que aquellos del aire urbano. Sin embargo el SO_2 puede disolverse en agua y formar SO_3 iónico; también es posible que el SO_2 y sus derivados puedan ser absorbidos como partículas y alcanzar las vías respiratorias en forma concentrada.

Las partículas son las responsables de la falta de visibilidad, del ensuciamiento y de efectos indeseables similares de la contaminación aérea. Aun las partículas relativamente inertes pueden afectar las vías respiratorias, a pesar de que grandes cantidades son necesarias para producir tales efectos en el laboratorio. El tamaño y la forma de la partícula y su constitución

química son más importantes que sus cantidades absolutas. Las partículas específicas que se ha demostrado que son una amenaza para la salud y que están asociadas a contactos comunitarios son los asbestos, los polvos de carbón y los polvos de algodón.

El monóxido de carbono se combina fuertemente con la hemoglobina, los niveles bajos de CO (en el rango de 10 ppm) producen efectos importantes en el transporte del O₂ evitando que la hemoglobina se combine con O₂ y también impidiendo que el O₂ se libere periféricamente.

Los efectos de los gases irritantes en las vías respiratorias superiores son frecuentes con los gases altamente solubles tales como el NH₃ y el SO₂, los cuales se disuelven inmediatamente en el moco de la nariz y la garganta, mientras que solo una pequeña cantidad alcanza las vías respiratorias inferiores.

La mayor parte de los aerosoles naturales contienen partículas con un amplio rango de tamaño; en los aerosoles líquidos un número relativamente pequeño de partículas grandes contienen más del 90% de las sustancias tóxicas o terapéuticas. De ahí que los efectos dependen del sitio en que se depositan las partículas grandes y no de aquel en el que se depositan las mucho más numerosas partículas pequeñas, las cuales constituyen sólo una

pequeña fracción del total de la masa del aerosol. Cuando las partículas de aerosol son inhaladas, algunas se depositan en las vías respiratorias y en los pulmones, dependiendo de su tamaño, peso, forma, y en especial su velocidad de sedimentación. Las partículas grandes (Mayores de 10 micrones de diámetro) tienden a impactarse o a detenerse en la nariz y en las vías respiratorias superiores, mientras que las partículas más pequeñas (Menores de 0.10 micrones) pueden comportarse como moléculas grandes, si es que son retenidas se depositan en las vías respiratorias de pequeño calibre y en los alveólos. Las partículas de tamaño intermedio tienden a sedimentarse por la acción de la gravedad.

Los efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud dependen básicamente de:

- Propiedades físico - químicas de los poluentes: Incluye el tamaño, densidad, viscosidad, forma, carga eléctrica, volatilidad, solubilidad y reactividad química.
- Tiempo de exposición: Este es un factor muy importante ya que la población no está expuesta durante una jornada laboral, sino durante las 24 horas del día.
- Concentración : Interesa para los probables efectos agudos y crónicos sobre la salud. Deben por lo tanto determinarse las concentraciones

máximas permisibles para el ambiente de una ciudad y con diferentes tiempos de exposición.

La duración y medición de la concentración son medidas de la dosis total recibida por el humano. La rata a la cual es recibida la dosis total puede influir en la respuesta.

Los grupos más susceptibles a los efectos de la contaminación son los niños, ancianos y los enfermos.

4.2.2 Umbral - Tolerancia - Adaptación: Los efectos biológicos no se observan hasta que no se alcance un cierto nivel. Este nivel se llama "Dosis Umbral" y lo podemos definir como el mínimo de dosis requerida para causar un efecto detectable.

Este concepto es importante bien sea bajo el punto de vista teórico o práctico, ya que por debajo de ésta dosis umbral no deberían existir efectos adversos.

La existencia del umbral se debe, en parte a la presencia de una "tolerancia" en el humano hacia un poluyente específico. La tolerancia representa la habilidad del organismo del hombre para soportar la exposición a un

poluente sin que aparezcan efectos adversos. El nivel de tolerancia a los agentes ambientales está directamente relacionado con algunas características básicas como son: Nivel socio – económico, estado nutricional, edad, sexo, etc.

El concepto de "adaptación", implica un aumento en la tolerancia, a largo plazo y en presencia de niveles bajos de exposición a un ambiente contaminado.

La "habilidad" para adaptarse varía con la población y esta determinada con el nivel socio – económico y características individuales: Anatómicas, bioquímicas y psicológicas.

Aunque los niveles actuales de contaminación pueden causar efectos sobre la salud muy ligeros o inclusive inexistentes, debe prevenirse un mayor deterioro de la calidad del aire actual en las ciudades.

4.2.3 Efectos de los contaminantes sobre los bienes de uso: Los contaminantes atmosféricos pueden afectar los materiales, bien sea ensuciándolos o deteriorándolos en su composición química. Elevadas concentraciones de humo y de partículas están asociadas con el

ensuciamiento de la ropa y de las estructuras. Partículas ácidas o alcalinas, en particular las que contienen azufre, corroen materiales tales como la pintura, contactos eléctricos y los tejidos. El ozono es particularmente eficaz en deteriorar el caucho.

4.2.4 Efectos de los contaminantes sobre la vegetación: Los contaminantes reconocidos como fitotóxicos (Sustancias dañinas para la vegetación) son el SO_2 , el nitrato peroxiacetilo (Un producto de la oxidación en el smog fotoquímico) y el etileno. El cloro, el cloruro de hidrógeno y el mercurio son menos tóxicos. En general los contaminantes gaseosos que entran a la planta por los estomas, junto con el aire necesario, durante el proceso normal de respiración de la planta, una vez en la hoja de la planta los contaminantes destruyen la clorofila e interrumpen la fotosíntesis. Los daños pueden variar desde una reducción en la velocidad de crecimiento de la planta hasta su muerte por completo. Los síntomas del daño pueden aparecer en las hojas siendo posible en muchos casos conocer el contaminante en cuestión por medio de los síntomas específicos.

4.3 METEOROLOGIA BASICA APLICADA A LA EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS Y SU PROCESO DE MEZCLA.

4.3.1 Estructura general y térmica de la atmósfera: Según la definición establecida por la organización meteorológica mundial, la atmósfera se divide en cuatro regiones: La troposfera, la estratosfera, mesosfera y la termosfera.

La figura 1 ilustra como se divide la atmósfera según sus capas, división que se ha basado en la variación de la temperatura con la altitud de la atmósfera.

La troposfera es la región más próxima a la superficie de la Tierra. La parte inferior de esta región se calienta desde abajo con la energía solar absorbida por la superficie del globo y en las capas bajas de la atmósfera y ciertas condiciones que desarrollan movimientos convectivos. En esta región se producen la mayoría de los fenómenos meteorológicos. Por encima de la troposfera se ubica la estratosfera. Esta región es calentada por arriba debido a la absorción de la radiación ultravioleta solar por el ozono. La estratosfera está caliente en la parte alta y fría en la base, por lo que la convección o no existe o es débil.

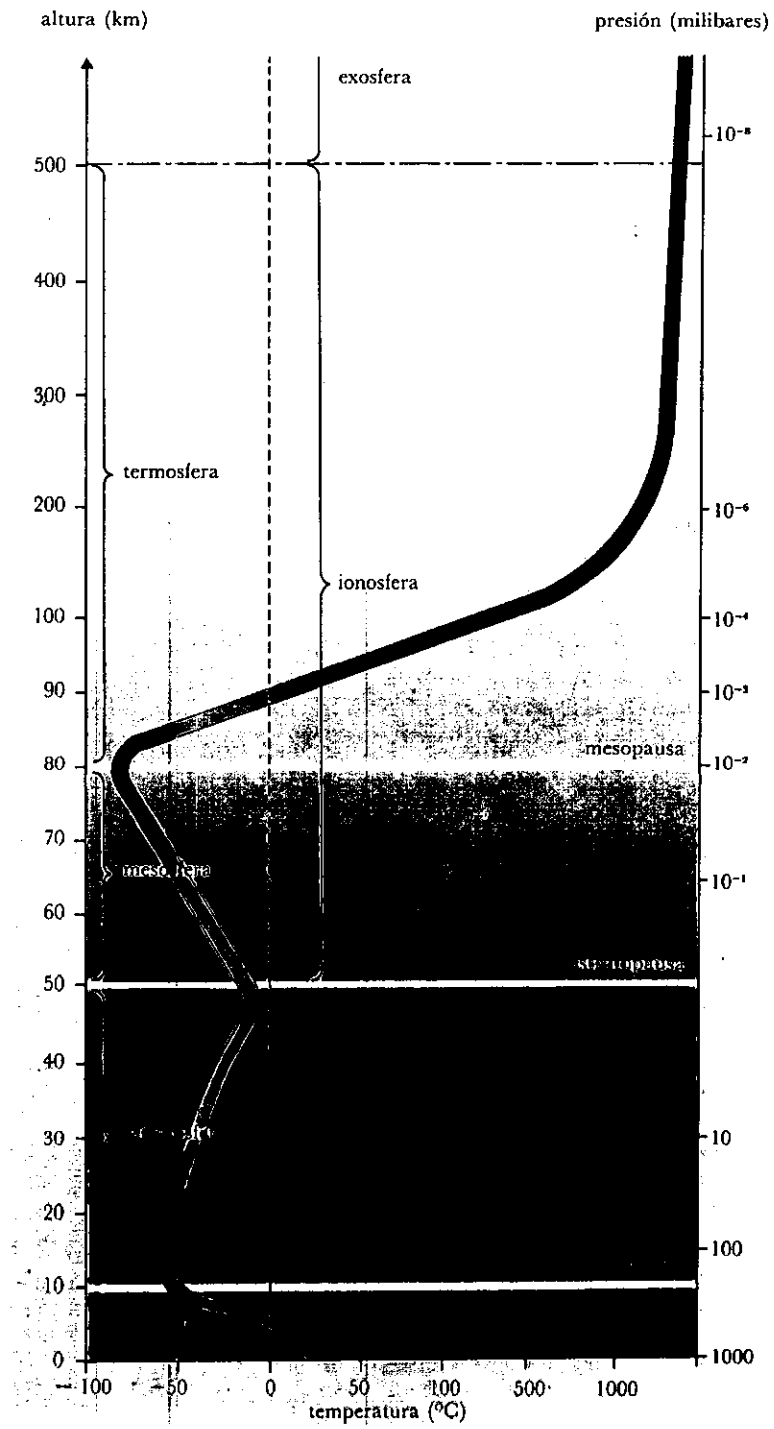


Figura 1.
División de la atmósfera según el gradiente de temperatura

La troposfera y la estratosfera están separadas por la tropopausa, ésta no constituye sin embargo una superficie continua que rodee el globo terráqueo.

La mesosfera es la región que se extiende por encima de la estratosfera. En esta región la temperatura disminuye de manera general con la altitud. Está limitada en su parte inferior por la estratopausa y en su parte superior por la mesopausa.

Por encima de la mesopausa existe una región donde se produce una absorción de radiación solar y la temperatura aumenta con la altitud. Esta región se denomina termosfera.

4.3.2 Transferencia de calor en la atmósfera: En término medio el 43% aproximadamente de la radiación solar que llega a la atmósfera exterior es absorbida por la superficie de la tierra. Solamente cerca de un 22% de la radiación de corta longitud de onda es absorbida por la atmósfera y, por lo tanto, ésta es muy transparente para la radiación de este tipo de onda que proviene del sol.

La energía de origen solar es absorbida por las zonas continentales y oceánicas de la tierra y convertida en calor. Entonces, la temperatura de los

materiales terrestres aumenta según la naturaleza característica que posean cada uno de ellos.

En la tierra la radiación es absorbida por los primeros centímetros de la corteza terrestre y las temperaturas en superficie presentan una marcada variación diurna. En general la temperatura pasa por un mínimo al amanecer, debido a que el suelo no recibe radiación solar durante la noche. Luego aumenta para alcanzar su máximo valor hacia la mitad de la tarde, después que el suelo ha absorbido, durante varias horas, radiación de corta longitud de onda de origen solar.

En el mar por el contrario la variación diurna de la temperatura es débil. El calentamiento del agua debido a la absorción de la radiación solar no se limita a las capas superficiales, sino que es transportado hacia abajo por las corrientes de convección que pueden transferir el calor hasta apreciables profundidades. Esto trae como resultado que en las proximidades de la superficie de los océanos debe ser calentada (o enfriada) una masa de materia mayor que en la superficie continental. Por esta razón, los océanos reaccionan más lentamente que el suelo a los cambios de las condiciones de radiación, tales como los que resultan del paso del día a la noche. Esto justifica las pequeñas variaciones de la temperatura en la superficie de los océanos. Otra razón radica en el hecho de que para elevar en un grado

centígrado la temperatura de un cierta cantidad de agua, se necesita de tres a cinco veces más energía que la necesaria para elevar también en un grado centígrado la misma cantidad de masa de suelo.

La superficie terrestre absorbe, pues, radiación solar y se calienta de manera distinta según su naturaleza. A su vez, la superficie terrestre calienta las capas bajas de la atmósfera por radiación, conducción y convección.

El vapor de agua y el anhídrido carbónico absorben una gran parte de la radiación emitida por la tierra, radiación que se ve asimismo muy afectada por las nubes que absorben y reemiten casi completamente la radiación de longitud de onda larga.

Por la noche, en ausencia de radiación solar directa, la pérdida de calor debido a la radiación terrestre se traduce en un descenso de la temperatura de la superficie del globo. Tal enfriamiento, en noches claras, puede provocar la formación de heladas y nieblas. Por el contrario con cielo cubierto, las temperaturas marginales serán más altas en igualdad de condiciones.

El calor puede ser transferido a las moléculas de los gases atmosféricos en contacto con la superficie del globo. Este proceso es el de conducción. Si la superficie del globo está más caliente que el aire que está situado encima, las

capas de aire en contacto se calientan. Por el contrario, si el aire está más caliente que la superficie subyacente, ésta última recibe calor de las moléculas de los gases atmosféricos situados en contacto con ella.

Sin embargo los gases son malos conductores del calor. La conducción no constituye, pues, un proceso importante de transferencia de calor más que en la delgada capa de aire en contacto directo con la superficie del globo. Tal capa no tiene generalmente más que algunos centímetros de espesor y, por encima de ella, no tiene sino una importancia muy pequeña en la atmósfera.

Una forma más importante de transferencia calórica es la convección. Este proceso no se ejerce más que en los fluidos (líquidos y gases).

En el proceso de convección, las partículas que transportan el calor son las que se desplazan de un lugar a otro. La causa directa de su desplazamiento es el desequilibrio de presión debido al calentamiento de una parte del fluido.

La diferencia de presión entre dos niveles dados de un fluido es igual al peso de la columna de fluido de sección unidad comprendida entre estos niveles.

Si una parte del fluido se calienta, se dilata y se hace menos densa. De donde resulta que la fuerza de gravedad que se ejerce sobre ella disminuye y su peso se reduce.

Los movimientos de un fluido producen a su vez otras diferencias de presión en el seno del fluido y se originan corrientes de convección. El resultado es que las partes frías del fluido se unden, mientras que las partes más calientes, menos densas, se ven forzadas a subir.

El agua es un fluido y en su seno se pueden detectar corrientes de convección, cuando la masa de agua se calienta de forma desigual.

Las corrientes de convección que se desarrollan en la atmósfera pueden transferir de forma relativamente rápida el calor, desde las superficies próximas a la superficie del globo hasta los niveles superiores de la troposfera. El aire en las regiones tropicales cálidas se ve también obligado a elevarse a causa del aire más frío procedente de las latitudes más altas, que le reemplaza.

Pueden establecerse, asimismo, circulaciones aéreas alternadas entre zonas continentales y zonas oceánicas. En cuanto existen diferencias de temperatura, se producen diferencias de presión que dan lugar a corrientes de convección.

4.3.3 Radiación solar: Todos los cuerpos con temperaturas mayores del cero absoluto irradian energía. El sol emite radiación electromagnética como si fuera un gran cuerpo negro de 6000°K. Se puede decir que el 99% de la radiación del sol está en un rango de 0.15 a 4.0 micrones con la máxima intensidad en la región visible. La atmósfera debilita la radiación solar que la tierra recibe, por medio de los fenómenos de absorción, dispersión y reflexión. La absorción es realizada por la capa de ozono que se encuentra a grandes alturas en la atmósfera. Esta absorbe radiación ultravioleta con longitudes de onda menores de 0.29 μ . El vapor de agua y el dióxido de carbono son quienes absorben energía solar de menores longitudes de onda, siendo el papel de las nubes un poco más discreto.

Las moléculas de aire, vapor de agua y partículas pequeñas, dispersan los rayos del sol. Las partículas más grandes reflejan en vez de dispersar todas las longitudes de onda. Cuando aumentan las concentraciones de mayor tamaño en la atmósfera el cielo se torna de color blanco. Debido a los procesos de absorción, reflexión y dispersión, sólo una pequeña parte de la energía solar alcanza la tierra, la cual es absorbida por la tierra, el aire, el agua o es de nuevo reflejada a la atmósfera.

4.3.4 Vientos: La circulación del aire consiste esencialmente en un sistema gigantesco de intercambio térmico consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre por el sol. La intensidad de la radiación solar es máxima en torno al ecuador y mínima en los polos; siendo el ecuador la región más caliente, para procurar un equilibrio térmico, el calor fluye del trópico hacia los polos.

4.3.4.1 Rotación de la Tierra y circulación general de los vientos: Los movimientos del aire sobre las capas superficiales son controlados por los balances de energía. El aire recibe calor de la superficie del terreno cerca del ecuador y cuando se calienta se levanta. Sobre los polos el aire se enfría y desciende hacia el terreno. Si la Tierra no rotara dos corrientes o núcleos de aire circulante se formarían.

El aire caliente del ecuador se levantaría, dividiéndose en dos corrientes que irían respectivamente a los polos. Allí el aire se enfriaría, descendería y regresaría al ecuador para empezar de nuevo el ciclo. Sin embargo las fuerzas de Coriolis modifican éste panorama, agregando condiciones de turbulencia a la superficie.

Las masas de aire frío del polo, las calientes del trópico, la rotación de la Tierra y las fuerzas friccionales hacen que las masas de aire se combinen o formen bruscamente. Esto hace que se formen zonas de bajas presiones (Ciclónicas) y de altas presiones (Anticiclónicas). Cuando se presentan zonas de baja presión, el aire de las zonas de alta presión trata de llenar las de baja presión.

Sin embargo, las fuerzas de Coriolis debidas al movimiento de la Tierra hacen que el aire se mueva en forma de espiral.

El resultado es aire girando en forma de remolinos con grandes vértices. Estos remolinos ocurren principalmente en grandes áreas planas.

En la mitad del siglo XIX, Ferrel señaló que tres células o ciclos en cada hemisferio explicarían muchos factores climatológicos. Este modelo fué mas tarde desarrollado por T. Bergeron y C. G. Rossby.

A cada lado del ecuador hay una célula en la cual el aire tropical se eleva como consecuencia de la absorción de calor. Sin embargo, cuando estas corrientes de aire empiezan su viaje hacia los polos, se enfrían por la emisión de energía radiante hacia el espacio exterior. Una disminución de la temperatura de 1 a 2°C hace que la jornada hacia los polos termine a una

latitud de 30° hacia el Norte y el Sur. Aquí las corrientes de aire descienden hasta niveles bajos en donde emprenden viaje ya sea de nuevo al ecuador o hacia los polos. Las corrientes de aire que convergen hacia los trópicos hacen que se forme un cinturón o franja en la cual los vientos son muy suaves o no existentes durante largos periodos de tiempo. En esta franja el aire presenta una humedad relativa muy alta, que hace que cuando el aire sube y se enfríe, se formen fuertes lluvias. Ver figura 2.

En las zonas templadas, el aire que ha sido calentado en las latitudes medias se dirige hacia el norte (ó sur) y se enfría, descendiendo frente al polo donde termina este frente.

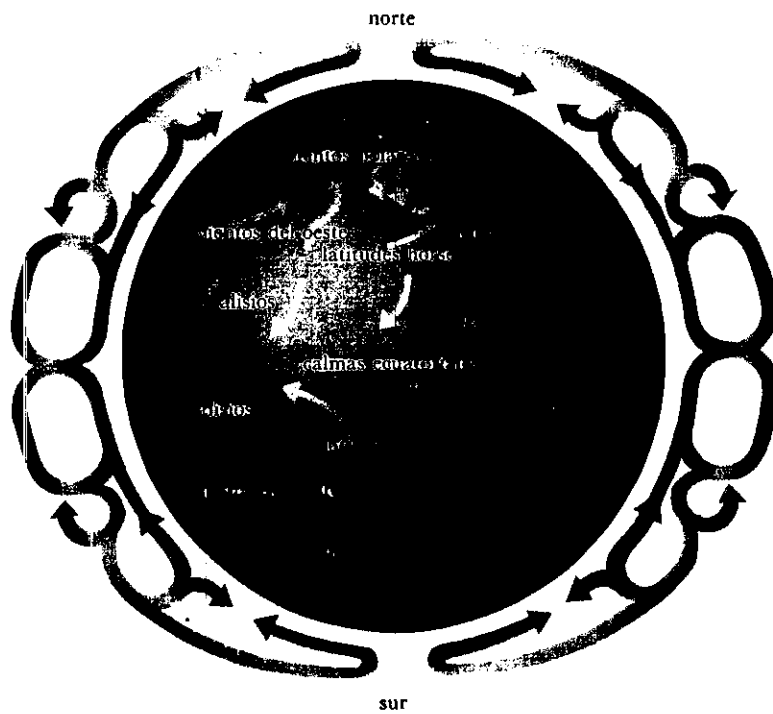


Figura 2.
Representación esquemática de la circulación general de los vientos

El aire polar es muy frío y más denso que el aire sobre el ecuador, por consiguiente la presión y la densidad disminuyen rápidamente con la altitud.

En cuanto a los efectos del viento en la contaminación del aire se ha demostrado que la temperatura de la atmósfera es fundamental en los procesos de contaminación, siendo esto cierto para el viento igualmente.

Este es un parámetro muy importante como se deduce de la simple observación, pues en un día de calma y despejado, se observa que los penachos contaminantes ascienden indefinidamente, mientras que cuando sopla el viento con cierta intensidad, el mismo penacho se dobla, presentando aproximadamente el mismo aspecto que el de una locomotora en movimiento.

Por otra parte, el que el penacho se desplace en uno u otro sentido depende de la dirección del viento. De todo esto se deduce que tanto la intensidad como la dirección del viento son factores que influyen decisivamente en los problemas de la contaminación.

En principio, el efecto principal de la velocidad del viento es el de distribuir la contaminación en un volumen de aire cuya dimensión es proporcional a la velocidad del viento. Por tanto, como una primera aproximación se puede

decir que el grado de contaminación es inversamente proporcional a la velocidad del viento. Ahora bien, esto es lo que ocurriría si la velocidad del viento fuera uniforme, pero al igual de lo que sucede con la temperatura también varía con la altura.

Este fenómeno de la variación de la velocidad en función de la altura a sido muy estudiado y se ha encontrado que dicha variación es una función exponencial:

$$u_1/u_2 = (z_1/z_2)^c \quad (4.1)$$

Si esta fuese la única ley válida, bastaría con determinar la velocidad del viento en dos alturas distintas para conocer el valor de C, pero lo cierto es que las diferencias varían entre 0 y 20 metros.

El valor del gradiente vertical de temperatura es también muy importante para el cálculo del exponente C.

Para gradientes de temperatura pequeños y sólo para éstos el logaritmo de la relación de velocidades es una función lineal. Además, esta ley sólo es válida cuando las diferentes capas de aire son absolutamente homogéneas.

El gradiente vertical de temperatura no es el factor más característico para la definición de los diferentes tipos de atmósfera, sino otro, que es función de la velocidad media del viento, de la forma:

$$(dT/dz)/u^2 \quad (4.2)$$

En función de los valores de estos parámetros, diferentes autores proponen diversas clases de atmósferas tipo.

Si la influencia de la velocidad del viento es importante, no lo es menos el de su dirección. Por regla general, la variación de la dirección del viento con la altura es despreciable en alturas inferiores a 100 m cuando se trata de vientos fuertes y el terreno no presenta obstáculos notables. Sin embargo, cuando los vientos son ligeros, cualquier cambio debido a la superficie de fricción entre capas de aire, distorsión de isóbaras, etc, influye de modo apreciable en la dirección del viento.

Otra importante característica del viento, es la formación de torbellinos o turbulencias de origen mecánico producida cuando el viento atraviesa diversos obstáculos, o por convección térmica. En este último caso, la posibilidad de que se formen torbellinos es mayor cuando los vientos son ligeros que cuando los vientos son fuertes.

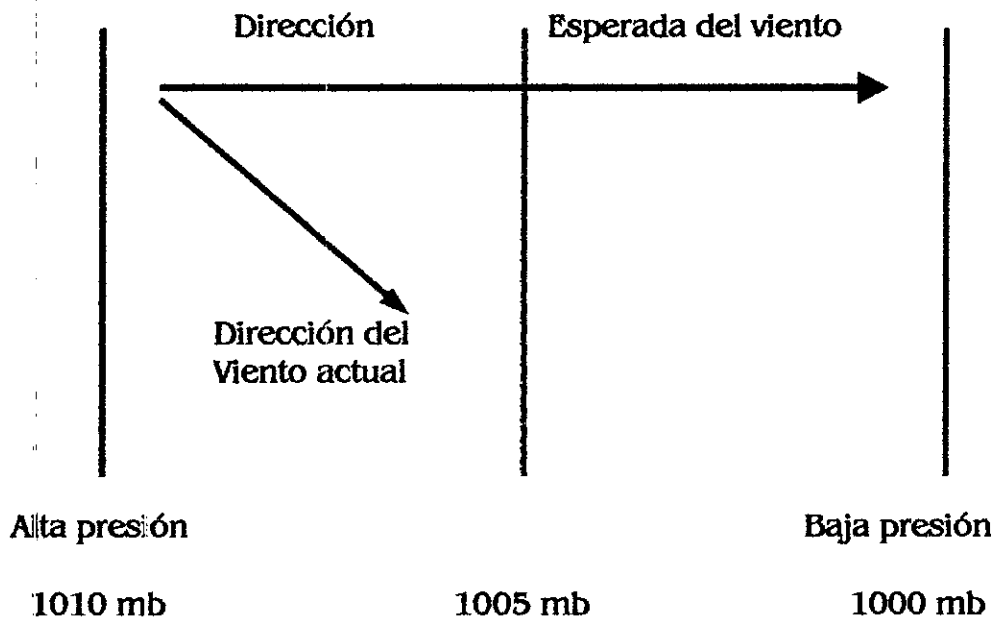
Hay que señalar así mismo que la velocidad del viento se mide con anemómetros mecánicos, en el caso de alturas en o muy cerca de la superficie o de sensores - transmisores en torres meteorológicas, para la determinación de los respectivos gradientes verticales.

4.3.4.2 Balance de fuerzas: En los primeros miles de metros sobre la superficie de la tierra, la velocidad y dirección del viento se hayan determinadas por tres fuerzas:

- Gradiente de presión horizontal.
- Fuerza de Coriolis.
- Fuerza de fricción debida al contacto con la superficie de la tierra.

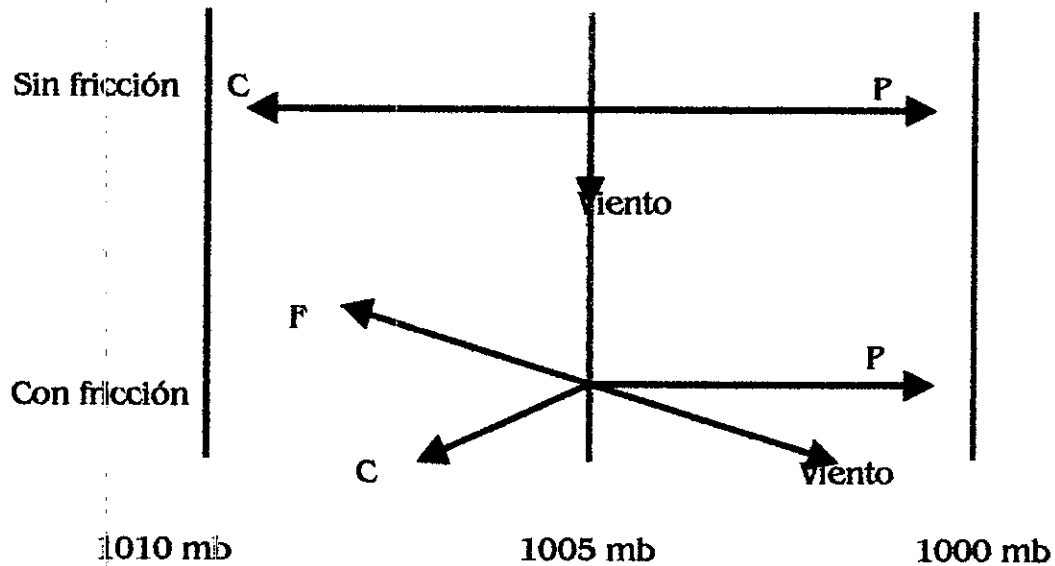
En las capas superiores de la atmósfera las fuerzas de fricción son despreciables, se puede suponer que los vientos van de zonas de altas presiones a zonas de bajas presiones. Sin embargo, las fuerzas de Coriolis resultante de la rotación de la tierra hacen que los vientos se desvíen. El resultado neto, del equilibrio resultante entre las fuerzas de presión y las fuerzas de Coriolis, es un flujo casi paralelo a las líneas de presión constante (isóbaras), como lo muestra la figura 3.

Figura 3
Dirección de los vientos en las capas superiores de la atmósfera según las fuerzas de presión y de Coriolis.



Estos vientos son los llamados geostróficos. Cerca a la superficie de la tierra las fuerzas debido a la fricción aumentan, retardando la velocidad del viento y alterando el equilibrio de fuerzas mostrado en la gráfica anterior, formando el viento un ángulo en relación con el viento geostrófico, observar figura 4. El viento bajo la influencia de las tres fuerzas mencionadas girará suavemente en sentido de las manecillas del reloj y más o menos a una altura de 1000 m el viento resultante es igual en magnitud y dirección al viento geostrófico. Cuando la superficie de la tierra es suave la fricción hará que durante el día, el viento forme aproximadamente un ángulo de 10° con el viento geostrófico. Sobre terrenos con muchos accidentes topográficos este ángulo puede ser hasta de 50° .

Figura 4
Balance de las fuerzas de presión(P), fricción(F) y Coriolis(C).



4.3.4.3 Influencia de los factores topográficos en la contaminación

del aire: En un terreno relativamente plano el estudio de la contaminación atmosférica es relativamente sencillo ya que los datos meteorológicos obtenidos en la zona son representativos para toda ella. Sin embargo, si el terreno es quebrado no puede decirse lo mismo. Por ejemplo, si existe un foco emisor, sopla un viento del norte y hay un angostamiento del relieve al sureste del foco, el uno se propaga en dirección sur hasta llegar al estrecho, que los desvía en dirección sureste.

Así pues los factores topográficos influyen en la dirección y velocidad del viento, pero este es también el caso de la temperatura, ya que las

características del terreno modifican la insolación y, por tanto, el calentamiento o enfriamiento del suelo y el gradiente vertical de la temperatura. Por regla general esta modificación suele ser doble, es decir que afecta el viento y a la temperatura.

Un caso muy típico lo brindan las brisas que soplan desde el mar y la tierra. Las primeras, tienen su origen en el calentamiento del terreno, que es más rápido que el del agua y, por lo tanto, provocan un ligero viento que se dirige desde el mar hacia la tierra.

Durante la noche, ocurre lo contrario, ya que es la tierra quien se enfriará más rápidamente que el mar originando que la dirección del viento se dirija desde ésta hacia el mar. Ambos tipos de brisa son bastante fuertes en los días soleados. La brisa del mar puede llegar hasta alturas de 600 m, mientras que la de la tierra no sobrepasa los 200 m.

Cuando un foco emisor se encuentra en las proximidades de un obstáculo notable y el viento se dirige del obstáculo hacia el foco se originan turbulencias en el penacho que hacen que éste se dirija hacia el suelo; en caso contrario el penacho puede o bien chocar con el obstáculo, o bien sobrepasarlo, o bien deslizarse sobre él según que su intensidad sea mayor o menor.

Si el foco emisor se encuentra en un valle y el viento sopla en la dirección de su eje, la difusión del penacho transcurre normalmente, pero la lateral desaparece en las proximidades de los obstáculos del valle y, por tanto, como el crecimiento de aquel adoptará una forma parabólica al anularse las componentes horizontales, crecerá en dirección vertical.

Una planta industrial debe ubicarse de manera tal que se evite este tipo de problemas, pero en el caso de que ello no fuera posible habrá que tomar las medidas adecuadas.

Otra característica de las zonas con obstáculos es la acumulación de aire frío en las faldas de los montes, hecho que puede dar lugar a la formación de nieblas, lo que a su vez provoca un mayor enfriamiento. Esto determina que existan zonas de una estabilidad muy acusada, mientras que, a pocos kilómetros, e incluso a tan solo unos centenares de metros, en terreno abierto, la atmósfera sea neutra o inestable.

A su vez, estos enfriamientos o calentamientos provocados por diferencias de insolación originan las llamadas brisas de montaña y de valle. La formación de estas brisas tiene el mismo origen que las de mar y tierra; es decir que se deben a la diferencia de densidad entre distintas masas de aire.

En los centros urbanos, los edificios provocan también variaciones de los factores microclimáticos. En otras palabras, cada ciudad crea un microclima particular. En estos casos existe el calor adicional producido por las emisiones, las construcciones y el tráfico, lo que determina que la temperatura urbana sea más elevada que la de las áreas rurales de los alrededores.

En lo que respecta a las modificaciones del viento en las zonas urbanas, todas las antes mencionadas son posibles. De todo lo anterior se deduce que una buena ordenación urbana puede regular considerablemente los niveles de contaminación alcanzables.

4.3.5 Procesos de mezcla: El movimiento del aire es siempre turbulento, en el sentido de que la velocidad y dirección del viento muestran variaciones irregulares. Estas variaciones son debidas a una sucesión de remolinos que se producen de manera irregular, mezclando el aire con el que tienen en torno continuamente. Los movimientos de los remolinos y los procesos de mezcla a que dan lugar son importantes, porque mediante ellos el calor, la humedad y las demás características del aire son redistribuidas a través de capas profundas.

Normalmente, la proporción de mezcla aumentará de abajo a arriba. Así pues, las mezclas debidas a los remolinos de la turbulencia aumentarán el contenido de humedad en la cima de la capa y producirán una sequedad en su parte inferior. Al mismo tiempo, la temperatura disminuirá en la parte de arriba y crecerá en la de abajo. Así se deduce que puede llegar a haber saturación en la parte superior de la capa, puesto que allí aumenta la humedad y disminuye la temperatura.

En ausencia de núcleos de condensación en el aire, son posibles grandes sobresaturaciones; sin embargo, si hay núcleos de condensación, se formaría una capa de estratos en la parte de arriba del aire mezclado. La mayor parte de los estratos que se observan en las capas más bajas de atmósferas están producidos por tales mezclas.

4.3.6 Estabilidad e inestabilidad atmosférica: Para introducir la nomenclatura relativa a la estabilidad, consideremos dos vasos llenos de agua. A uno de ellos lo enfriamos por debajo; entonces la temperatura crecerá hacia arriba y la densidad decrecerá. La estratificación será evidentemente estable. El otro vaso lo calentamos por debajo; entonces la temperatura decrecerá hacia arriba del vaso y crecerá la densidad. Lo más denso queda encima y decimos que la estratificación es inestable. En el caso del agua, que

es incompresible, obtenemos, pues la sencilla regla de que hay estabilidad o inestabilidad según que la temperatura crezca o decrezca hacia arriba.

Por lo mismo, el equilibrio será neutro, si la temperatura y la densidad son uniformes a lo largo de la vertical.

Normalmente la temperatura del aire y su densidad disminuyen con la altura y hay inestabilidad cuando, la disminución de temperatura, por unidad de distancia ascendente excede un cierto valor. Es mas ese "cierto valor" es menor para aire saturado que para aire seco. Para comprender esas condiciones hay que tener en cuenta ciertas leyes que gobiernan el comportamiento de los gases.

4.3.6.1 La ecuación del estado: Esta ecuación que combina la ecuación de Boyle con la de Charles establece que la relación entre la presión (p), la densidad (δ) y la temperatura (T) de un gas es:

$$p = R\delta T \quad (4.3)$$

Donde R es una constante característica del gas de que se trate y T se expresa en $^{\circ}\text{K}$.

A veces, en lugar de la densidad conviene usar el volumen ocupado por la masa unidad, que se llama volumen específico y se designará por α .

Entonces,

$$\alpha = 1/\delta \quad \text{o} \quad \alpha \delta = 1 \quad (4.4)$$

Y la ecuación del gas se puede escribir,

$$\alpha \delta = RT \quad (4.5)$$

4.3.6.2 El primer principio de la termodinámica: Se refiere a los cambios físicos que tienen lugar cuando se quita o se comunica calor a un gas. Es un principio muy importante que junto con la ecuación del gas y la ley del equilibrio hidrostático explica muchos de los fenómenos que ocurren en la atmósfera.

Para introducir el principio imaginemos un experimento muy sencillo. Tenemos una vasija cerrada que contenga la unidad de masa (un gramo) de aire. El volumen que ocupa el aire es lo que hemos llamado volumen específico y como el gas está en una vasija sólida, el volumen se mantendrá constante. Supongamos ahora que suministramos una pequeña cantidad de

calor σh . La temperatura del gas cederá entonces un poco, σT . Considerando el calor específico que se puede escribir:

$$\sigma h = C_v \sigma T \quad (4.6)$$

Se ha añadido el subíndice "v" para poner de relieve que se ha mantenido el volumen y lo que se representa por C_v a volumen constante.

La significación física de esta ley es que cuando el volumen se mantiene constante todo el calor suministrado se aplica a aumentar la energía interna del gas. Como ha aumentado la temperatura mientras se mantenía constante el volumen, por la ecuación del gas se deduce que la presión tiene que experimentar el correspondiente aumento.

Supongamos ahora que las paredes de la vasija son móviles, de modo que el aire caliente pueda expansionarse hasta que su presión se ajuste al valor ambiente. El aumento de volumen del gas se designará por $\sigma \alpha$. Durante su expansión, el aire encerrado tiene que empujar al que rodea la vasija y, por tanto, trabajar contra la presión exterior.

Este trabajo es igual a la presión que hay afuera, p , multiplicada por el aumento de volumen $\sigma \alpha$. Vale, por consiguiente, $p \sigma \alpha$. Se ve entonces que

cuando se suministra calor al aire en libertad para expansionarse, una parte de ese calor debe invertirse en el trabajo de expansión y solo el resto se utiliza para aumentar la temperatura. Como no se puede perder energía:

$$\sigma h = C_v \sigma T + p \sigma \alpha \quad (4.7)$$

Osea, que el calor comunicado va a ser igual al aumento de energía interna mas trabajo de dilatación.

Como el volumen específico no se observa directamente, conviene utilizar la siguiente ecuación equivalente:

$$\sigma h = C_p \sigma T - \alpha \sigma p \quad (4.8)$$

Aquí C_p es el llamado calor específico a presión constante.

La última ecuación es más conveniente ya que los cambios de presión y temperatura son fácilmente medibles.

4.3.6.3 Procesos adiabáticos: Cualquier proceso en el que al aire ni se le comunica ni se le quita calor se llama un proceso adiabático. En el caso de

una bomba de bicicleta, por ejemplo, se modifica la temperatura sin suministro de calor. Por el contrario, se llaman no adiabáticos aquellos procesos en los que se comunica o se quita calor.

En las proximidades de la superficie de la tierra son corrientes los procesos no adiabáticos puesto que el aire intercambia calor fácilmente con la superficie que tiene debajo. A niveles más altos el aire está tan alejado de fuentes de calor, que podemos considerar que los procesos son adiabáticos.

Sin embargo, se deben distinguir dos casos. Si el aire no está saturado y no se suministra calor, el proceso es adiabático seco y los cambios de temperatura se deben a expansiones o contracciones. Tal era el caso de la bomba de bicicleta.

Por otra parte si el aire está saturado y no se suministra calor de fuentes exteriores, el calor latente se liberará si el vapor de agua se condensa. En ese caso se habla de procesos adiabáticos saturados. Los cambios de temperatura del aire son debidos, en parte, a expansiones o contracciones y en parte a la liberación de calor latente.

4.3.6.4 Gradiente Adiabático de Temperatura del Aire Seco (GATAS):

Cuando consideramos hipotéticamente una burbuja o masa de aire seco que se eleva en la atmósfera, sin presencia de mezcla, la masa de aire ascendente sufrirá un enfriamiento. Este enfriamiento es lo que se denomina Gradiente Adiabático de Temperatura de Aire Seco (GATAS), o en inglés Dry Adiabatic Lapse Rate (DALR), siendo esta última sigla más común en la literatura. Este enfriamiento está definido como el gradiente a temperatura "negativa" que es establecido, cuando aire seco se expande adiabáticamente mientras asciende.

Para calcular este gradiente de temperatura, se combinan la ecuación de los gases ideales y la ecuación de la hidrostática, dando como resultado lo siguiente:

$$\lambda = -dT/dz = (\gamma - 1) / (\gamma R) \quad (4.9)$$

$\lambda = 0.995 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$; es el gradiente de temperatura adiabático para el aire seco. Esto quiere decir que la temperatura disminuye 0.995°C (1°C) por cada 100 m de ascenso en la atmósfera, cuando se trata de aire seco. Una razón para el descenso de la temperatura es la alta compresibilidad del aire. Así para una disminución en la presión del aire que asciende, se presenta un ligero aumento en el volumen.

Del mismo modo como decimos que el aire seco que asciende en la atmósfera sufre una disminución de aproximadamente $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ de ascenso también se puede decir que la temperatura aumenta $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ de descenso.

Inicialmente se podría pensar que esta disminución o aumento de la temperatura con la altitud nos define el perfil de temperatura; sin embargo, hay otros factores tales como la intensidad de los vientos, la radiación solar, etc, que afectan el perfil de temperatura. La variación de éste con la altitud, a la temperatura ambiente sería por consiguiente diferente.

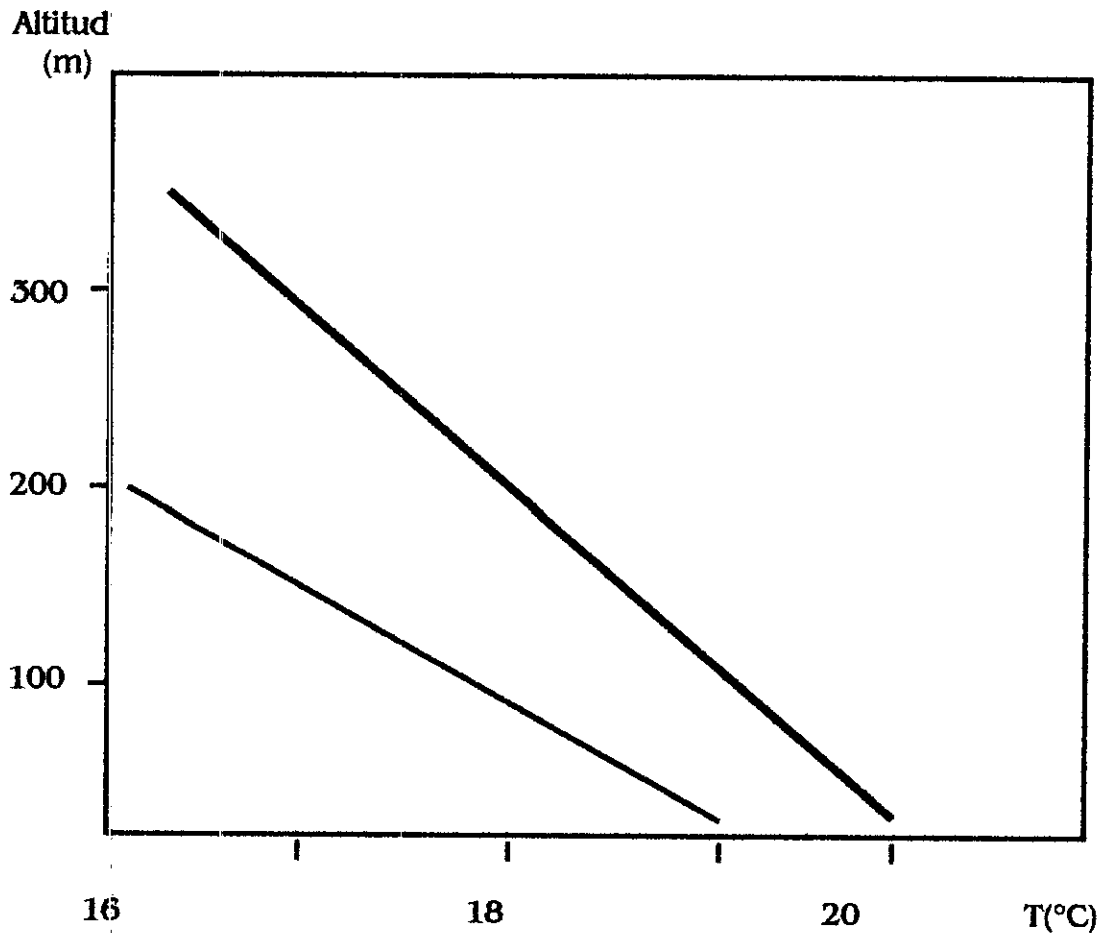
El valor del gradiente de enfriamiento del aire, ó la disminución de la temperatura con la altitud en la parte inferior de la troposfera tiene un gran efecto en el movimiento vertical del aire. Una buena mezcla vertical hará que la concentración de sustancias cerca a la superficie de la tierra sea baja. De la misma manera, la ausencia de mezcla, hace que la concentración de contaminantes aumente.

Una buena mezcla ocurre cuando una masa o porción de aire cálido asciende en la atmósfera sin interrupción.

Supongamos que la atmósfera tiene una tasa de enfriamiento de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ o en otras palabras la atmósfera es más fría que una masa de aire ascendente.

Si una porción o masa de aire se eleva y se enfría a una tasa de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, a medida que aumente la altitud, la diferencia de temperatura entre el aire que asciende y la atmósfera que lo rodea será mayor. A pesar de que ambas temperaturas disminuyen, la porción de aire que asciende está más caliente, siendo cada vez más rápido su ascenso (Ver figura 5). Del mismo modo se puede decir que cuando una porción de aire es más frío que la atmósfera que lo rodea éste desciende más rápidamente.

Figura 5
Perfil de temperatura para una atmósfera inestable o superadiabática



_____ Temperatura de una masa de aire

_____ Atmósfera circundante

Cuando se presenta este tipo de movimiento vertical ya sea hacia arriba o hacia abajo se dice que la atmósfera es inestable. La tasa de enfriamiento que se presenta en este lugar también se dice que es super - adiabática. Esta situación inestable o super - adiabática ocurre cuando hay un calentamiento solar de la tierra muy intenso y no hay un movimiento advectivo que lleve a la atmósfera el aire cálido adyacente a la superficie de la tierra.

Cuando la velocidad de enfriamiento de una porción de aire que asciende en la atmósfera, es mayor que la del aire que lo rodea, se llega un punto en donde ambas temperaturas, la del aire que asciende y la de la atmósfera circundante son iguales. En este punto el ascenso del aire se detiene.

Cualquier movimiento ascendente de una masa de aire será impedido pues esta porción de aire estará ligeramente más fría que los alrededores. Cualquier fluctuación o cambio en la temperatura, hará que la porción de aire suba o baje, pero solo una distancia corta hasta que se alcance de nuevo el punto de equilibrio. Esta situación es la que se conoce como aire estable, y bajo la cual se han presentado los casos más graves de contaminación.

Los casos extremos de estabilidad atmosférica se presentan cuando la temperatura aumenta con la altitud. Como esto es inverso a un perfil normal de temperatura, la región donde se presenta este fenómeno se llama **"Estrato invertido" ó "Inversión atmosférica"**.

Los estratos invertidos pueden estar cerca a la superficie de la tierra o pueden estar elevados.

Un caso intermedio de estabilidad atmosférica ocurre cuando la masa de aire ascendente como la atmósfera de aire circundante se enfrían a la misma velocidad. Como esta situación no es ni mala ni buena para el movimiento vertical, se dice que es neutra.

4.3.6.5 Aire húmedo: Cuando hay humedad, el vapor de agua entra a formar parte del gas o masa ascendente, pudiendo llegarse a un punto en el que la presión de vapor de agua iguala la presión de saturación del vapor de agua.

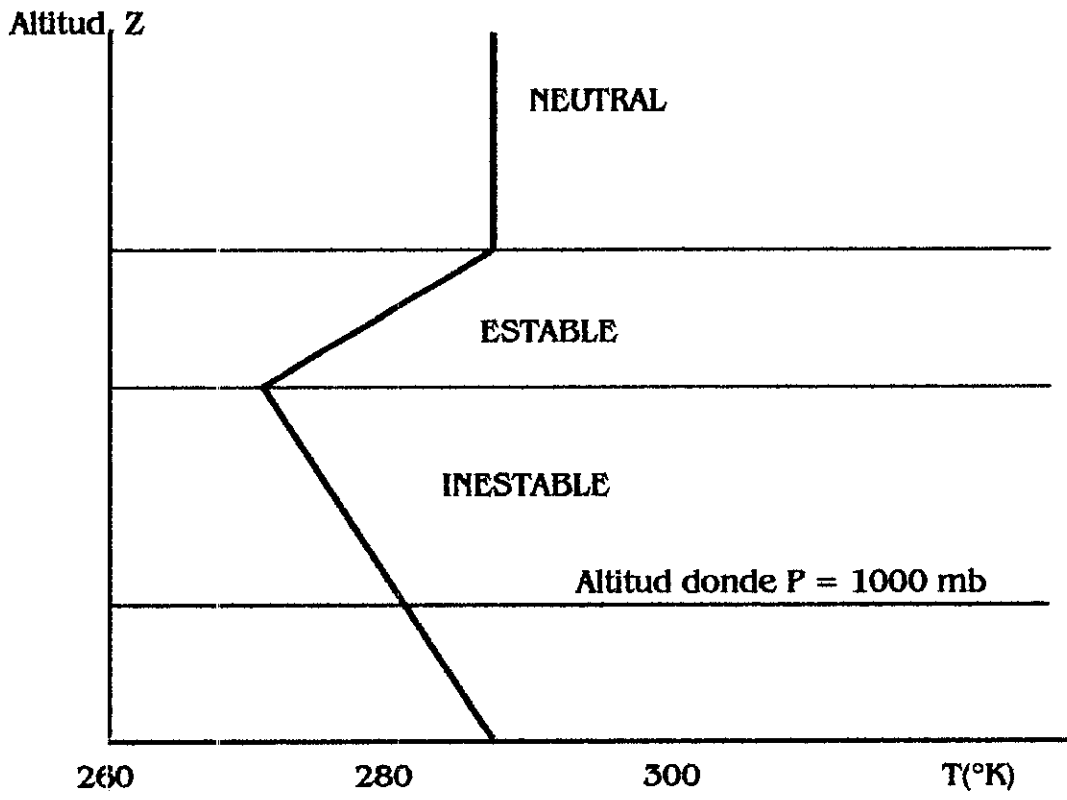
Parte del vapor de agua puede condensarse hasta formar precipitaciones.

La liberación de energía en una forma de calor latente cuando se realiza la condensación de vapor, estimula la liberación de energía cinética de las moléculas de aire, en la masa de aire ascendente. Como resultado la disminución de la temperatura con la altitud será menor que si se tratara de aire seco. En climas tropicales cálidos, el GRADIENTE ADIABATICO DE TEMPERATURA- AIRE HUMEDO (GATAW) es aproximadamente 1/3 del GATAS. En las zonas secas la diferencia es poca por la ausencia de vapor de agua.

El gradiente de temperatura promedio cuando hay humedad en la troposfera, es de 0.65°C/100 m. El valor más bajo puede ser de 0.35°C/100 m.

4.3.6.6 La inversión atmosférica: Como ya se definió el concepto de inversión atmosférica, veamos a continuación un gráfico que ilustra los diferentes estados: inestables, estables y neutros en función de la altitud y la temperatura.

Figura 6
Perfil de temperatura indicando la inversión atmosférica.



En la capa inferior o inestable es donde los contaminantes van a ser emitidos y diluidos, pero una capa invertida que actúa como techo, impedirá que los contaminantes emitidos en las capas inferiores dispongan de mas aire para ser diluidos o mezclados. La capa inferior que está en condiciones inestables, puede ser de unos pocos metros, aumentando los riesgos de que se presenten altas concentraciones de contaminantes cerca a la superficie del terreno. A continuación se mencionan las clases de inversión atmosférica:

- **Inversión frontal:** Una inversión frontal se forma cuando dos masas de aire de diferente temperatura, humedad y presión se encuentran. Cuando la masa de aire frío está avanzando se dice que el frente es frío, o al contrario,

frente cálido. El ascenso del aire cálido cuando un frente frío avanza y el subsiguiente enfriamiento de la masa de aire fomenta la formación de nubes y lluvias.

- **Inversión advectiva:** Se forma cuando el aire cálido sopla sobre la superficie más fría. El enfriamiento del aire será suficiente para la producción de "fog" o neblina. El enfriamiento convectivo de las capas inferiores lleva a la formación de una inversión cerca a la superficie del terreno.
- **Inversión por radiación:** Esta inversión se forma cuando la superficie de la tierra se enfría durante la noche debido a la radiación térmica de energía. Este fenómeno trae como resultado una disminución de la temperatura del terreno, y el aire en contacto con el terreno pierde calor sensible por conducción, convección y radiación. Como consecuencia una inversión de temperatura se formará entre la capa inferior de aire frío y aire cálido que se forma por encima. Este tipo de inversión es muy común en las horas de la noche y en la madrugada. El efecto de la capa estable que se forma cerca a la superficie del terreno, es evidente cuando en las horas de la mañana se ven los humos que salen de chimeneas confinadas de las capas inferiores, cerca a la tierra.

4.4 PRINCIPIOS DE LOS MODELOS DE DISPERSION

4.4.1 Modelos de dispersión: Por definición un modelo, es el resultado de una abstracción de un fenómeno físico real el cual es estudiado en toda su extensión a través de un razonamiento lógico y científico, basado en una serie de ecuaciones físico-químicas y matemáticas que simulan la naturaleza y comportamiento del fenómeno. Es así como un modelo de dispersión, es aquel que está dirigido a la predicción en una forma aproximada del esparcimiento de los contaminantes atmosféricos producto de las emisiones de las fuentes en un área específica con unas variables meteorológicas características, propias del lugar receptor de los contaminantes.

Desde 1920 se han elaborado análisis sistemáticos del proceso de dispersión, considerando aspectos teóricos y experimentales. Inicialmente se emplearon modelos matemáticos de turbulencia atmosférica para predecir el movimiento de las partículas en una corriente de humo en el aire ambiente. Trabajos experimentales posteriores indicaron que en ciertas condiciones, los materiales contaminantes que se dispersan en la dirección del viento se distribuyen de acuerdo con una curva en forma de campana y se desarrollaron los "modelos de dispersión atmosférica", de origen puntual, lineal y de área. El modelo puntual de Gauss será discutido mas adelante. El

modelo lineal de Gauss se desarrolló como una extensión del modelo puntual de Gauss, y considera que las emisiones de sustancias químicamente estables se producen por una sucesión de puntos, lo cual constituye una línea de emisiones. Puede ser empleado para una línea de monóxido de carbono (CO) a lo largo de una vía, en donde se considera la existencia de un número infinito de puntos de emisión, correspondientes a los tubos de escape de los vehículos.

4.4.2 Técnicas de modelación: Se puede decir que hasta el momento ha sido muy difícil expresar el comportamiento de las emisiones de una chimenea por medio de una sola fórmula. No obstante se tratará de explicar el modelo puntual de Gauss con sus aproximaciones porque éste modelo es quizás el más práctico y recomendado por las entidades de control ambiental de los Estados Unidos, quienes tienen una gran experiencia en los estudios referentes a la contaminación atmosférica. Además la mayoría de los programas de computador aceptados por la EPA (Environmental Protection Agency) para modelar dispersión de contaminantes atmosféricos se basan en el modelo gaussiano.

4.4.3 Modelo puntual de Gauss: El modelo puntual de Gauss se deriva de las aplicaciones de la ley de conservación de la masa de la sustancia emitida en ciertas condiciones y describe, por medio de una serie de curvas, la concentración de la sustancia contaminante en la dirección del viento desde el origen. Se plantea a través de una ecuación diferencial que incluye los fenómenos de advección (Donde la sustancia contaminante se mueve en la dirección del viento debido al movimiento promedio de éste) y difusión, donde la distribución normal de Gauss empleada en estadística constituye una solución.

Este modelo estima las concentraciones de contaminantes producidas por una fuente puntual continua. Es claro que el modelo solo proporcionará resultados de las concentraciones, por los diferentes factores que afectan el comportamiento real de la pluma (Forma física de la bocanada); alguno de los cuales no son tenidos en cuenta. La pluma se supone que está compuesta por un número infinito de bocanadas. Cada bocanada de humo, es emitida instantáneamente desde una fuente emisora, y se dispersa de una manera no isotrópica. El empleo del modelo consta básicamente de dos partes:

- Determinación de la altura a la cual la pluma deja de elevarse por fuerza ascensional, para convertirse en una pluma con desplazamiento horizontal.
- Determinación de la distribución de la concentración de la pluma.

También se supone que la pluma es transportada a lo largo del eje x por medio del viento, a una velocidad igual a la velocidad promedio del viento (u).

Para definir el modelo se utilizan los siguientes términos:

t = Tiempo de difusión en segundos.

Q = Concentración de la fuente emisora (gr/s).

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = Coeficientes de dispersión (m).

$C(x,y,z,t)$ = Concentración instantánea después de un tiempo t en un punto de coordenadas (x,y,z) , (gr/m³).

Conocidas la velocidad del viento u y la tasa de emisión del contaminante Q (masa/tiempo), se puede averiguar su concentración a una distancia x . De acuerdo con la categoría de estabilidad y con la distancia desde la fuente de emisión x , se determinan los coeficientes de dispersión σ_y, σ_z que se emplean en el cálculo de la concentración $C(x,y,z,t)$, para diferentes valores de y , con lo cual se pueden obtener curvas de igual concentración llamadas isopletras.

La utilización típica de este modelo requiere un ajuste inicial, que se realiza al determinar los parámetros σ_y, σ_z , para unos valores apropiados de Q, u y H , siendo H la altura efectiva de la fuente (Altura física de la chimenea mas la

elevación de la pluma). Posteriormente se emplea la ecuación para predecir valores comparados con mediciones hechas en el lugar, para calibrar el grado de precisión del modelo.

El modelo gaussiano que representa la dispersión instantánea, cuando no existen obstáculos o barreras en los alrededores de la fuente es:

$$c(x,y,z,t) = \frac{Q(2\pi)^{-2/3}}{\sigma_x\sigma_y\sigma_z} e^{\{-1/2[(x-ut)/\sigma_x]^2 + (y/\sigma_y)^2 + (z/\sigma_z)^2\}} \quad (4.10)$$

Considerando una fuente puntual situada en (0,0,0) que emite continuamente en una atmósfera infinita, en la que el viento tiene una velocidad promedio (u) en la dirección x . La fuente emite contaminantes a un ritmo Q (gr/s). La pluma producida por ésta fuente puede considerarse como la superposición de un número infinito de bocanadas, las cuales son arrastradas, viento abajo en la dirección x , a una velocidad u .

Si se asume que la dispersión en la dirección x , es aproximadamente igual a $u.t$, el término $x - u.t = 0$. Integrando la ecuación anterior y para $y = 0$ y $z = H$, tenemos:

$$c(x,y,z,t) = \frac{Q}{(2\pi)u\sigma_y\sigma_z} e^{\{-1/2[(y/\sigma_y)^2 + (z-H)/\sigma_z]^2\}} \quad (4.11)$$

$H = h_s + \Delta h$ en la ecuación donde:

h_s = Altura física de la chimenea.

Δh = Altura de la pluma.

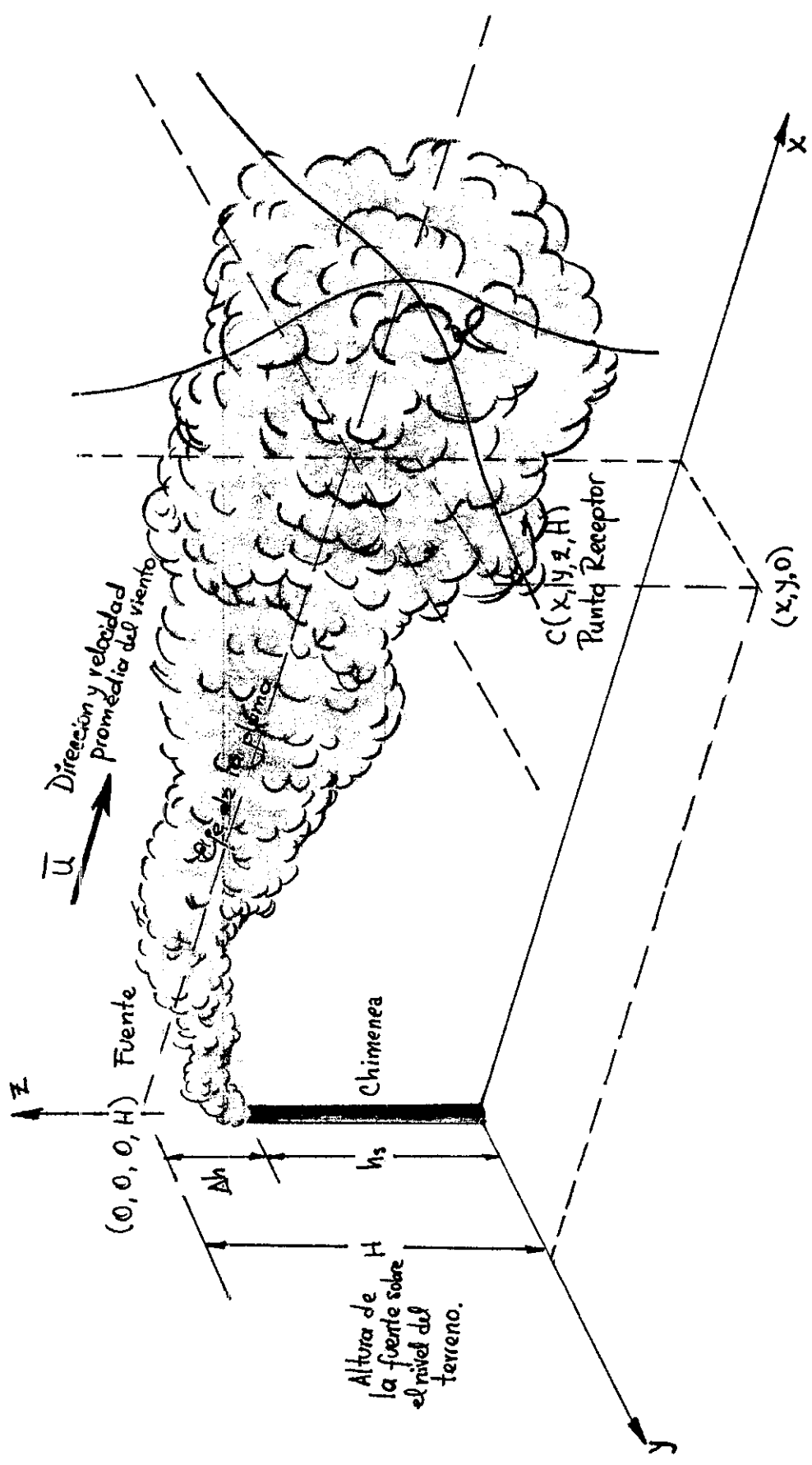
Los diferentes términos de la ecuación 4.11, se representan en la figura 7.

El modelo condensado en la ecuación 4.11 asume lo siguiente:

- La dispersión vertical y horizontal es la naturaleza gaussiana.
- La pluma se mueve vientos abajo a una velocidad igual a la velocidad promedio del viento.
- No hay sedimentación de partículas.
- Los contaminantes son inertes - conservativos; es decir que no hay reacciones químicas.

La precisión en la predicción del modelo puede ser muy baja en la medida en que los supuestos del modelo no sean coincidentes con la realidad, por ejemplo suponer velocidad del viento constante, no considerar reacción entre los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos o emplearlo en la predicción de concentraciones de oxidantes fotoquímicos. Experimentalmente se han determinado niveles de precisión apropiados y seguros cuando se emplea para contaminantes tales como CO, SO₂ y partículas.

Figura 7
Representación de los términos del modelo gaussiano



4.4.4 Coeficientes de Dispersión: Para predecir la concentración en un punto (x,y) , es necesario determinar primero los coeficientes σ_y , σ_z con base en las condiciones meteorológicas. Uno de los procedimientos disponibles para estimar estos coeficientes se fundamenta en condiciones empíricas, considerando, por una parte, una categoría de estabilidad, que se determina con la velocidad del viento a una cierta altura desde la superficie del piso; y por otra, la radiación solar que se presenta durante el día y el grado de nubosidad durante la noche.

Los coeficientes de dispersión por definición equivalen a las desviaciones estándar de la concentración media, en los planos "y", "z". En lo referente a los coeficientes de dispersión σ_y , σ_z se puede decir lo siguiente:

- Deben ser determinados experimentalmente.
- Son afectados por la estructura turbulenta de la atmósfera.
- Dependen de la rugosidad del terreno (Topografía de la zona).
- Dependen de la distancia a la fuente emisora.
- Dependen de la velocidad del viento.
- Dependen de la altura sobre la superficie del terreno.
- Dependen de los tiempos promedios usados para determinar los valores de σ , y son representativos en intervalos de 10 min.

- σ_z aumenta a medida que aumenta la distancia de la fuente emisora.
- σ_y aumenta más rápidamente con la distancia a la fuente emisora.

Los coeficientes de dispersión están relacionados con la velocidad y dirección de los vientos. Generalmente se instala un anemómetro cerca a la fuente emisora, con el fin de determinarlos. Los coeficientes de dispersión se pueden determinar por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_y = a_1 \sigma_\theta x^p \quad (4.12)$$

$$\sigma_z = b_1 \sigma_\phi x^q \quad (4.13)$$

en donde:

σ_θ = Desviación estándar del ángulo del azimut en grados. El azimut se refiere a la dirección lateral o plano "y".

σ_ϕ = Desviación estándar del ángulo de elevación en grados. Este ángulo de elevación se refiere al eje vertical o dirección "z".

p, q, a_1, b_1 = Constantes que dependen de la estabilidad atmosférica.

Existen otros métodos más sofisticados para determinar σ_y , σ_z pero el uso de las expresiones anteriores son apropiadas para problemas de ingeniería. Los valores sugeridos para las constantes p, q, a_1, b_1 según Smith son los siguientes :

Tabla 6
Constantes que determinan los coeficientes de dispersión

	$a_1 = b_1$	$p = q$
Caso estable	0.15	0.71
Caso inestable	0.045	0.86

Los valores de σ_θ y σ_ϕ se pueden determinar a partir de datos de datos medidos, empleando cualquier método estadístico. La estabilidad puede ser calculada a partir del número de Richardson.

Cuando no se pueden hacer mediciones en las direcciones y, z para calcular los σ_θ y σ_ϕ , se pueden utilizar las siguientes relaciones que permite conocer el valor no medido:

$$\sigma_\phi = 0.2 \sigma_\theta \quad \text{Caso estable}$$

$$\sigma_\theta = 0.7 \sigma_\phi \quad \text{Caso inestable}$$

Donde:

$$\sigma_{\theta} = 2.0^{\circ} \quad \text{para caso estable}$$

$$\sigma_{\theta(100)} = 23 u^{1/2} + 4.75 \quad \text{para caso inestable, aplicable solo para fuente emisora a 100 m.}$$

Con estos σ_{θ} se calcula σ_{ϕ} para las dos ecuaciones inmediatamente anteriores.

Debe tenerse en cuenta que lo mejor es determinar los coeficientes de dispersión "in situ". Sin embargo, resulta práctico una serie de figuras (8 y 9) para su determinación. Estas figuras se obtuvieron de una representación analítica de los valores de los coeficientes de dispersión ajustados a una línea recta (utilizando papel log-log) a través de las ecuaciones:

$$\sigma_y = a x^p \quad (4.14)$$

$$\sigma_z = b x^q \quad (4.15)$$

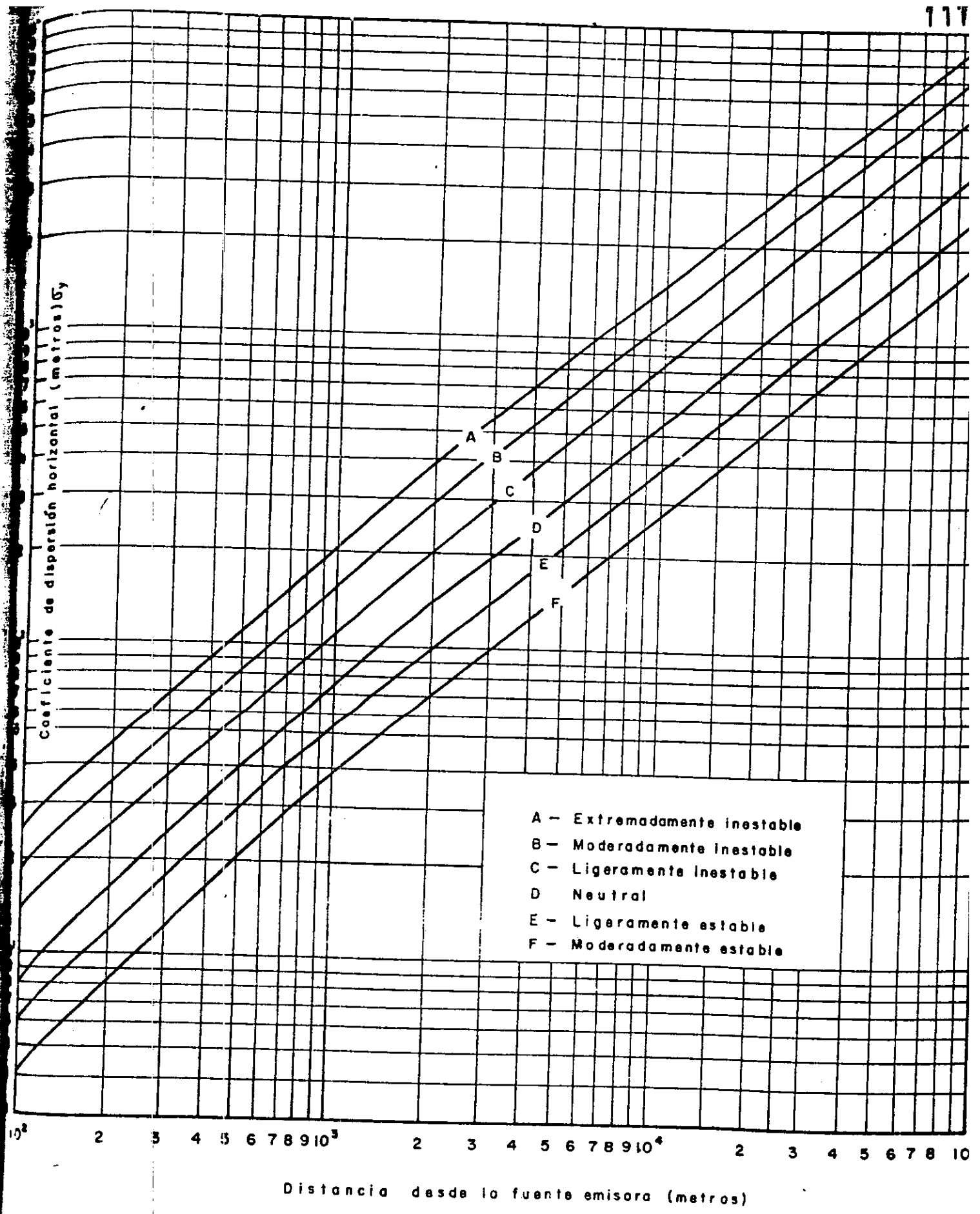
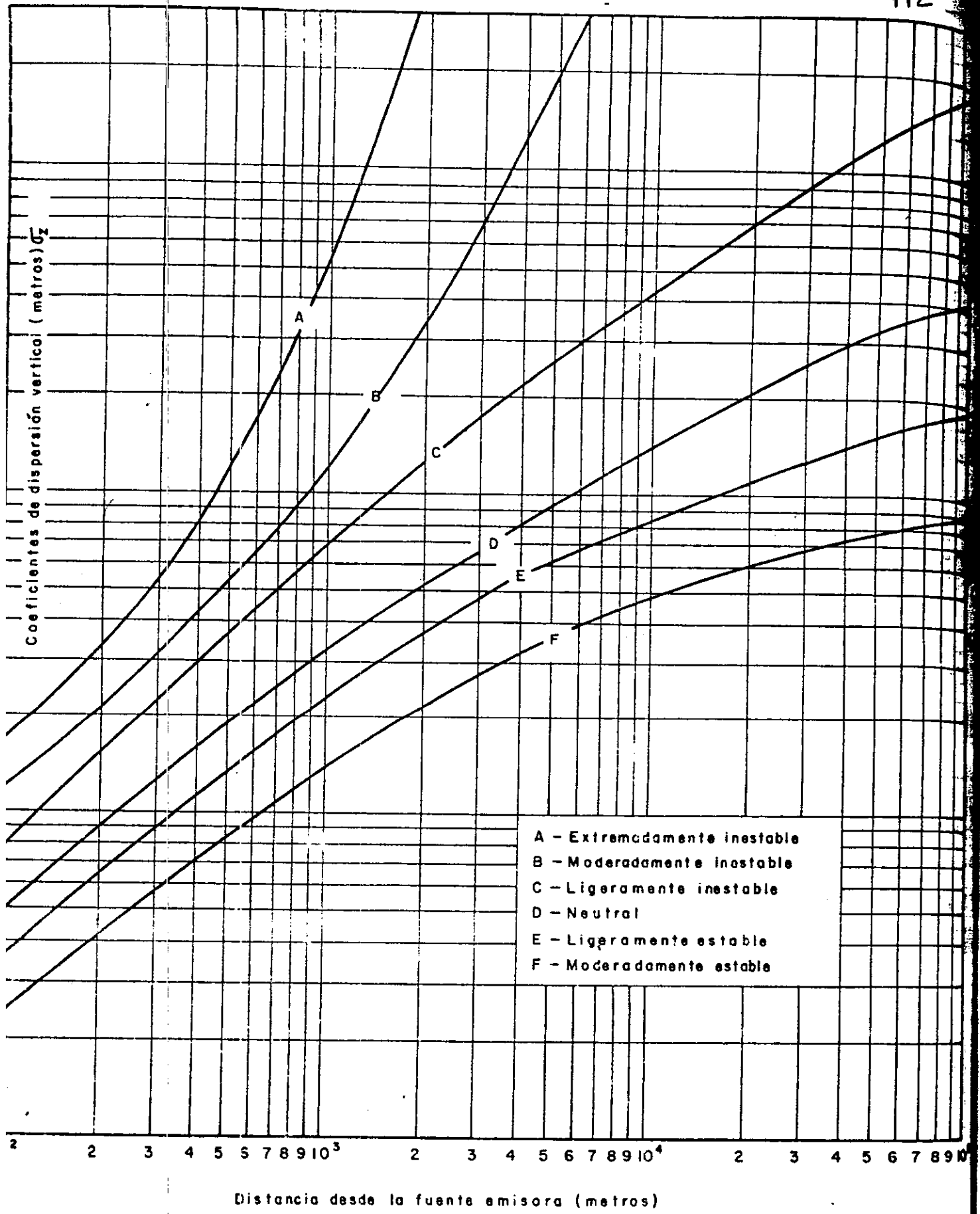


Figura 8. : Coeficientes de dispersión horizontal. Tiempos muestreo 10-60 min



gura 9. : Coeficientes de dispersión vertical - Tiempos muestreo 10-60 min

Las gráficas fueron elaboradas para diversas condiciones de estabilidad atmosféricas y del entorno del lugar receptor de los contaminantes, como la distancia vientos abajo del receptor.

4.4.5 Máxima altura de mezcla: Como su nombre lo indica consiste en la mayor altura a la cual los contaminantes atmosféricos se mezclan o se diluyen en el aire ascendiendo hasta un punto límite definido por la frontera entre una capa inestable inferior y una capa estable superior.

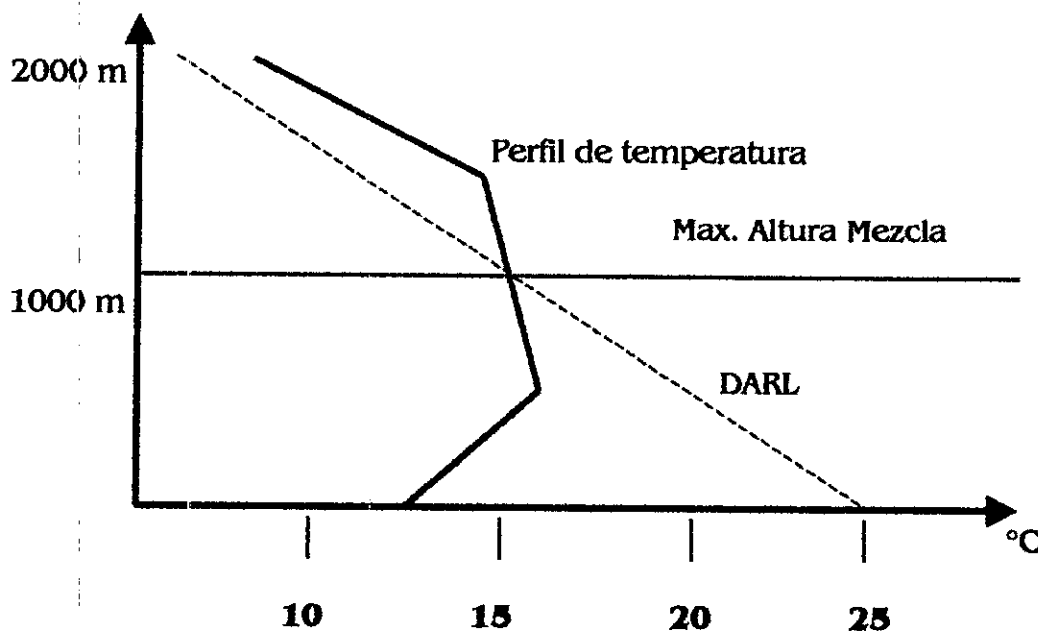
La capa inferior o inestable generalmente está bien mezclada, así, cuando un polutante se libera en esta zona, el movimiento de dispersión será horizontal y vertical, pero el movimiento de dispersión vertical cesará cuando se alcance la parte superior de esta capa. El límite de dispersión vertical es lo que se conoce como máxima altura de mezcla.

Para determinar la máxima altura de mezcla se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- Elaborar un perfil de temperatura en las primeras horas de la mañana. El perfil de temperatura se mide con sondas o sensores de temperatura que se lanzan por medio de un paracaídas o por radio sondas (sensores de presión, temperatura y humedad lanzados por medio de un globo).

- Medir la máxima temperatura durante el día, a nivel del terreno.
- Se traza una línea que parte de la máxima temperatura (graficada en el eje "x") y que vaya paralela y hacia arriba al Gradiente Adiabático de Temperatura de Aire Seco (GATAS, o DALR).
- La altitud medida en el eje "y", en donde la línea trazada en el punto anterior, intercepta al perfil de temperatura, será la máxima altura de mezcla (Ver figura 10).

Figura 10
Determinación de la máxima altura de mezcla



4.4.6 Elevación de plumas: Anteriormente se definió la altura efectiva de emisión del contaminante por el término $H = h_s + \Delta h$, en donde h_s es la altura física de la chimenea y Δh es la altura alcanzada por la pluma (Ver figura 7).

Calcular o medir Δh es una labor bastante difícil, porque las condiciones atmosféricas, topográficas y de la chimenea en sí son generalmente incontrolables. Determinar Δh se ha hecho aún más difícil por la inexistencia de técnicas estandarizadas. Por esta razón se han desarrollado algunas expresiones para calcular Δh , pero con el inconveniente de que la gran mayoría fueron hechas para determinado tipo de chimeneas.

En la actualidad las fórmulas de Turner, Holland y de Briggs son las más utilizadas, siendo la de este último la que tiene una aplicabilidad más general.

Para la formulación de la elevación de la pluma se deben considerar los siguientes parámetros:

Para la chimenea:

- d = Diámetro de la chimenea (m).
- T_s = Temperatura absoluta de los gases de la chimenea ($^{\circ}\text{K}$).
- ρ_s = Densidad de los gases que salen de la chimenea a T_s (gr/m^3).
- V_s = Velocidad de salida de los gases (m/s).

Para la atmósfera:

- P = Presión atmosférica (mb).
- T_a = Temperatura absoluta de la atmósfera ($^{\circ}\text{K}$).
- ρ_a = Densidad de la atmósfera a P y T_a (gr/m^3).

- u = Velocidad promedio del viento (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

Para un mejor entendimiento de las variables de las fórmulas para determinar Δh , se presentan a continuación una serie de conceptos básicos:

Fuerza ascendente (F): Una pluma asciende en la atmósfera si está compuesta de gases más calientes o más ligeros que la atmósfera que la rodea. La gran mayoría de los casos están relacionados con gases calientes, por lo que se centrará la atención en este caso. La fuerza ascendente que hace que la pluma se eleve es proporcional a la cantidad de gas emitido, la diferencia de densidades causadas por la diferencia de las temperaturas y la fuerza de gravedad.

La fuerza ascendente F se resume en la siguiente ecuación:

$$F = g V_s (d^2/4) (1 - \rho_s/\rho_a) \quad (4.16)$$

Las unidades de F van a ser m⁴/s³.

Como

$$\rho_s/\rho_a = T_a/T_s \quad (4.17)$$

Entonces reemplazando la ecuación 4.17 en la 4.16 tenemos:

$$F = g V_s (d^2/4) (1 - T_a/T_s) \quad (4.18)$$

Capacidad Calorífica Q_H : La capacidad calorífica está definida de la siguiente manera:

$$Q_H = W_s C_{PS} (T_s - T_a) , \text{ en donde:}$$

Q_H = Capacidad Calorífica en Cal/s

W_s = Peso de los gases emitidos en g/s

$$W_s = Q_s \rho_s$$

$$Q_s = (\pi d^2/4) V_s$$

Luego :

$$Q_s = (\pi d^2/4) V_s C_{PS} (T_s - T_a) \quad (4.19)$$

Para el caso de los gases ideales:

$$\rho_s = (M_s P_s)/(R T_s) , \quad M_s = \text{Peso molecular de los gases emitidos.}$$

$$C_{PS} = \text{Calor específico de los gases emitidos.}$$

Luego;

$$Q_{H1} = (\pi d^2/4) V_s (M_s P_s)/(R T_s) C_{Ps} (T_s - T_a) \quad (4.20)$$

La relación entre la fuerza ascendente y la capacidad calorífica es:

$$F = [g / (\pi C_{Ps} T_a \rho_a)] Q_{H1}$$

Fórmula de Turner - Holland para calcular la elevación de una pluma

$$\Delta h = d V_s/u \left\{ 1.5 + 2.68 * 10^{-5} P [(T_s - T_a)/T_s] d \right\} \quad (4.21)$$

Fórmula de Briggs para calcular la elevación de una pluma

Para condiciones neutrales o inestables:

$$x^* = 3.4 F^{2/5} \quad \text{para } F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$x^* = 1.4 F^{5/8} \quad \text{para } F < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

La distancia final hasta donde la pluma se eleva es $3.5 x^*$ (m).

La elevación total o final de la pluma es:

$$\Delta h = (1/u) 1.6 F^{1/5} (3.5 x^*)^{2/5} \quad (4.22)$$

Para distancias menores de $3.5 x^*$ (m) se tiene:

$$\Delta h = (1/u) 1.6 F^{1/3} x^{*2/3} \quad (4.23)$$

Para condiciones estables:

$$S = g/T \left[\frac{\Delta\theta}{\Delta Z} \right] \quad \text{o} \quad S = g/T \left[\frac{dT}{dZ} + \frac{GATAS}{T^2} \right]$$

Si el valor de $(\Delta\theta/\Delta Z)$ no es conocido se pueden usar los siguientes valores:

0,2 °K/m , para estabilidad E

0,03 °K/m , para estabilidad F

Calcular:

$$\Delta h_1 = 2.4 \left(\frac{F}{(u S)} \right)^{1/3} \quad (4.24)$$

$$\Delta h_2 = 5 F^{1/4} S^{5/8} \quad (4.25)$$

F se calcula por la ecuación (4.18), el menor valor entre Δh_1 y Δh_2 será la elevación final de la pluma. La distancia desde la fuente emisora hasta el sitio donde la pluma deja de elevarse es:

$$X_f = 3.14 u / S^{1/2} \quad (4.26)$$

Para distancias menores que X_r , usar la ecuación (4.23). Si el valor calculado por la ecuación (4.23) es mayor que el calculado por las ecuaciones (4.24 y 4.25), utilizar el menor de estos valores.

4.5 Sistematización de los modelos de dispersión.

Entre las grandes preocupaciones del hombre por el desarrollo tecnológico, que facilite sus labores o actividades diarias, está el de sistematizar los conocimientos y teorías científicas sobre los fenómenos físicos. De esta manera se logra una mejor difusión e interpretación de las observaciones de una determinada información especial producto de observaciones empíricas, o de un análisis físico - matemático efectuado. Es por esto que en los Estados Unidos la EPA (Environmental Protection Agency) ha venido desarrollando y actualizando una serie de programas de computador basados en el modelo gaussiano para la dispersión de contaminantes atmosféricos, tales como los modelos PTHX, Screening, ISC entre otros. Estos modelos sistematizados permiten a las entidades de control ambiental facilitar su labor como ente vigilante del impacto ambiental que sufre el medio ambiente con el desarrollo social e industrial, el cual debe ser equilibrado.

Los modelos de calidad del aire se pueden clasificar en cuatro clases: Gaussianos, numéricos, estadísticos y físicos. Las características de estos modelos se presentan en la tabla 7.

Existen modelos derivados de la clasificación general (tabla 7)¹, que se han desarrollado para estudiar el efecto de la contaminación bajo ciertas condiciones específicas. Los modelos más usados y sus características están recopilados en la tabla 8.

Tabla 7
Clasificación general de los modelos de dispersión

NOMBRE DEL MODELO	CARACTERISTICAS GENERALES
Gaussiano	Usado para contaminantes no reactivos. Aplicado donde se requiere un mayor análisis y no existen complejidades significativas de terreno o meteorológicas.
Numérico	Más apropiado que el Gaussiano para fuentes múltiples que involucran contaminantes reactivos, sin embargo, requieren una base de datos más extensa, y no tienen amplia utilización.
Estadístico o empírico	Empleado principalmente donde no existe un adecuado entendimiento científico del proceso físico y químico o cuando se carece de una base de datos y el uso de un modelo Gaussiano o Numérico no es práctico.
Físicos	Involucran un túnel de viento u otras facilidades para el modelaje de fluidos y requiere un alto nivel de conocimiento. Puede ser útil para un área de pocos kilómetros cuadrados.

¹TRIANA, Ernesto S. Licencias Ambientales. Departamento Nacional de Planeación - Ministerio del Medio Ambiente. TM Editores.

Tabla 8
Modelos mas usados y sus características

NOMBRE DEL MODELO	TIPO DE MODELO	USOS MAS COMUNES Y CARACTERISTICAS
--------------------------	-----------------------	---

EMISIONES PUNTUALES SO₂ Y PARTICULAS

CRSTER(Single Source Model)	Gaussiano	Se recomienda para fuentes puntuales en áreas rurales, donde exista una chimenea o las emisiones de un grupo de ellas pueden asumirse como provenientes de una sola fuente
MPTER(The multiple point gaussian algorithm with terrain adjustments)	Gaussiano	Para fuentes puntuales espaciadas o fuentes múltiples en una zona rural.
RAM(The Gaussian plume multiple source air quality algorithm)	Gaussiano	Para fuentes puntuales localizadas en zona urbana. Es recomendable al evaluar el impacto a corto plazo.
ISC(The Industrial Source Complex)	Gaussiano	Fuentes con configuraciones complejas que no permitan simularlas como fuentes puntuales.

EMISIONES NO₂

CMD(Climatological Dispersion Model)	Gaussiano	Supone que todos los NO _x son emitidos como NO ₂ y que éste se comporta como un contaminante no reactivo.
--	-----------	---

EMISIONES FUGITIVAS

ISC		Empleado para partículas que arrastran el viento, el polvo de las vías, actividades agrícolas y minería de superficie. Tienen en cuenta la sedimentación gravitacional y la deposición seca de las partículas.
-----	--	--

FUENTES PUNTUALES EN TERRENO COMPLEJO

VALLEY	Estadístico	<p>Determina las concentraciones promedio anual y promedio 24 horas. Se debe usar bajo las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad tipo F, según Pasquill-Gifford. • Velocidad del viento 2.4 m/s • Seis horas de ocurrencia en un periodo de 24 horas.
--------	-------------	---

FUENTES MULTIPLES URBANAS SO₂ Y PARTICULAS

ESCALA PROPORCIONAL	Estadístico	Empleado para determinar la reducción necesaria de la descarga, con el fin de alcanzar un estándar de concentración o un cierto nivel de calidad del aire en el ambiente.
CMD (Climatological Dispersion Model)	Gaussiano	Recomendable para evaluar el impacto a largo plazo de fuentes múltiples en una zona urbana.
PTMTP	Gaussiano	Estima las concentraciones a corto plazo de emisiones puntuales. Asume estabilidad de las condiciones meteorológicas horarias, uniformidad de la capa de mezcla e inexistencia de perturbaciones aerodinámicas sobre las emisiones.

FUENTES PUNTUALES EN TERRENO COMPLEJO

HIWAY-2		Utilizado para obtener estimativos más detallados de impacto causado por las autopistas.
---------	--	--

En el mercado se tienen algunos programas de computador de modelación de contaminantes atmosféricos. En general son simples, están bien

documentados y son relativamente fáciles de usar, pese a que algunos requieran conocimientos técnicos específicos y supervisión por parte de quienes codifican los algoritmos.

Para lograr los objetivos trazados en este proyecto se hizo necesario utilizar el modelo PTXXX(MAX, DIS,MTP), debido a que se amolda a las características y requerimientos del estudio realizado. A continuación se hará un comentario detallado de las características y funciones de éste modelo:

4.5.1 Modelo PTMAX: Este es un programa abstracto que produce un análisis de las concentraciones máximas de contaminantes en el aire en función de la velocidad del viento y de la estabilidad atmosférica. Realiza un análisis por separado para cada chimenea.

Para entrar al programa es necesario introducir la siguiente información:

- Temperatura ambiente del aire ($^{\circ}\text{K}$).
- Características de la fuente tales como tasa de emisión del flujo (si no se conoce este dato entonces velocidad de salida y diámetro de la chimenea a la salida), altura física de la chimenea y la temperatura del gas en la chimenea ($^{\circ}\text{K}$).
- La producción de contaminantes en la chimenea (gr/s).

La salida del programa consta de la altura efectiva de emisión, máxima concentración a nivel del suelo y la distancia a la cual se presenta para cada condición de estabilidad y velocidad del viento.

Este programa calcula para cada velocidad del viento y estabilidad la altura de la pluma utilizando el método sugerido por Briggs. La altura de la pluma sumada a la altura física de la chimenea, determinan la altura efectiva de emisión, la cual es utilizada para determinar tanto la máxima concentración como la distancia a la cual se presenta. Este programa es aplicable cuando las fuentes se encuentren en un terreno relativamente uniforme. Las concentraciones calculadas son para una sola fuente considerada. Donde exista una planta con diversas fuentes de emisión, este programa puede ser aplicado para cada chimenea individualmente. No puede dar la máxima concentración de la combinación de las chimeneas. Este programa es útil para determinar que concentraciones de velocidades de viento y estabilidad atmosférica producen la máxima concentración. También se puede saber a través de este programa para una estabilidad dada, cual es la velocidad crítica del viento que produce la máxima concentración.

4.5.2 Modelo PTDIS: Este programa determina la concentración a nivel del suelo producto de las emisiones de una fuente puntual única, a través del modelo gaussiano. Las concentraciones se determinan para una sola

condición meteorológica definida por una clase de estabilidad desde la **A** a la **F** sugeridas por Pasquill. La única velocidad de viento utilizada se asume como representativa de la parte superior de la chimenea, como también de la capa hasta donde se levanta la pluma. En los cálculos se debe incluir el valor límite de dispersión vertical o altura de mezcla. Se asume que la estabilidad dada ocurre desde el nivel del suelo hasta la altura de mezcla. El concepto de altura de mezcla no se emplea para las estabilidades **5** o **6**.

Dada una condición de estabilidad y velocidad de viento, este programa es útil para obtener la variación de la concentración a nivel del suelo con la distancia. Las condiciones derivadas de estos cálculos pueden ser consideradas válidas para tiempos promedios comprendidos entre **10 min** y **1 hora**. Al igual las variables meteorológicas también son válidas para estos tiempos. Se debe introducir en el programa el número de distancias a las cuales se va a calcular la concentración, máximo 50 distancias. El programa también ofrece al usuario la posibilidad de determinar las isopletras (curvas de igual concentración), máximo 8 isopletras.

Para entrar al programa PTDIS a parte de las variables necesarias en el PTMAX, se debe incluir finalmente la altura de mezcla en metros.

La salida del programa consta de una lista de las condiciones meteorológicas y una tabla dando distancias, altura efectiva y concentración para cada distancia. Si se utiliza la opción de las isopletas aparecerá una tabla adicional dando el valor de las isopletas (Half-widht) y su radio para cada distancia.

4.5.3 Modelo PTMTP: Este programa que se basa en la pluma del modelo gaussiano produce las concentraciones horarias en puntos receptores quienes están localizados desde fuentes puntuales específicas. El programa admite máximo 30 puntos receptores localizados a partir de máximo 25 fuentes puntuales. Para entrar al programa se debe introducir:

- El número de fuentes a ser consideradas.
- Flujo de cada chimenea o fuente emisora.
- Altura física de las chimenea.
- Temperatura de salida del gas de cada chimenea.
- Producción de las fuentes.
- Flujo. En caso de no conocer el flujo se preguntará el diámetro interior y velocidad de gas en la chimenea.
- La localización de las chimeneas en coordenadas.
- El número de receptores.
- Las coordenadas de cada receptor (Km).
- La altura por encima del nivel del suelo de cada receptor.

Todo lo anterior hace referencia a las fuentes y los receptores. Con respecto a las variables meteorológicas se debe considerar lo siguiente:

- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.
- Clase de estabilidad atmosférica.
- Altura de la mezcla.
- Temperatura ambiente del aire.

Si se desea la concentración promedia por hora el programa requerirá la información meteorológica por cada hora a la cual se desee saber la concentración. De lo contrario el programa dará la concentración promedio para un tiempo de 24 horas(1).

(1) CIPADE. Seminario Taller Contaminación Atmosférica, Santa Fe de Bogotá, Junio 23, 24, 25 de 1993.

4.6 CALIBRACION Y EVALUACION DE MODELOS DE DISPERSION

La calibración de un modelo de dispersión es el proceso de identificación sistemática de los errores y la aplicación de un factor de corrección, esto envuelve la aplicación de análisis de regresión u otras pruebas estadísticas para ajustar el modelo y sus estimativos hasta alcanzar un buen modelo de similitud con los datos medidos.

Cualquier aplicación de un modelo de dispersión puede tener deficiencias, las cuales pueden llevar a errores en los cálculos de los estimativos. Siempre, como práctica para tener el nivel de confianza de las estimaciones, éstas deben ser comparadas con mediciones reales de la calidad del aire.

Para evaluar la validez o efectividad de un modelo de dispersión después de haber sido aplicado, se debe hacer un muestreo del contaminante en estudio en la atmósfera que circunda a la fuente emisora que se está analizando. La curva de concentración vs distancia de la fuente obtenida a través del muestreo, debe ser comparada con la curva que teóricamente se calcula por

medio de los modelos de dispersión. Si las curvas no coinciden en una forma aproximada se deben replantear los valores de los coeficientes de dispersión y las demás variables utilizadas en el modelo empleado, hasta que se logre un buen ajuste entre las curvas de dispersión teórica y la que resulte del muestreo.

De manera detallada el proceso de validación de un modelo consiste en los siguientes pasos:

- Comparar las concentraciones estimadas con datos reales de calidad del aire.
- Determinar las causas de las discrepancias.
- Corregir y mejorar la base de datos.
- Modificar, si es necesario el modelo de tal manera que se provea una mejor representación matemática de la realidad física.
- Documentar la exactitud de los estimativos.

Si la evaluación por una o varias técnicas estadísticas indican que la representación satisfactoria de las concentraciones observadas, es probable que esté ocurriendo, que los datos de la fuente de emisión, la información meteorológica y la calidad del aire no sean apropiadas, seguras y completas o que el modelo en sí mismo es inadecuado para el área bajo consideración.

Si los datos de calidad del aire son de alguna manera impropios o incorrectos, la exactitud de los estimativos de los modelos de dispersión, no puede ser determinada.

Los siguientes factores son los que más frecuentemente causan que un modelo sea considerado inadecuado o inapropiado para un área dada:

- El modelo aplicado a un área con terreno complejo o único y dificultades meteorológicas.
- Las fuentes de emisiones varían notablemente con el tiempo.
- El contaminante emitido es objeto de una alta y variable reacción química en la atmósfera o se presenta un proceso de remoción.
- El modelo es aplicado a contaminantes con características diferentes a aquellas consideradas en su desarrollo.

Si cualquiera de estas circunstancias es encontrada, será necesario seleccionar un modelo de dispersión más apropiado. Luego de haber calibrado y verificado el modelo de dispersión, se puede hacer a partir de la curva teórica, ciertas predicciones de cómo mejoraría la calidad del aire, rebajando de alguna manera las emisiones en la fuente emisora del contaminante (1).

(1) SALAZAR, A. Manual de contaminación atmosférica (AINSA)

4.7 MECANISMOS DE CONTROL DE EMISIONES DE PARTICULAS

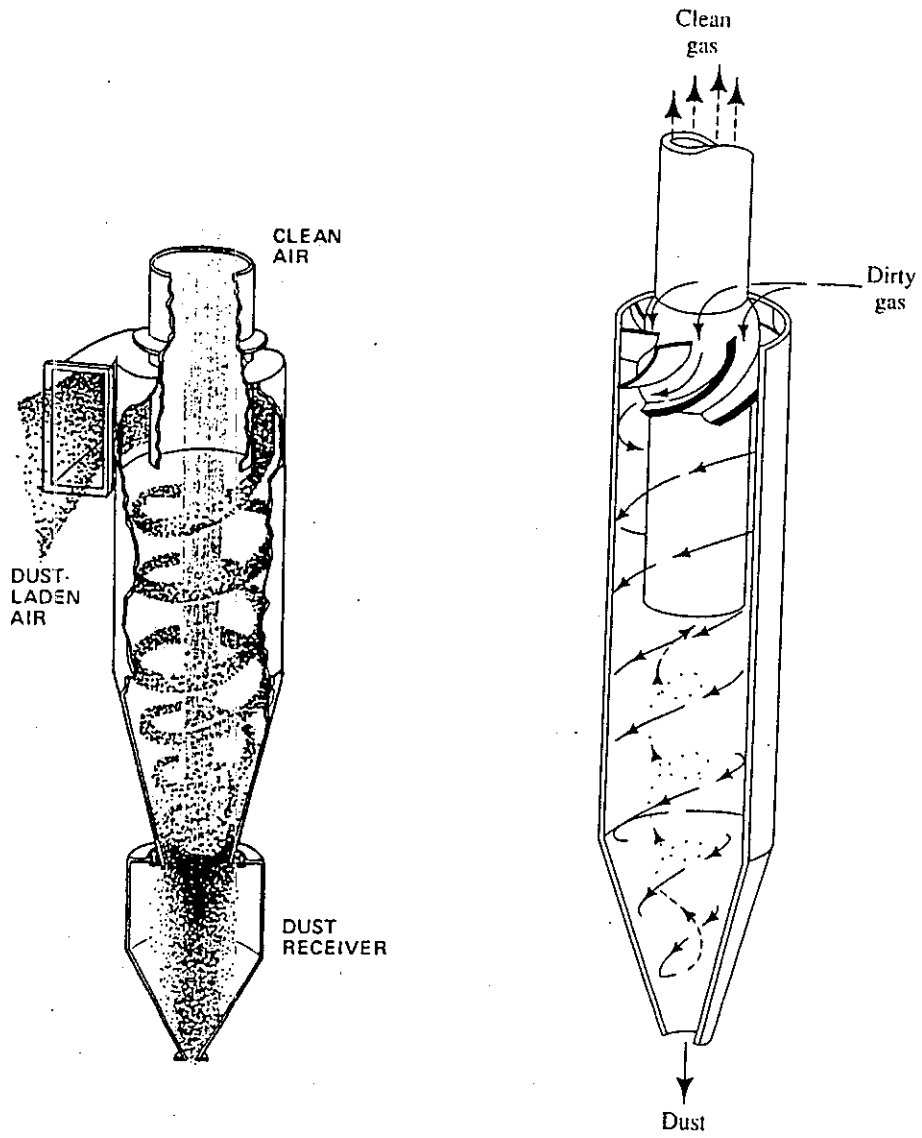
Dependiendo del proceso de producción de una determinada fábrica, se presentan diversos tipos de emisiones de poluentes a la atmósfera. En el caso de empresas cuyas emisiones más representativas son las partículas, se han implementado dispositivos para regular y controlar las cantidades que se emiten a la atmósfera. Varios mecanismos se encuentran en las empresas del sector de mamonal. La empresa Colclinker situada sobre el kilómetro 7, de la vía a mamonal cuenta con algunos de estos mecanismos de control de emisiones de partículas. Algunos de los dispositivos que se han desarrollado según el grado de sofisticación son los siguientes:

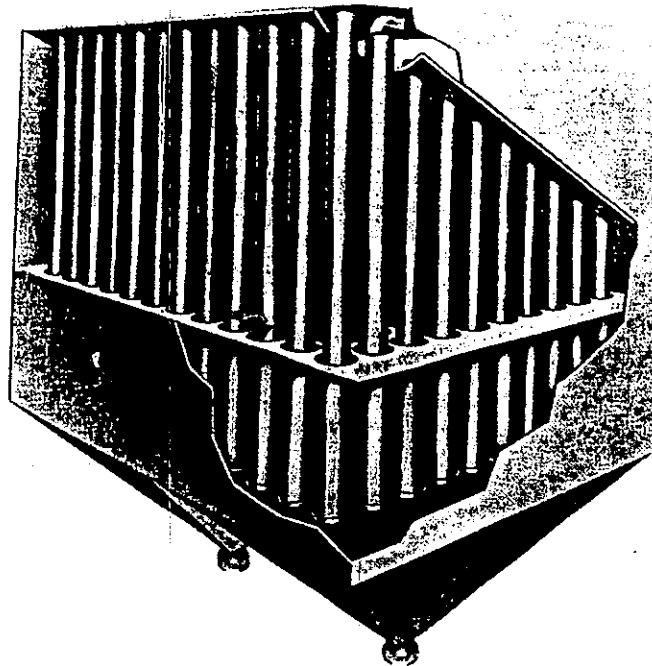
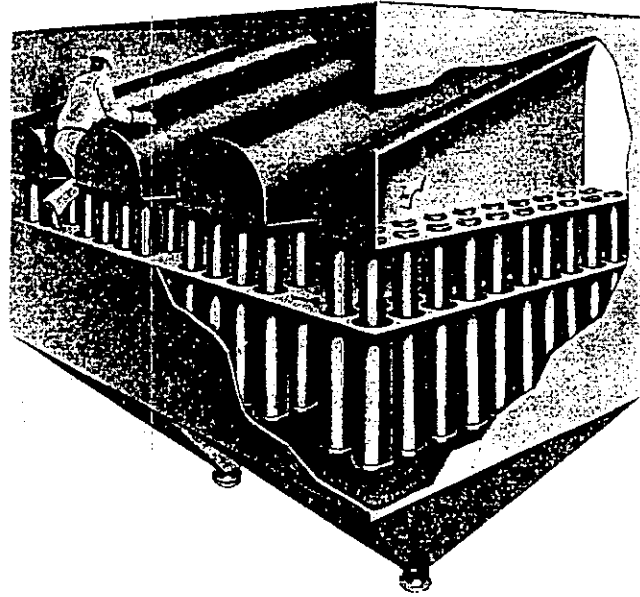
- **Cámara de sedimentación:** Son cámaras donde los gases pierden velocidad de salida, lo que permite una reducción en el arrastre de partículas y una sedimentación de las más pesadas. Por ejemplo el exhosto de los vehículos.
- **Ciclones:** Son cilindros cuya forma se puede observar en la figura 11, a los cuales el flujo de aire contaminado entra lateralmente bordeando las paredes internas del cilindro. En su eje, el ciclón posee otro cilindro a través del cual el aire limpio es aspirado. El aire sucio entra bordeando las paredes del cilindro y su recorrido es en forma de espiral descendente; como las partículas son más densa que el aire, la fuerza centrífuga hace

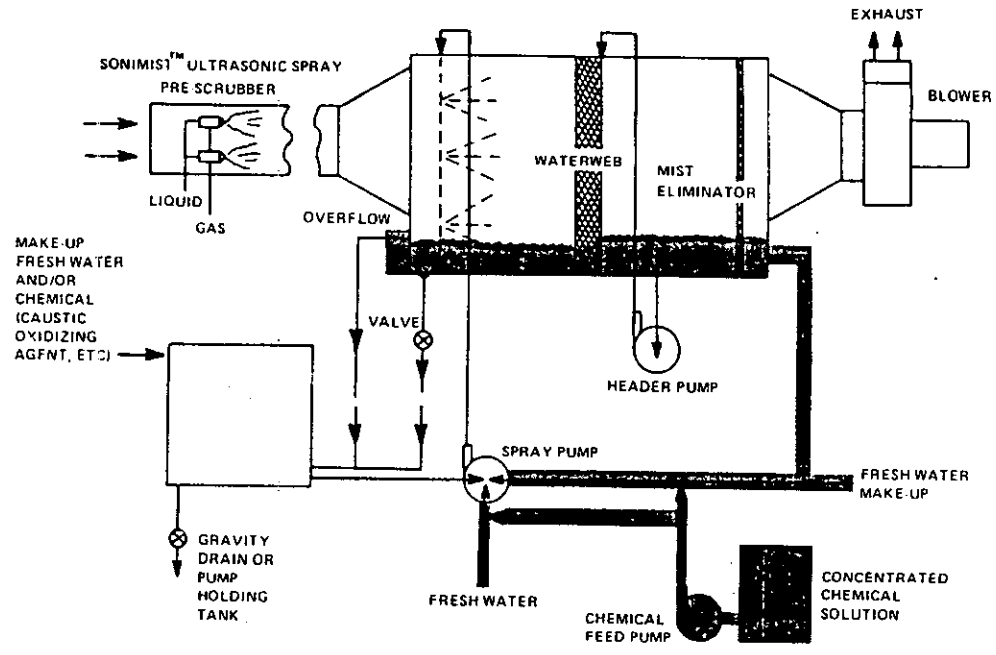
que éstas se dirijan al exterior del eje separándose del aire y la fuerza de gravedad atrae el material particulado dirigiéndolo hacia un receptor y el aire limpio es emitido a la atmósfera. En las cementeras como en Colclinker, el ciclón es muy útil para recuperar material que puede ser reutilizado en el proceso productivo. Los ciclones de menor diámetro tienen son más eficientes porque las velocidades centrífugas son mayores. Si el control de emisiones de material particulado no es cumplido con el uso de un ciclón de pronto el uso de un multiciclón sea la solución (Ver figura 12).

- **Scrubbers:** Son cámaras de sedimentación en donde el chorro de gas sucio va a encontrar un ambiente húmedo que aglutina las partículas y se sedimentan. Se obtienen residuos sólidos que no son reutilizables en el proceso de las cementeras, por lo que en Colclinker no se encuentra instalado éste tipo de mecanismo. "Existe un tipo de scrubber que tiene pequeños orificios, que aceleran el chorro de gas. La energía cinética del gas es aplicada a una superficie líquida, creando una espuma o babasa. Las partículas son inyectadas dentro del chorro líquido, usando la energía del gas. Este tipo de scrubber se muestra en la figura 13"(1).

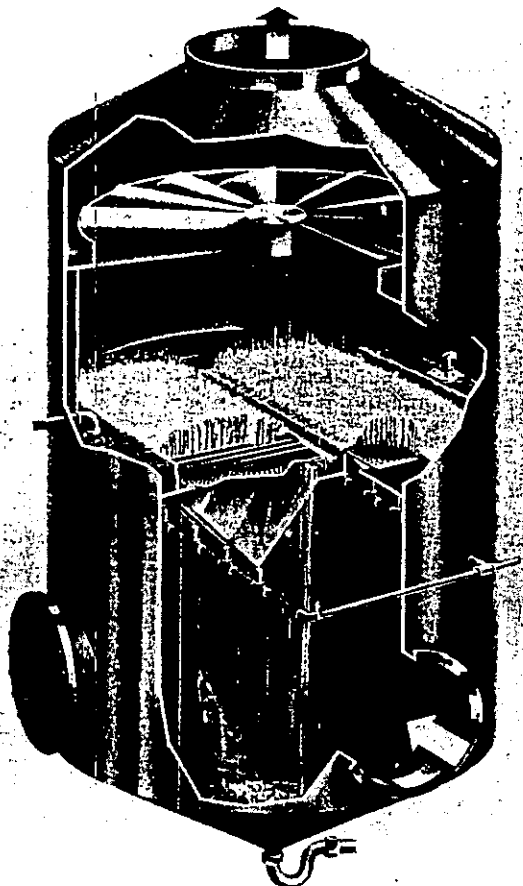
(1) BOUHCORE, A and Davis, W. Air pollution engineering manual. Air & Waste Management Association. Edited by Van Nostrand Reinhold (VNR) p. 85.







Wetted Filter Scrubber (Heat Systems Ultrasonics)



Tray Tower (W. W. Sly Co.)

- **Filtros de manga o de tela:** La figura 14 muestra éste tipo de filtro. La característica es el uso de unas mangas o tubos de tela (principalmente polyester) a través de los cuales el aire sucio es conducido. La manga de tela permite el paso del aire solamente y el material se precipita por gravedad.
- **Precipitadores electrostáticos:** Es un dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera del gas que fluye a través de los paneles colectores. Básicamente es un transformador que eleva el voltaje (Dependiendo del control de emisiones), en el caso de Colclinker, la variación se hace de 440V a 45000V. Unas placas de 10m x 10m son cargadas negativamente y unos electrodos positivamente, el polvo es polarizado a través de los electrodos y posteriormente es atraído a las placas separándolo del gas. Dependiendo de la eficiencia así será la variación de voltaje y el número de placas empleadas, ver figura 15.

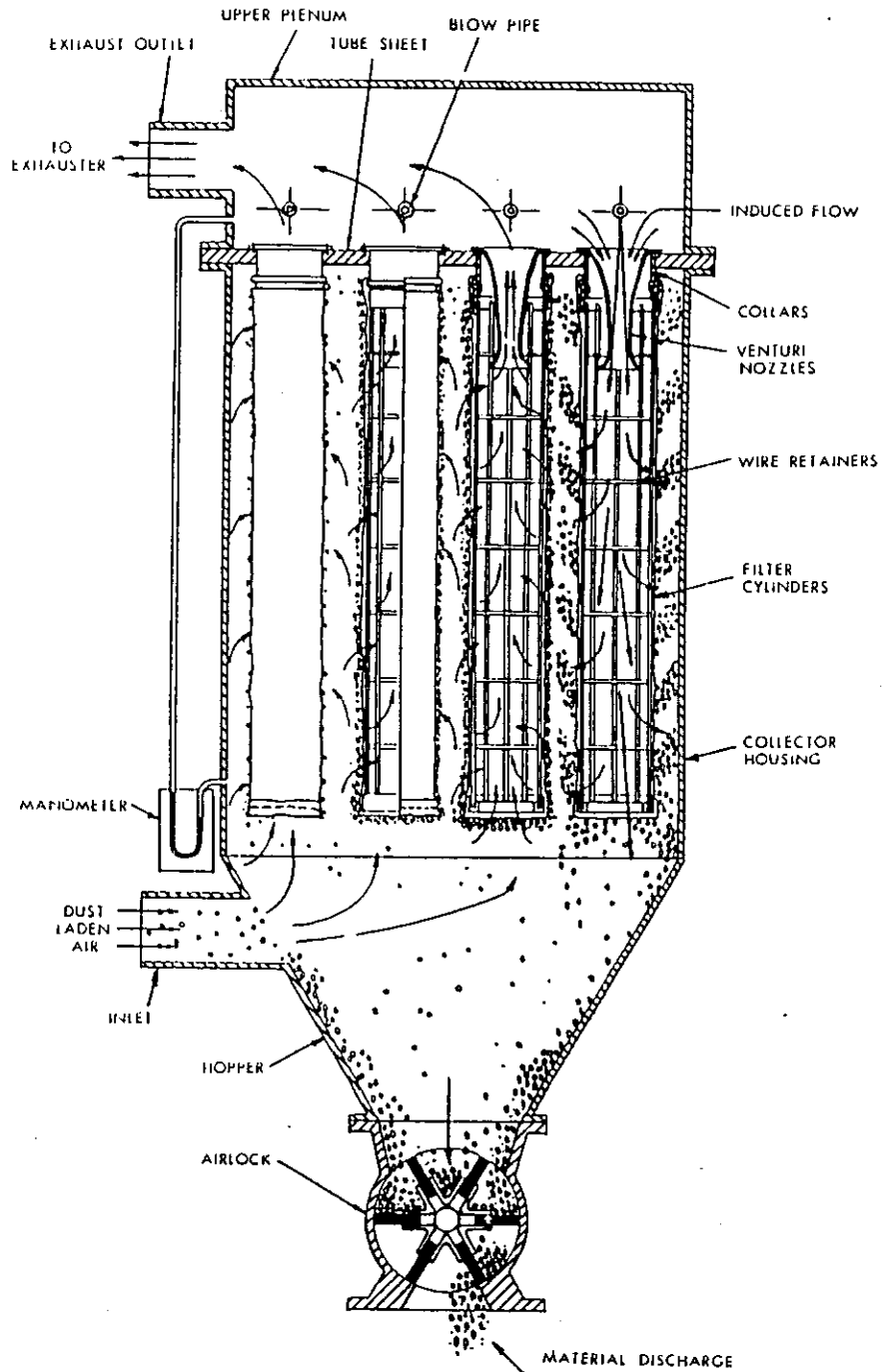
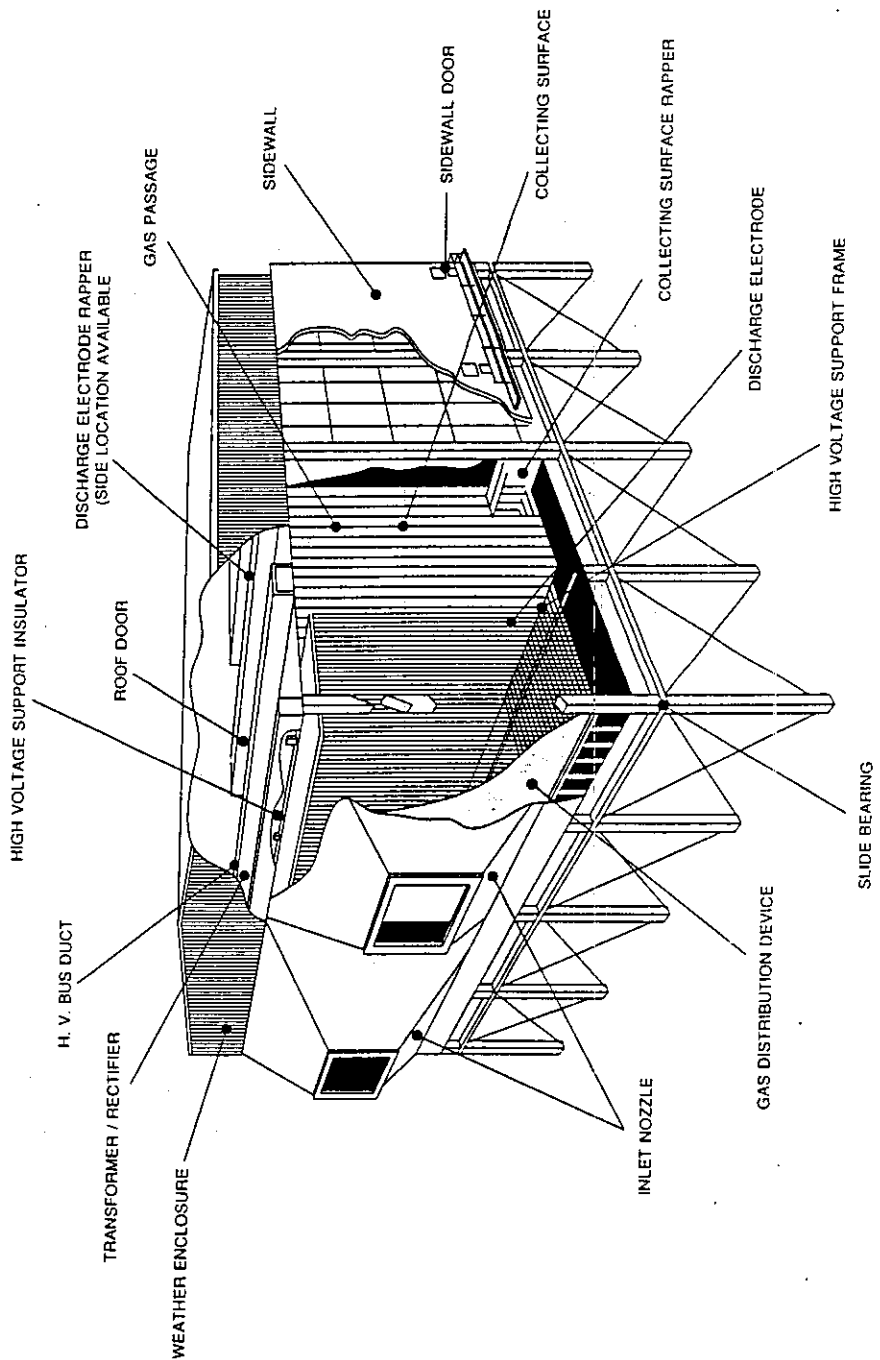


FIGURE 15. Pulse-Air-Jet Type of Bag Filter (From Reference 23)



5. METODOLOGIA

Un proceso de contaminación atmosférica lo define la relación **fuentes - transporte - receptor** (ver sección 4.1), por consiguiente, es necesario conocer las características de las fuentes de emisión, los parámetros o las variables que rigen el proceso de mezcla y transporte de contaminantes en la atmósfera y, todos los aspectos concernientes a los puntos de recepción.

El procedimiento a seguir para desarrollar la modelación de contaminantes atmosféricos en la zona Industrial de Mamonal fue el siguiente:

- Características de las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en el sector Industrial de Mamonal.
- Análisis de las variables meteorológicas aplicadas a la modelación.
- Proceso de selección de los puntos receptores de interés.
- Estudio de la calidad del aire en los sitios de recepción.

5.1 CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE MAMONAL.

La finalidad de la recolección de información sobre las emisiones es definir las características físicas de las fuentes tales como: Diámetro de las chimeneas, altura física de las chimeneas, temperatura absoluta de los gases en la chimenea, densidad de los gases y velocidad de salida, que son necesarios para la determinación de parámetros que definen los fenómenos de elevación de las plumas (Ver sección 4.4.6), y poder conformar una base de datos necesaria en el momento de la aplicación de los modelos de dispersión (Ver sección 4.5.1).

La información de interés recolectada proviene de estudios isocinéticos contratados por las empresas del sector como informe de sus emisiones a la Corporación Autónoma y Regional del Canal del Dique (CARDIQUE). Los estudios que en este proyecto se tratan corresponden a tres empresas en particular: Ciba Geigy (Diciembre 1996), Colclinker (1996) y Ecopetrol (Julio 1996).

El criterio de selección de estas empresas se basa en que las emisiones de contaminantes a la atmósfera son las más detalladas y accesibles. Además, en lo que se refiere a material particulado, estas tres empresas aportan el 70.42% de la descarga de partículas a la atmósfera, comparándolas con las estimadas en el estudio sobre la calidad del aire realizado en 1989 para el sector industrial de Cartagena (Ver sección 3.2.1).

En este estudio se da especial importancia a las emisiones de material particulado y se confrontan las concentraciones proyectadas a través del modelo PTXXX, con las mediciones hechas en los puntos de recepción de interés obtenidos con base en la modelación. También se analizan las concentraciones, calculadas mediante el modelo matemático para SO_2 y NO_2 sin hacer comparaciones con datos de campo, debido a que se salen del marco de los objetivos planteados en este proyecto.

En el capítulo de Resultados se muestra en las tablas 14, 15, 16, 17 y 18 el resumen de las características de las fuentes de emisión necesarias para la modelación.

5.2 ANALISIS DE VARIABLES METEOROLOGICAS APLICADAS A LA MODELACION.

En lo relacionado con el transporte básicamente, el estudio centra su objetivo en el análisis de vientos y estabilidad atmosférica. El viento y sus manifestaciones junto con la estabilidad atmosférica definen los procesos de difusión y dispersión de los contaminantes en el aire, por esta razón se debe prestar considerable atención a la hora de definir o seleccionar estas variables.

5.2.1 Vientos: El proceso de selección de la información sobre velocidad y dirección de los vientos se basó en un análisis de informes suministrados por el IDEAM que consta de 17 años de registros, siendo esta la única fuente de información confiable más cercana, ya que no existe estación meteorológica en la zona de estudio.

En el análisis de los vientos se tomó el récord de datos consistente en 204 meses de valores medidos de velocidad, de las cuales hay 197 medidas

registradas en total (Ver Anexo A). Se establecieron rangos de velocidades y para cada uno se halló el porcentaje de ocurrencias:

- Primer rango entre 0.3 m/s y 2.0 m/s.
- Segundo entre 2.1 m/s y 4.0 m/s.
- Y tercero entre 4.1 y 6.4 m/s.

Así por ejemplo, para el caso de los vientos provenientes del Norte en el primer rango de velocidades, 62 datos fueron contados, en comparación con el total de datos registrados el cual era de 197 (Ver sección 6.2). Esto equivale a que el 45.25% de todos los datos registrados por el IDEAM durante los 17 años estuvieron en este rango de velocidad, siendo 2.0 m/s el valor más representativo y por ende a tener en cuenta. Análogamente este análisis se desarrolló para las otras direcciones como Noreste, Noroeste, Oeste, Suroeste y Sur. Al final todos los resultados se condensan en un histograma circular conocido como **Rosa de los vientos** (Ver sección 6.1).

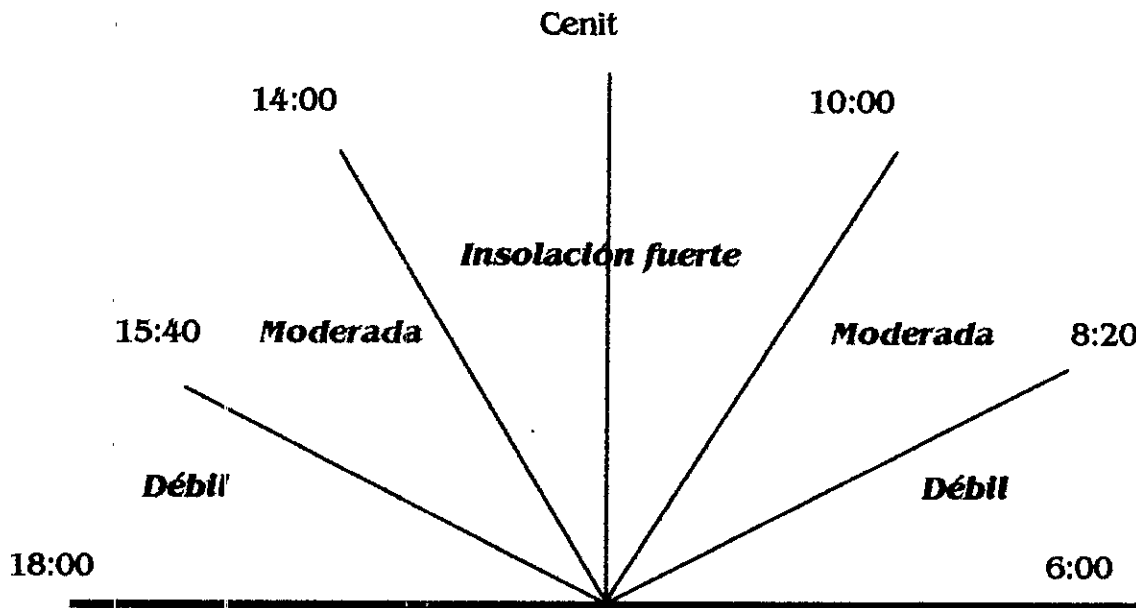
5.2.2 Estabilidad atmosférica de la zona: Se puede expresar sobre la estabilidad atmosférica que es un resultado de la combinación o interacción de los fenómenos meteorológicos que generan los movimientos de las masas de aire sobre las capas de la atmósfera. La estabilidad e inestabilidad atmosférica es un concepto que se encuentra bien detallado en la sección 4.3.6.

Los fenómenos meteorológicos y del clima son muy variados, incluso durante el mismo día, tanto así que los modelos actuales consideran condiciones micrometeorológicas cada hora, ya que se presentan cambios en la estabilidad de la atmósfera que afectan directamente los procesos de dispersión de contaminantes.

Para efectuar la clasificación de la estabilidad, se tienen en cuenta los trabajos realizados por Pasquill, Gifford y Turner. El ingeniero Pasquill propuso una clasificación que Gifford modificó y se encuentra consignada en la tabla 9. Esta clasificación asume que la estabilidad en las capas próximas a la superficie son dependientes de la radiación neta como una indicación de las fuerzas convectivas y la velocidad del viento como una indicación de las fuerzas mecánicas.

La insolación depende de la altitud solar (ver tabla 11), la cual es función de la época del día o del año. Se considera una radiación solar débil cuando el sol se encuentra entre una altitud solar entre 0° - 35° , esto ocurre entre las 6:00 - 8:20 y entre las 15:40 - 18:00. Se considera radiación solar fuerte cuando la altitud es mayor de 60° (10:00 - 14:00); y se considera radiación solar moderada cuando el sol se encuentra entre 35° y 60° de altitud, esto ocurre entre las 8:20 - 10:00 y 14:00 - 15:40. En la figura 16 se ilustra este aspecto.

Figura 16
La insolación como función de la altitud solar



Cuando hay muchas nubes, éstas disminuyen la insolación. Para determinar la nubosidad se toma un área imaginaria en el cielo y se divide en ocho partes iguales, luego se recogen las nubes y se concentran en el área para determinar cuantos octavos llena el área imaginaria, si no hay nubes o es menor de $\frac{3}{8}$, se dice que es un cielo despejado. Cuando la nubosidad se encuentra entre $\frac{3}{8}$ y $\frac{7}{8}$ se dice que se encuentra parcialmente cubierto y mayor de $\frac{7}{8}$ es un cielo cubierto.

Turner utilizó el trabajo de Pasquill - Gifford y elaboró otra clasificación de la estabilidad en función de la velocidad del viento y el índice de radiación neta (ver tabla 10).

Tabla 9
Clasificación de la estabilidad de la atmósfera según Pasquill - Gifford

Viento Superficial (Medida a 10 metros de altitud).		Día Insolación			Noche	
		Fuerte	Moderada	Suave	Cielo cubierto o Nubosi. > 4/8	Nubosidad < 3/8
m/s	mph					
<2	<4.5	A	A - B	B	---	---
2 -- 3	4.5 -- 6.7	A - B	B	C	B	F
3 -- 5	6.7 -- 11.2	B	B - C	C	D	E
5 -- 6	11.2 -- 13.4	C	C - D	D	D	D
6	13.4	C	D	D	D	D

Tabla 10
Clasificación de la estabilidad como una función de la radiación neta y de la velocidad del viento según Turner

Velocidad del viento	Indice de Radiación neta						
	4	3	2	1	0	-1	-2
Nudos							
0.1	1	1	2	3	4	6	7
2.3	1	2	2	3	4	6	7
4.5	1	2	3	4	4	5	6
6	2	2	3	4	4	5	6
7	2	2	3	4	4	4	5
8.9	2	3	3	4	4	4	5
10	3	3	4	4	4	4	5
11.6	3	3	4	4	4	4	2
12	3	4	4	4	4	4	2

Tabla 11
Insolación como una función de la altitud solar

Altitud solar (a)	Insolación	Insolación (Clasificación)
$60^\circ < a$	Fuerte	4
$35^\circ < a < 60^\circ$	Moderada	3
$15^\circ < a < 35^\circ$	Suave	2
$a < 15^\circ$	Débil	1

Las estabilidades según Pasquill – Gifford tienen la siguiente equivalencia:

- A.** Extremadamente inestable.
- B.** Bastante inestable.
- C.** Ligeramente inestable.
- D.** Neutro.
- E.** Ligeramente estable.
- F.** Bastante estable.

Las estabilidades según Turner:

- 1.** Extremadamente inestable
- 2.** Inestable.
- 3.** Ligeramente inestable.
- 4.** Neutral.
- 5.** Ligeramente estable.
- 6.** Estable.
- 7.** Extremadamente estable.

5.3 PROCESO DE SELECCION DE LOS PUNTOS RECEPTORES DE INTERES

Una vez analizadas las características de las fuentes de emisión (Sección 5.1), y estudiados los aspectos climatológicos y meteorológicos de la zona Industrial de Mamonal (Sección 5.2) se procede a identificar los posibles puntos de recepción que puedan verse afectados con los contaminantes.

Inicialmente se realiza un análisis por separado para cada chimenea utilizando el modelo *PTMAX* (Sección 4.5.1) a través del cual obtendremos la altura efectiva de emisión, la máxima concentración a nivel del suelo y la distancia a partir de la fuente a la cual se presenta para cada condición de estabilidad y dirección del viento.

Al conocer las distancias a las cuales se encuentran los puntos de recepción se procede a ubicarlas en el plano de la zona en estudio y se destacan los puntos donde las concentraciones sean máximas (Ver figuras 21, 22, 23 y 24) para recomendarlas como zonas para la toma de muestras en un estudio de calidad del aire.

Posteriormente se realiza un análisis que involucra todas las fuentes en estudio a través del modelo *PTMTP* (Sección 4.5.3) y se determinan las concentraciones en los puntos de recepción seleccionados (Ver sección 6.3.2). De igual forma se ilustran en el plano de la zona (Ver figura 25) y se comparan con los resultados obtenidos en el análisis individual del *PTMAX*.

5.4 ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS SITIOS DE RECEPCION SELECCIONADOS.

5.4.1 Método gravimétrico para el análisis de material particulado: El muestreador de alto volumen (Hi-Vol): El muestreador de alto volumen (Ver figura 17) es el instrumento recomendado para hacer un muestreo a grandes volúmenes de aire por la recolección de material particulado suspendido. El diseño físico del muestreador está basado en principios aerodinámicos con la finalidad de atrapar partículas de 100 micrones y menores. El muestreador consiste de una unidad motor/aspirador y una pantalla de apoyo para el filtro que va adelante de la unidad motor/aspirador. Durante la operación de muestreo, el muestreador está apoyado en un refugio protector, de tal forma que la superficie de 8" x 10" del filtro está en posición horizontal. En su configuración básica (Modelo GMWL 2000 modelo del muestreador empleado en nuestro estudio) un medidor de flujo está conectado a un tapón de presión en el escape del motor.

Entre las aplicaciones para este equipo se tiene:

- Monitoreo de aire ambiente para determinar niveles de partículas suspendidas relativas a los estándares de calidad del aire. (Ver Sección 3.1.2.1).
- Impacto de una fuente específica en los niveles ambientales de partículas suspendidas al incorporar un "Activador - Dirección - Viento", modificación que permite al muestreador operar únicamente cuando las condiciones son tales que una relación fuente- receptor exista.
- Monitoreo de ambientes encerrados para niveles relativamente altos de material particulado, principalmente materiales tóxicos.
- Monitoreo de emisiones de desfogues de gran diámetro donde las condiciones físicas excluyen el uso de los equipos convencionales de muestreo en chimeneas.

5.4.2 Calibración del equipo de muestreo: El decreto 2308 del 24 de febrero de 1986 establece el procedimiento para la evaluación de partículas, en el aire ambiente del territorio nacional. El decreto establece que tal evaluación de la calidad del aire debe efectuarse por el método gravimétrico de alto volumen. El artículo 1. Hace referencia a lo siguiente:

"El aire ambiente es succionado al interior de una caseta en donde pasa a través del interior de un filtro a una tasa de flujo comprendida entre 1.13 y 1.7

m³/min (40 a 60 cfm). En el filtro quedan retenidas las partículas con diámetros menores de 100 micras”.

Para cumplir con esta norma, se debe calibrar el medidor para que aspire el aire a la tasa de flujo mencionada, es decir 1.4m³/min en promedio. Ahora bien, la calibración del medidor (Hi-Vol) solo es posible mediante un equipo de calibración (Ver Figura 18) el cual ha sido calibrado previamente en su lugar de fabricación. El equipo de calibración tiene una curva de calibración donde se relacionan la presión estática del calibrador en pulgadas de agua con la tasa de flujo que circula a través de él a dicha presión (Ver Figura 19). El procedimiento que se efectuó en la calibración del medidor consistió, primero que todo, en ensamblar todo el equipo de calibración al medidor. Luego como ambos equipos poseen manómetros se debe verificar que los dos marquen inicialmente cero, luego se conecta el medidor de flujo y se varían los voltajes del motor/aspirador tomando las lecturas de los manómetros para cada variación (Ver Tabla 12).

Tabla 12. Calibración del Hi-Vol

Número	Lectura Manómetro (Hi-Vol) en pulg. de columna de agua.	Lectura Manómetro ΔH en pulg. De columna de agua.
1	6.9	6.4
2	6.55	6.0
3	5.3	5.0
4	4.4	4.0
5	3.1	3.0
6	2.15	2.0

Cabe mencionar que las condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica en el momento de la calibración se deben tener en cuenta para deducir una ecuación que nos permita calcular el flujo a las condiciones estándar (25°C y 1 atm de presión). Para nuestro caso la temperatura ambiente era de 32°C y 1 atm de presión.

Las lecturas de la tabla anterior deben ser llevadas a condiciones estándar. Con los datos de lectura ΔH en condiciones estándar se entra a la curva de calibración del medidor (Figura 19) y se determinan los flujos que correspondan para cada caso (Ver Anexo D, Calibración del Hi - Vol). En esta tabla está recopilado todo el proceso de cálculo para la determinación de flujo que circulará en el medidor en condiciones estándar. Para interpretar correctamente los datos se definen:

ΔH = Lectura en el manómetro del calibrador en pulgadas de columna de agua.

$(J*\Delta H)^{1/2} = \Delta H$ en condiciones estándar.

De la curva de calibración se obtiene el flujo estándar (Q_{ST}) que circula por el calibrador para cada ΔH en condiciones estándar.

Datos del medidor:

Q = Lectura del manómetro en pulgadas de agua.

Y = Lectura del manómetro.

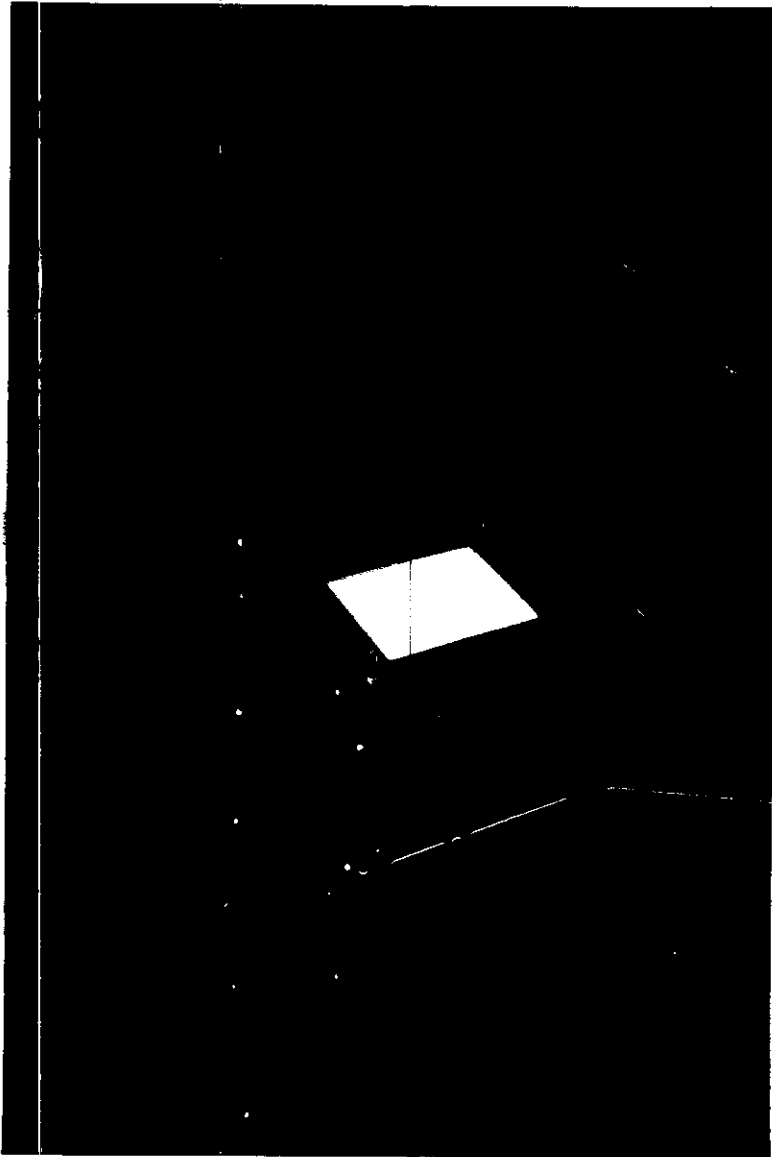
Se debe graficar Y vs Q_{ST} y por una regresión lineal se aproxima a una recta de ecuación $Y = mQ_{ST} + B$, para un coeficiente de correlación R . Obviamente m es la pendiente y B es el punto de corte de la recta en el eje de las ordenadas.

$Y_{cal} = mY + B$, es un valor de presión calculado a partir de los valores que realmente se están midiendo.

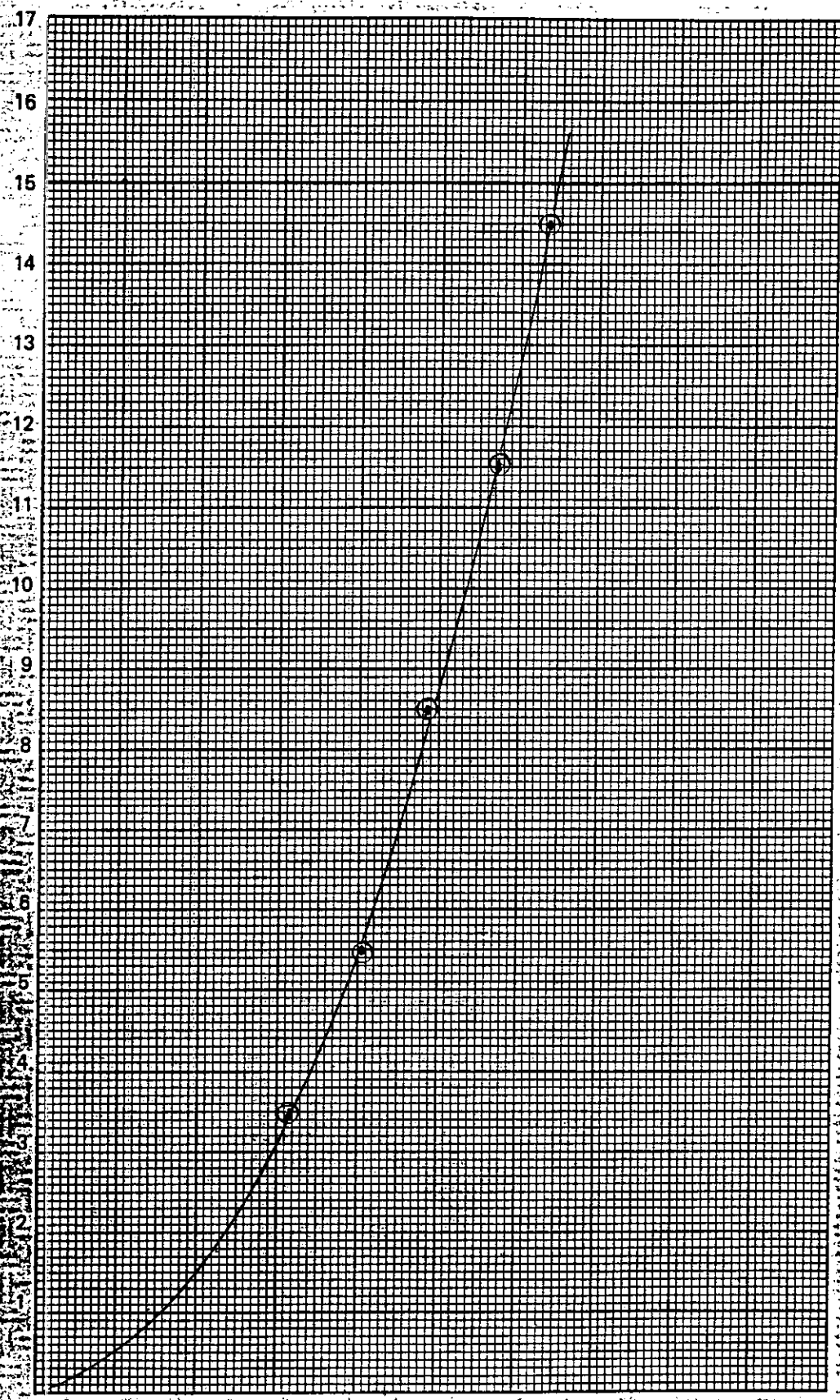
$\%D$ = Porcentaje de desviación = $(Y - Y_{cal}) / Y_{cal} * 100$.

De esta manera se llega a la ecuación correspondiente para las condiciones estándar. Ahora se puede verificar que para tener un flujo de $1.4 \text{ m}^3/\text{min}$ para cumplir con la norma se debe leer una presión en el manómetro de $Y = 2.1''$ de H_2O para condiciones estándar. Como las condiciones reales del lugar de medición no son las estándar, se debe llevar esta presión a las condiciones reales así:

$$Y = \left(\Delta P (P_{atm} * 298^\circ\text{K}) / (760 * T^\circ\text{K}) \right)^{1/2}$$



CALIBRATOR STATIC PRESSURE
PSI H₂O (6)



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0
 Q - cfm (9) or Q - M³/min. (10)

FLOW RATE

THIS PLOT IS IN (check one)
 cfm _____
 M³/min. _____
 They are NOT EQUIVALENT

Figura 19.

Curva tipica del Calibrador

$$\Delta P = Y^2 \left(\frac{760 * T^{\circ}K}{P_{atm} * 298^{\circ}K} \right)$$

Para una $T = 32^{\circ}C$, $Y = 2.1''$ de H_2O y $P_{atm} = 760$ mm de Hg

$$\Delta P = 4.51'' \text{ de } H_2O.$$

Esto quiere decir que se debe ajustar el voltaje del motor/aspirador para que la lectura en el manómetro sea ΔP y así se garantice que el flujo cumple con la norma.

5.4.3 Toma de muestras: El procedimiento de toma de muestras se efectuó con base en lo especificado por el decreto 2308/86, se usaron filtros de fibra de vidrio con un poder de retención del 99% para partículas de 0.3 micras de diámetro. Los filtros se colocan en el cuarto de la balanza (De acuerdo con la norma el sitio de ubicación de la balanza debe estar entre 15 y 35°C), durante 24 horas, luego se pesan, al miligramo más cercano. Se anota su peso y número de identificación, sin doblarlos o plegarlos (Ver Tabla 13). Para el análisis gravimétrico se dejan los filtros usados 24 horas en el desecador, luego se pesan y, si es necesario efectuar el análisis químico adicional, se guardan nuevamente en el desecador.

Tabla 13. Análisis gravimétrico - Filtros

Número del filtro	Peso inicial (PI) gr
01	3.5137
02	3.5667
03	3.5527
04	3.5518
05	3.5648
07	3.5514
08	2.7154
09	2.7290
10	2.7192
11	2.7230
12	2.7231
13	2.7042
14	2.7064

En el anexo F se encuentran los formularios respectivos donde están recopilados los resultados de cada muestreo, sus respectivas observaciones, así como la información referente a cada punto de interés.

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS (CIBA, COLCLINKER Y ECOPETROL - 1996)

En las siguientes tablas se muestra el resumen de las características de las fuentes de emisión (Ver sección 5.1) necesarias para la modelación:

TABLA 14.
Control de emisiones CIBA - GEIGY (1996)

PARAMETROS: Condiciones meteorológicas y características de la fuente	Ciba - incinerador		
	Material Particulado	SO ₂	NO ₂
T°K (aire ambiente)	303	303	
Clase de estabilidad	TODAS	TODAS	
Fuerza de la fuente (gr/seg)	0.125	0.1083	
Altura de la chimenea (mts)	15	15	
T°K (del gas en la chimenea)	808.35	808.35	
Flujo en m ³ /seg	4.1	4.1	
Velocidad de salida en m/seg			
Diametro de salida en m	0.64	0.64	

TABLA 15.
Control de emisiones COLCLINKER (1996)

PARAMETROS: Condiciones meteorológicas y características de la fuente	Horno Coldinker 1 y 2			Horno Coldinker 3		
	MP	SO ₂	NO ₂	MP	SO ₂	NO ₂
T°K (aire ambiente)	303	303	303	303	303	303
Clase de estabilidad	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS
Fuerza de la fuente (gr/seg)	18.68	0.2053	0.341	17.84	0.043	0.567
Altura de la chimenea (mts)	50	50	50	55	55	55
T°K (del gas en la chimenea)	462.65	462.65	462.65	464.85	464.85	464.85
Flujo en m ³ /seg	175.84	175.84	175.84	98.485	98.485	98.485
Velocidad de salida en m/seg	7.406	7.406	7.406	9.785	9.785	9.785
Diametro de salida en m	5.5	5.5	5.5	3.58	3.58	3.58

TABLA 16.
Control de emisiones ECOPETROL (Reg. Rupt. Catal. - 1996)

PARAMETROS: Condiciones meteorológicas y características de la fuente	ECOPETROL Reg. Rupt. Catal.		
	Material Particulado	SO ₂	NO ₂
T°K (aire ambiente)	303	303	303
Clase de estabilidad	TODAS	TODAS	TODAS
Fuerza de la fuente (gr/seg)	12.26	24.89	5.73
Altura de la chimenea (mts)	62.28	62.28	62.28
T°K (del gas en la chimenea)	973.15	973.15	973.15
Flujo en m ³ /seg	27.4	27.4	27.4
Velocidad de salida en m/seg			
Diametro de salida en m	1.6	1.6	1.6

Tabla 17.
Suma de emisiones Ciba, Colclinker, Ecopetrol (1996)

	Material Particulado	SO ₂	NO ₂
Descarga Total (Kg/h)	176.06	90.9	23.9

Tabla 18.
Estimación de la descarga total del sector Industrial de Mamonal
(1989)⁽¹⁾

	Material Particulado	SO ₂	NO ₂
Descarga Total (Kg/h)	250	1666.7	1208.3

(1)SANCHEZ, Ernesto. Licencias Ambientales. Evaluación de impacto ambiental: Instrumento de planificación. Departamento Nacional de planeación - Ministerio del Medio Ambiente. TM Editores.




6.2 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS DE LA ZONA.

6.2.1 Análisis de los vientos: La información que respecta a este fenómeno meteorológico se obtuvo a través del **IDEAM** (Ver anexo A). Los valores de dirección y velocidad fueron medidos en la estación del aeropuerto Rafael Nuñez de la ciudad de Cartagena de Indias. Aunque la estación de medida se encuentra relativamente alejada de la zona, bien es cierto que es el único record confiable que existe para cualquier estudio que implique a la variable meteorológica en el área de la ciudad. El análisis correspondiente se muestra a continuación y se incluyen los intervalos de temperatura (valores medios) típicos para cada época en que se presentan las respectivas intensidades:

- Record de datos: Se cuenta con un record de datos de 17 años, desde 1980 hasta 1996, es decir 204 meses de valores medios de velocidad, de los cuales hay 197 medidas registradas (ver anexo A).
- Las direcciones indican de donde vienen los vientos.
- El valor medio máximo de velocidad registrado en los 17 años de muestreo es de 6,4m/s.

6.2.1.1 Vientos provenientes del Norte (N):



Intervalos

0.3 – 2.0 m/s		(62)	45,25%
2.1 – 4.0 m/s		(55)	40.14%
4.1 –6.4 m/s		(20)	14.60%

Total 137 medidas. Los vientos provenientes del norte constituyen el **69,54%** de todas las direcciones registradas en los últimos 17 años. La temperatura promedio mensual del ambiente para la época en que se presentan éstos vientos (de Enero a Julio y en menor frecuencia el resto del año). Oscila entre 26,8°C y 28,4°C. Los valores picos de temperatura horaria alta se registran al medio día y generalmente se encuentran entre 31°C y 34°C.

6.2.1.2 Vientos provenientes del Noreste (NE):

Intervalos


0.3 – 2.0 m/s		(07)	31,80%
2.1 – 4.0 m/s		(15)	68,20%
4.1 –6.4 m/s			

Los vientos del noreste constituyen el **11,17%** de las direcciones de vientos registradas. Los valores medios mensuales de temperatura ambiente

registradas se encuentran entre 26,8°C y 27,7°C. Los vientos del noreste predominan en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, pero su frecuencia comparada con los vientos provenientes del norte es muy baja.

6.2.1.3 Vientos provenientes del Noroeste (NO):



Intervalos

0.3 – 2.0 m/s		(18)	100%
2.1 – 4.0 m/s			
4.1 – 6.4 m/s			

El 100% de los vientos registrados del noroeste se encuentran en el intervalo de velocidades 0.3 – 2.0 m/s. Los vientos del noroeste se constituyen en el 9,14% de las direcciones de vientos registradas. Los valores de temperatura oscilan entre 27,8°C y 28,2°C durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. Como se observa estos valores que se presentan muestran la poca influencia y frecuencia de esta dirección de vientos y su baja velocidad registrada.

6.2.1.4 Vientos provenientes del Oeste (O):


Intervalos

0.3 – 2.0 m/s		(15)	93,75%
2.1 – 4.0 m/s		(01)	6,25%
4.1 – 6.4 m/s			

Los vientos del oeste solo constituyen el **8,12%** de las direcciones registradas. Los meses en que se han presentado estas medida de forma esporádica han sido los de agosto, septiembre y octubre. La temperatura ambiente promedio para éstos meses como ya se mencionó oscila entre $27,8^{\circ}\text{C}$ y $28,2^{\circ}\text{C}$.

6.2.1.5 Vientos provenientes del Suroeste (SO):

Intervalos

0.3 – 2.0 m/s		(4)	100%
2.1 – 4.0 m/s			
4.1 – 6.4 m/s			

Estos cuatro valores registrados durante los últimos 17 años constituyen nada más un **2,03%** de todas las lecturas; son vientos de muy rara ocurrencia, de un valor casi nulo y realmente se deben considerar como calmas. Los meses en que se han registrado éstos valores son agosto, septiembre y octubre. La temperatura ambiente promedio mensual está entre $27,8^{\circ}\text{C}$ y $28,2^{\circ}\text{C}$.

En síntesis los vientos predominantes en la zona tomando como referencia los datos registrados por el IDEAM, proviene del Norte, y sus valores de velocidad son relativamente bajos. El valor de velocidad más representativo es de 2,0 m/s, presentándose casi durante todo el año.

Este análisis de los vientos se presenta mediante un histograma circular conocido como *rosa de los vientos*, (ver figura 20), constituyéndose en uno de los factores climatológicos más importantes para los modelos de dispersión atmosférica.

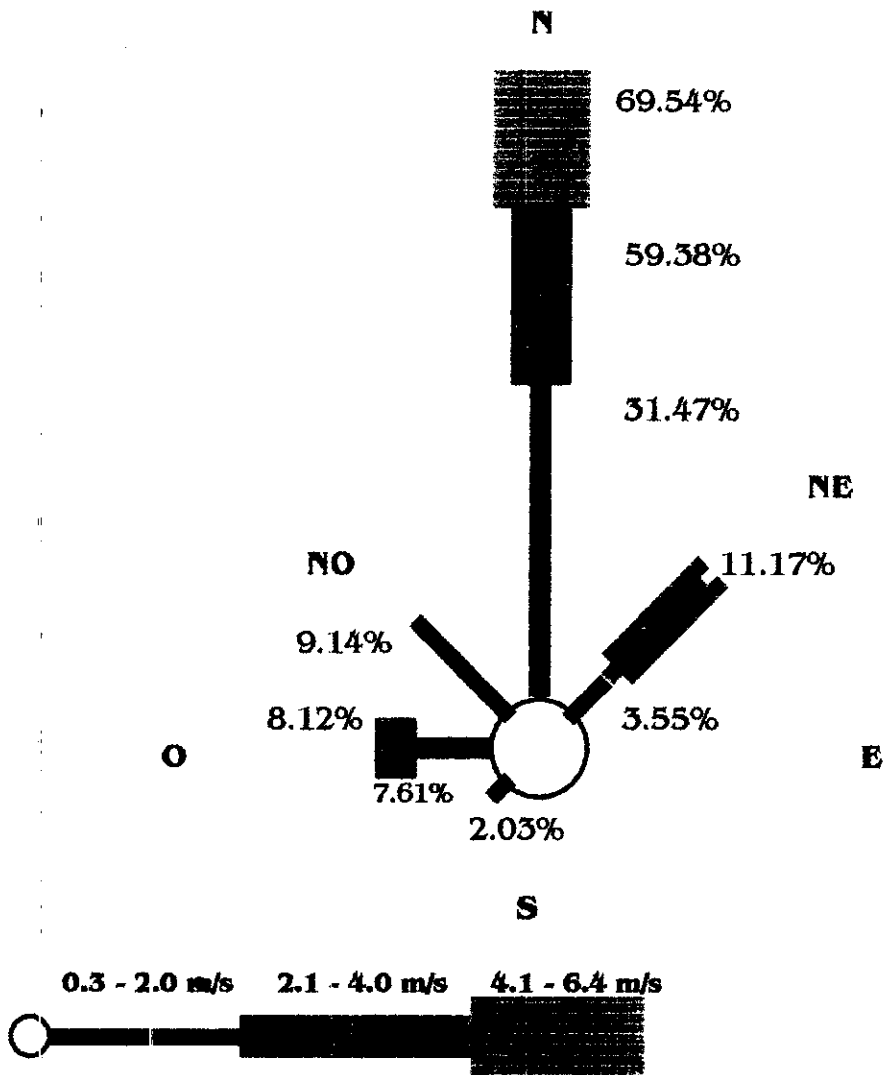


Figura 20.
Histograma circular - Rosa de los Vientos (17 años de muestreo del IDEAM)

6.3 PROYECCION DE LAS EMISIONES A TRAVES DEL MODELO PTMAX.

De acuerdo con los datos recopilados de las emisiones de contaminantes (Sección 5.1) y el análisis de la información meteorológica (Sección 5.2) se realiza una proyección utilizando el modelo PTMAX (Sección 4.5.1) para detectar los puntos de mayor concentración. Se puede observar en el Anexo G los datos de entrada y salida del modelo que corresponden a lo ilustrado en la sección 4.5.1 aplicado a los datos de emisión de las empresas CIBA, COLCLINKER Y ECOPETROL, para los tres tipos de contaminantes de este estudio Material Particulado, SO₂ y NO_x.

6.3.1 Criterios para el análisis de los resultados obtenidos en el

modelo PTMAX: Los criterios empleados para el análisis son:

- Se consideran los vientos provenientes del Norte ya que el 69.5% de las direcciones registradas en los últimos 17 años provienen de esta dirección (Ver sección 5.2).
- Se da especial importancia a los valores de velocidad de viento comprendidas entre 0.5 y 4.0 m/s, es decir 2.0m/s en promedio ya que el 80.39% de las velocidades provenientes del Norte oscilan en este rango. La variación del viento con la altura es una situación que no se toma en cuenta, ni siquiera por el mismo modelo PTMAX, por lo que los valores de altura de la pluma que sean demasiado altos se tomarán con cierto escepticismo. (Ver anexo A).
- Los valores de radiación neta son muy variados por lo que todas las estabilidades son representativas, se analizan los casos extremos y neutro.
- Aunque las condiciones micrometeorológicas son muy variadas con el tiempo, se tomará una temperatura $T = 30^{\circ}\text{C}$ (303°K) como valor medio representativo. En este aspecto se ha tomado en cuenta las mediciones de temperatura hechas durante el muestreo de partículas. (Ver capítulo de Resultados).
- Se asume una topografía plana. Consideración que forma parte del modelo también.

6.3.1.1 Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para CIBA

GEIGY: Para estabilidad atmosférica 1 (Extremadamente Inestable), el valor de máxima concentración a nivel del suelo tiene lugar a escasamente 315 m de la fuente, en la dirección sur a partir de la fuente, esto es en el barrio Policarpa Salavarrieta (Ver anexo C), pero la condición de inestabilidad atmosférica es tal que permite una gran dispersión y el valor proyectado para material particulado es de escasamente $2.256 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y de $1.955 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para estabilidad 2, la reducción de los procesos convectivos hace que las máximas concentraciones se encuentren unos metros más adelante pero igualmente dichos valores son considerablemente bajos. Para la estabilidad 4 los valores máximos se encuentran a 1500 m (Aproximadamente en predios de ALCALIS). Para el caso de estabilidad 6, es decir, en horas de la noche con muy poca nubosidad y vientos suaves, la dispersión vertical se ve altamente impedida producto de la inversión que se presenta y la radiación negativa que sale de la Tierra al espacio. En la figura 21 se resume el resultado del análisis para Ciba a través del modelo *ptmax*.

6.3.1.2 Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para

COLCLINKER HORNOS 1 Y 2: Los valores de máxima concentración proyectados a través del modelo se localizan entre +815 m y +109 m para la estabilidad 1, esto es parte de los predios del CAA de Mamonal (ISS) y parte de Petroquímica S.A. sobre el kilómetro 8 de la vía a Mamonal. Se destaca el

valor promedio de $17.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado. Para estabilidad 2, la zona de máxima influencia cubre los +2205m hasta los +3884m abarcando con esto las empresas de Ecopetrol, ESSO, Holasa y Abocol; eso si, bordeando siempre la Bahía de Cartagena (Ver figura 22 y anexo C). Es importante observar la altura de la pluma calculada por el modelo que es de 500m. A esa altura las condiciones micrometeorológicas pueden ser muy variadas. La dirección y velocidad del viento pueden ser diferentes y la estabilidad asumida en el modelo puede no existir, por esto las concentraciones proyectadas se deben tomar con cierto escepticismo. Para las demás estabildades 4, 5, 6, el tipo de pluma esperada es en forma de cono y abanico, y las distancias a las cuales se encuentran las máximas concentraciones se encuentran entre 43 y 45 kilómetros a partir de la fuente para estabildades 4 y 6 respectivamente (Considerando $v=2.0 \text{ m/s}$). Ahora para una estabildad 5, noches de gran nubosidad y vientos entre 2.0 y 3.0 m/s , se proyecta una concentración de $9.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado a una distancia de 16.04 Km a partir de la fuente.

6.3.1.3 Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para

COLCLINKER HORNO 3: Con los resultados de esta modelación se puede observar como a medida que la atmósfera se hace más estable, los procesos convectivos disminuyen siendo el viento el gran agente mecánico dispersante. Se destaca el valor proyectado para la estabildad 1 en material particulado de

24.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a solo 841 m. de la fuente, esto es en predios del puesto de salud del ISS sobre el kilómetro 8 de la vía a Mamonal. También es de destacar la elevada altura de la pluma obtenida $H=374.5$ m, lo que hace tener precaución en la credibilidad de los resultados obtenidos. Para los casos de estabilidad 2 y 3, las máximas concentraciones proyectadas se esperan en la refinería de ECOPETROL (Km 10) bordeando la bahía de Cartagena y, a 5 Km de la fuente en la dirección sur , esto es detrás de los predios de la Zona Franca y Dow Química (Ver figura 23). Para los casos de estabilidades 4, 5 y 6 los valores proyectados sobrepasan los 10 Km, por lo que es posible que la misma estabilidad pueda no ser la misma a lo largo de las pluma a medida que aumente la distancia.

6.3.1.4 Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para

ECOPETROL: Para las emisiones de la chimenea del regenerador de ruptura catalítica de ECOPETROL, existen unas franjas de influencia de los contaminantes para cada tipo de estabilidad y rangos de velocidades más frecuentes, esto es entre 1.0 y 4.0 m/s. Para la estabilidad 1, la influencia de las máximas concentraciones se tienen entre +641 y +972 a partir de la fuente, esto es en los predios de HOLASA (Ver figura 24). Cabe resaltar la alta concentración proyectada para $\text{SO}_2 = 50.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{MP} = 25.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\text{NO}_2 = 11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la estabilidad 2, el rango de influencia proyectado se encuentra entre +1390 y +2263 m a partir de la fuente. Este rango abarca

los predios de ABOCOL, PAAD, CABOT y los terrenos al sur después de CABOT que se encuentran sin población humana. Se espera en estos predios encontrar alrededor del 56% de las concentraciones proyectadas para la estabilidad 1. Cuando las variables micrometeorológicas indican una estabilidad 3, y se registran unas fluctuaciones de velocidad entre 2 y 3 m/s, el rango de influencia proyectado indica que el área de mayor concentración se sitúa entre +2663 y +3710 m a partir de la fuente, esto es, por el sector conocido como Bajo de la Bonga. Los valores proyectados para esta estabilidad en esta zona se encuentran en un 42 a 43% de los correspondiente a la estabilidad 1. Se debe destacar también que las características de emisión y las velocidades consideradas son tales que los valores de altura de la pluma sobrepasan los 200 m, es importante aclarar que estas alturas no garantizan que las condiciones micrometeorológicas y climatológicas supuestas se mantengan por lo que deben considerarse estos resultados con cierto escepticismo.

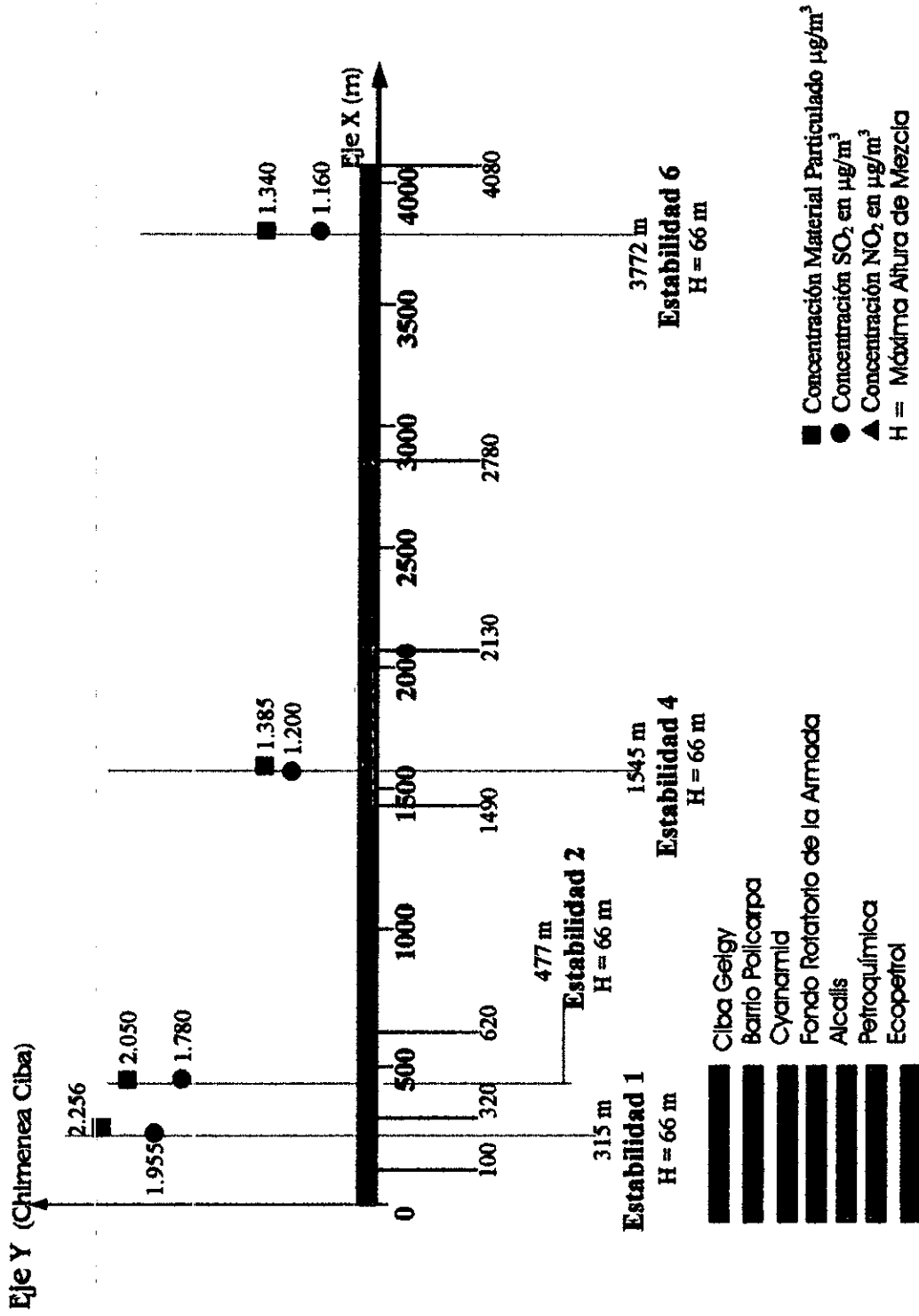


Figura 21. Resultados obtenidos a través del modelo *p_{max}* para Ciiba Geigy

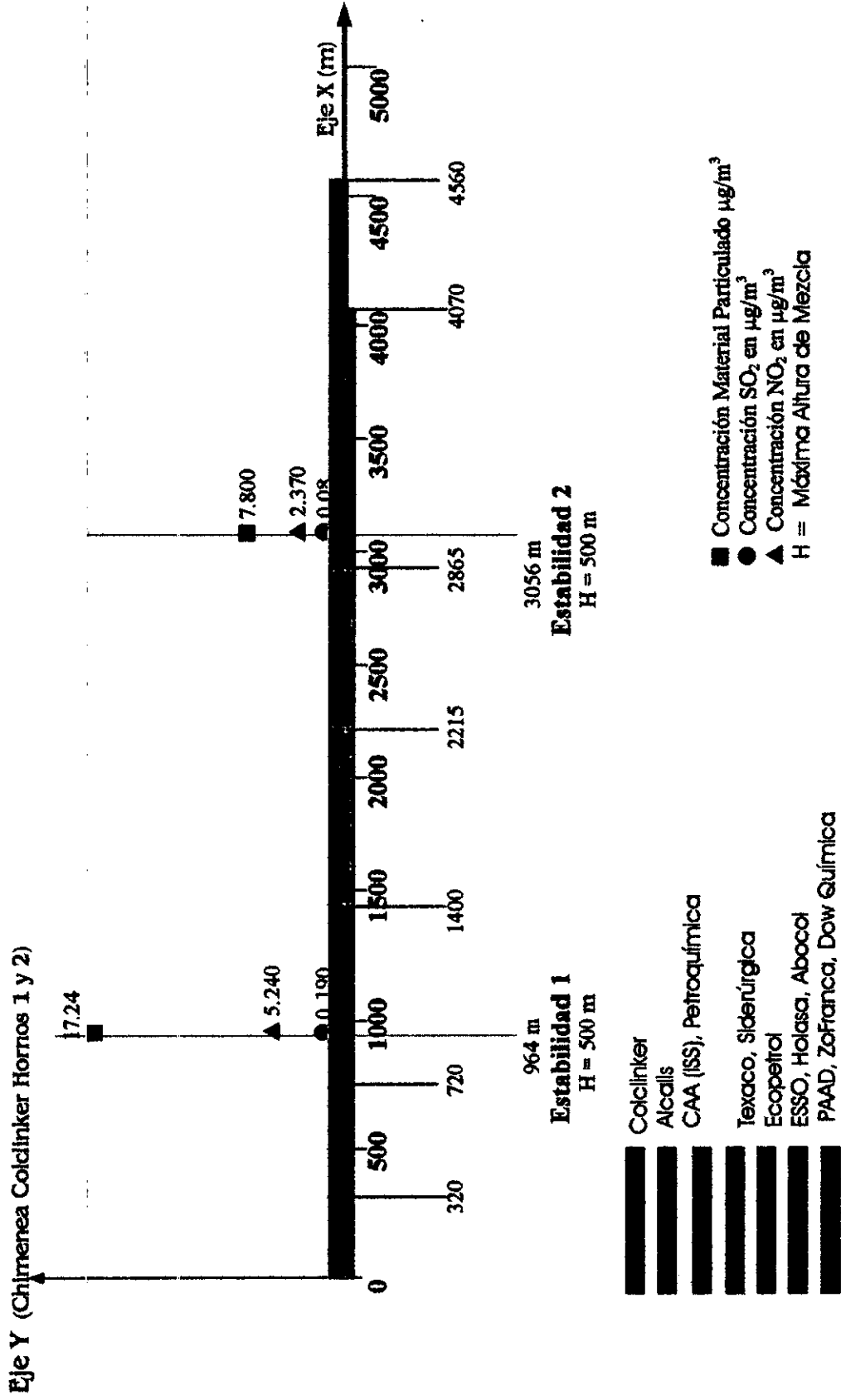


Figura 22. Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para Colclinker Hornos 1 y 2

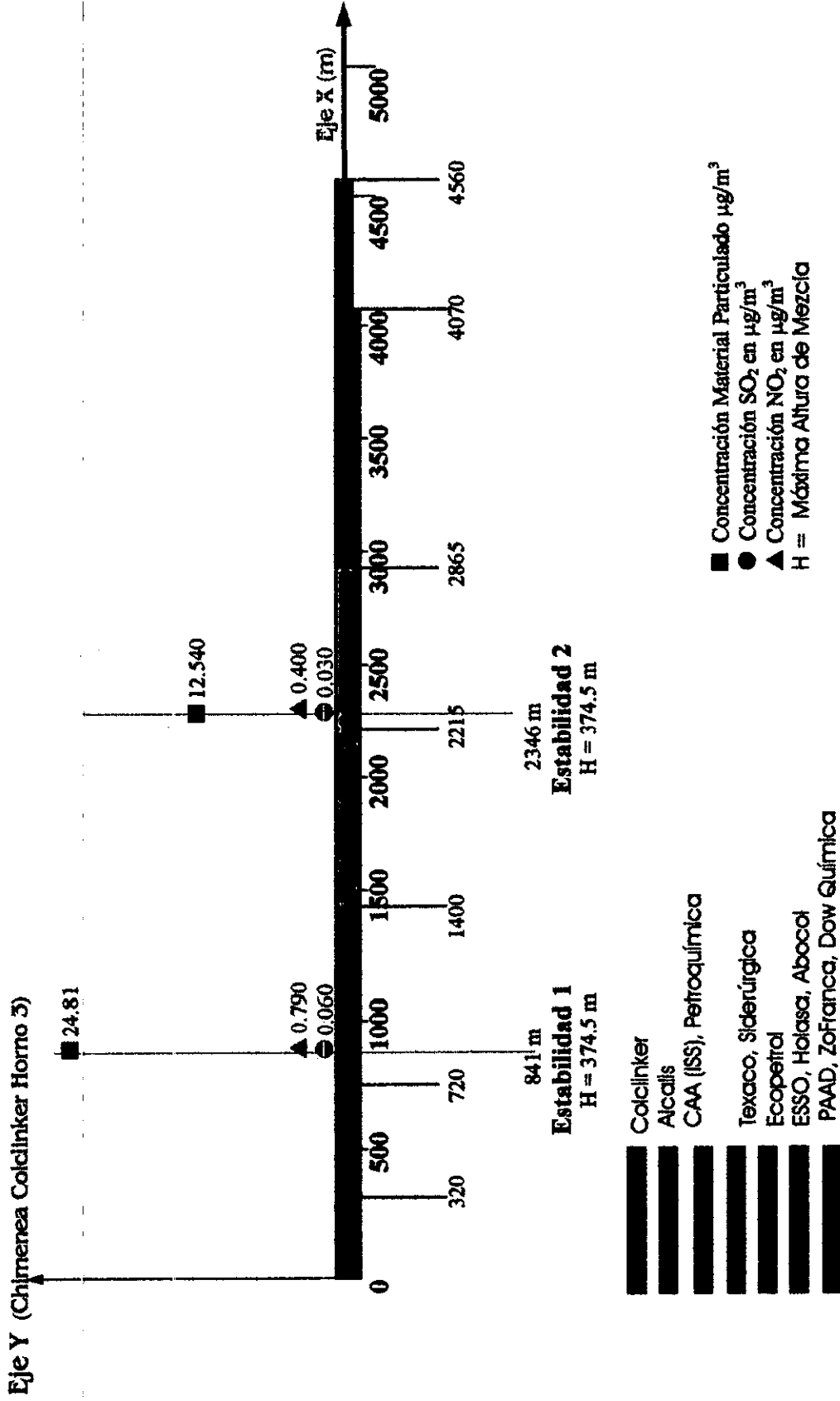


Figura 23. Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para Colclinker Horno 3

Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona Industrial de Mamonal

177

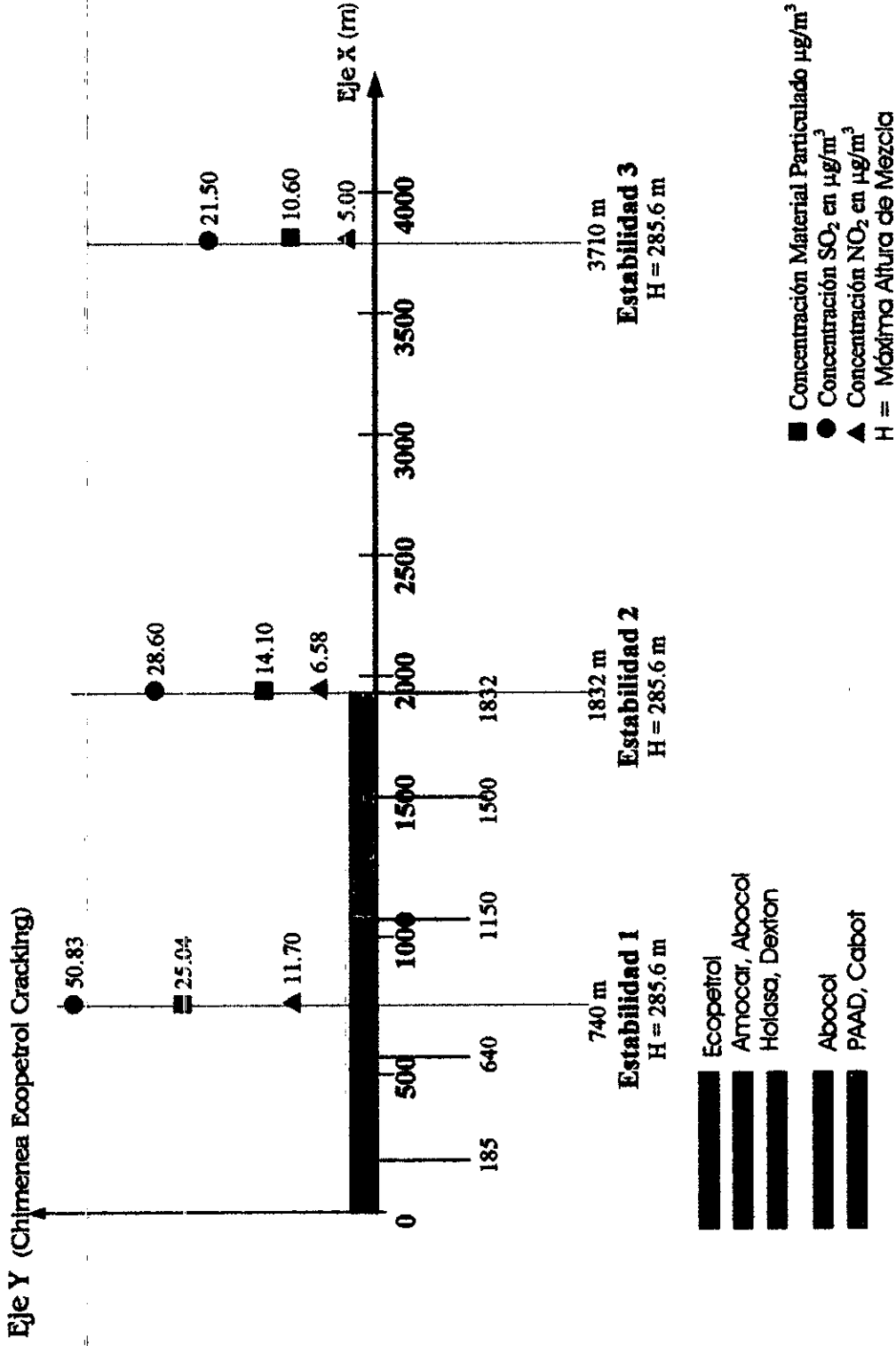


Figura 24. Resultados obtenidos a través del modelo *ptmax* para Ecopetrol

6.3.2 Definición de las áreas recomendadas para la toma de muestras:

Para la definición de los sitios de muestreo se tienen en cuenta dos aspectos importantes :

- Los establecimientos de la población civil alrededor de la zona industrial de Mamonal que de una u otra forma dada su localización geográfica y el estudio de la rosa de los vientos (Ver figura 19) puedan verse afectados por las emisiones de las fuentes consideradas (Ver Tablas 14 - 18).

Tabla 19. Areas de población civil seleccionadas para el muestreo.

Area de influencia (Puntos de medición)	Coordenadas reales (m.E ; m.N)	Coordenadas ficticias** (Km ; Km)
Barrio Policarpa Salavarrieta	845000 , 1636097	20 , 19.685
Corregimiento de Pasacaballos	842630 , 1629760	17.63 , 13.35
Municipio de Turbana	851000 , 1624310	26 , 7.9
Municipio de Turbaco	854520 , 1630390	29.52 , 13.98

**Tomadas con referencia a las coordenadas ficticias asignadas a la fuente de CIBA.

Nota: Ver anexo C

La selección de estas zonas también va acompañada de condiciones inevitablemente necesarias para garantizar el muestreo, tales como acceso, infraestructura necesaria y vigilancia del equipo. Estas condiciones para el caso del barrio Policarpa por ejemplo, hacen que el punto se desplace a los predios de Ciba Geigy. Para el caso del municipio de Turbaco se tendrán en cuenta los resultados del modelo PTMTP.

- De acuerdo a el análisis de los resultados de la proyección a través del modelo PTMAX (Ver sección 6.3) se destacan dos zonas de singular importancia en donde la influencia de material particulado, es interesante

verificarla. La primera zona se encuentra sobre el Km 8 de la vía a Mamonal, esto es, en los predios del CAA de Mamonal (ISS) y Petroquímica S.A. La segunda zona se encuentra sobre el Km 11 de la vía a Mamonal, en este caso la zona cobija varias empresas entre las cuales se pueden mencionar Holasa y Dexton. Para efectos de la ubicación del muestreador de alto volumen (Hi - Vol) y medir las concentraciones de material particulado, se seleccionarán dos puntos dentro de las respectivas zonas teniendo en cuenta las condiciones micrometeorológicas y de clima más representativas visibles en el modelo PTMAX para las emisiones de Colclinker (Ver secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.3) y para las emisiones de ECOPETROL (Ver sección 6.3.1.4).

Tabla 20. Puntos de muestreo seleccionados a lo largo de la Zona Industrial de Mamonal

Area de influencia (Puntos de medición)	Coordenadas reales (m.E ; m.N)	Coordenadas ficticias** (Km ; Km)
CAA de Mamonal (ISS)	843960 , 1634474	18.92 , 18.06
Refinería de ECOPETROL	843920 , 1632969	18.92 , 16.557
DEXTON	844200 , 1631690	19.2 , 15.278

**Tomadas con referencia a las coordenadas ficticias asignadas a la fuente de CIBA. Nota: Ver anexo C

6.4 PROYECCION DE LAS EMISIONES A TRAVES DEL MODELO PTMTP.

Para el uso del modelo PTMTP se deben suministrar datos sobre las fuentes de emisión, sobre los puntos de recepción y sobre las condiciones meteorológicas predominantes de la zona (Ver sección 4.5.3).

Tabla 21. Localización de las chimeneas en la zona Industrial de Mamonal.

Fuentes	Coordenadas reales (m.E ; m.N)	Coordenadas ficticias** (Km ; Km)
Ciba Geigy	845000 , 1636412	20 , 20
Colclinker Horno 1 y 2	843920 , 1635315	18.92 , 18.903
Colclinker Horno 3	843990 , 1635315	18.99 , 18.903
Ecopetrol (Cracking)	844420 , 1632745	19.42 , 16.33

**Tomadas con referencia a las coordenadas ficticias asignadas a la fuente de CIBA.(Ver anexo C)

6.4.1 Información sobre los puntos de recepción: Este aparte del modelo trata la localización tridimensional de los puntos de recepción. Estos puntos resultan del análisis efectuado a los resultados del modelo PTMAX (Sección 6.3.) , de la escogencia de las áreas recomendadas para las mediciones (Ver sección 6.3.2) y de la topografía del terreno.

Tabla 22. Localización de los puntos de recepción.

Receptores	Coordenadas reales (m.E ; m.N)	Coordenadas ficticias (m.E ; m.N)	Altura de cada receptor
Barrio Policarpa S.	845000 ; 1636097	20 ; 19.685	4
Correg. Pasacaballos	842630 ; 1629760	17.63 ; 13.35	20
Municipio Turbara	851000 ; 1624310	26 ; 7.90	50
Municipio Turbaco	854520 ; 1630390	29.52 ; 13.98	50
CAA Maronal (ISS)	843920 ; 1634472	18.92 ; 18.06	4
Petroquímica SA	843920 ; 1634351	18.92 ; 17.94	4
Ecopetrol (Refinería)	843920 ; 1632969	18.92 ; 16.557	4
ESSO	843920 ; 1632259	18.92 ; 15.847	4
Punto A*	843920 ; 1630315	18.92 ; 13.905	4
Punto B*	843920 ; 1628451	18.92 ; 12.04	4
Holasa	844420 ; 1632005	19.42 ; 15.59	4
Punto C**	844420 ; 1630913	19.42 ; 14.501	50
Bajo de la Bonga	844420 ; 1629035	19.42 ; 12.623	50

*Terreno después de Dow

**Terreno después de Cabot

6.4.2 Condiciones micrometeorológicas de la zona en estudio:

Teniendo en cuenta el estudio de la *rosa de los vientos* (Ver sección 6.2), y el análisis de la estabilidad atmosférica para la zona (Ver sección 5.2.2), combinado con observaciones de campo realizadas durante el muestreo (Hi-Vol), se obtuvo que las condiciones meteorológicas son variadas casi para cada hora. El modelo PTMTP contempla la posibilidad de analizar las concentraciones horarias y promediar un total durante las horas consideradas. En la tabla 23 se recopilan las condiciones micrometeorológicas mas representativas de la zona para cada tipo de estabilidad deducidas en base al análisis de la información meteorológica

recopilada y a observaciones de campo realizadas durante el muestreo de partículas.

Tabla 23. Condiciones micrometeorológicas más representativas para la zona industrial de Mamonal.

Estab.	Insolación	Interv. de horas	T. Amb.(Kelvin)	V (m/s)	Direcc. Grados*	H. mezcla**
1	Fuerte	10:00 - 14:00	307	1,5	0	480 m
				2	0	640 m
2	Moderada	8:20 - 10:00	305	2	0	640 m
		14:00 - 15:40		3	0	960 m
3	Suave	6:00 - 8:20	302	2,5	0	800 m
		15:40 - 18:00		3,5	0	1120 m
4	Suave	16:30 - 18:00	301	4	0	1280 m
	Noche	Nubosidad > 4/8		5	0	1600 m
5	Noche	Nubosidad < 3/8	300	3	0	960 m
6	Noche	Cielo despejado	300	3	0	960 m

*La dirección 0° corresponde a los vientos provenientes del Norte

**Se asume que la altura de mezcla es igual a (320 x Velocidad).

En el anexo G se presentan los datos de entrada y salida del modelo PTMTP para Material Particulado, SO₂ y NO₂ considerando las cuatro fuentes de las empresas en estudio y los diferentes puntos de recepción.

6.4.3 Análisis de los resultados obtenidos a través del modelo PTMTP:

Para la estabilidad 1, se obtiene mediante el modelo PTMTP que el aporte de las fuentes en estudio corrobora los resultados arrojados por el PTMAX. Nuevamente la zona que va del kilómetro 8 al kilómetro 9 sobre la vía a Mamonal (Esto es entre el CAA-ISS y Petroquímica) muestra una

concentración promedio de $46 \mu/m^3$ en total, valor que se constató con el muestreo en el campo (Hi-Vol). La influencia de las fuentes sobre las áreas de población civil es baja y las condiciones meteorológicas de la zona son excepcionales.

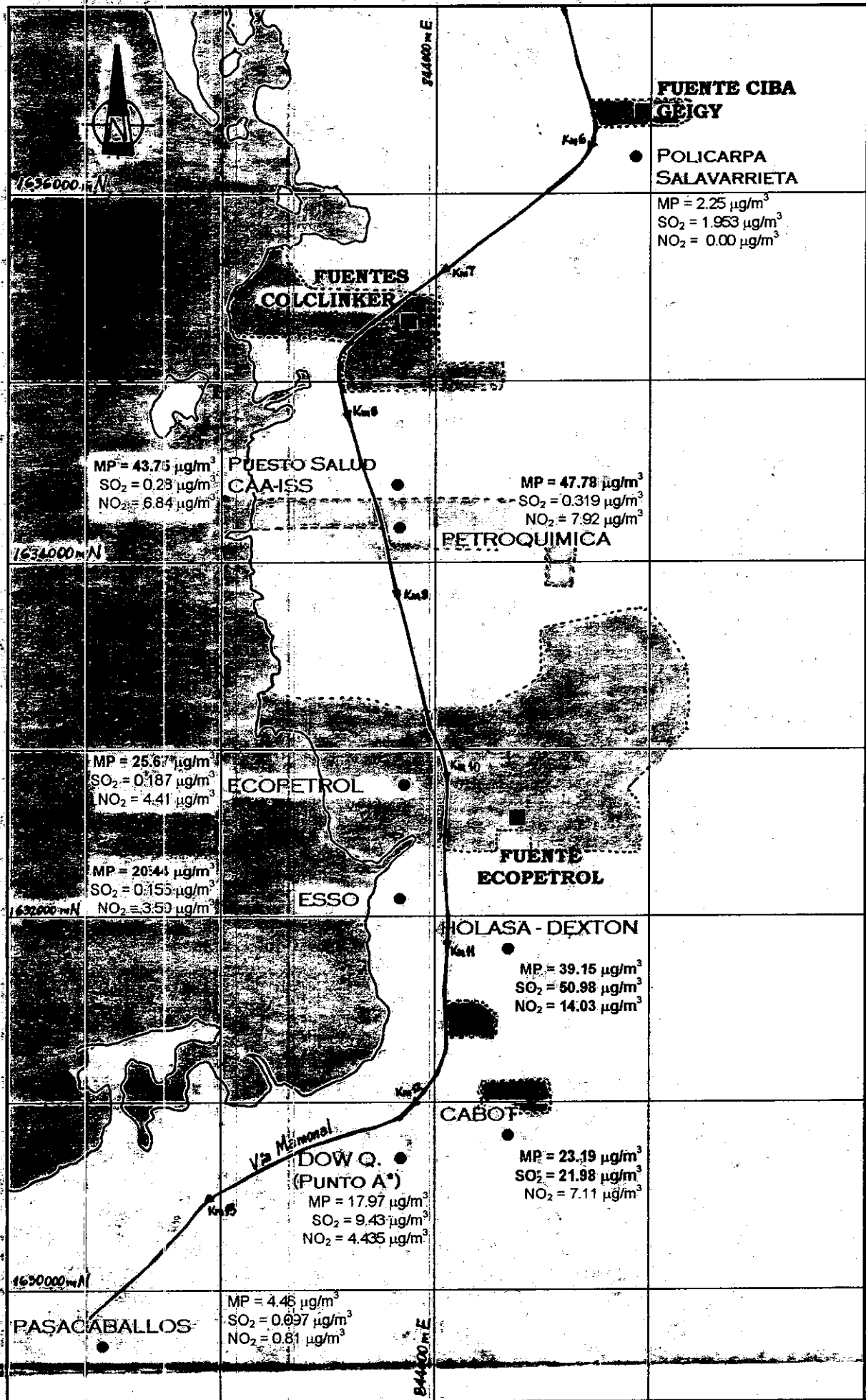
Para estabildades 2 y 3 se tiene un promedio de $20 \mu/m^3$ a lo largo de la zona entre el kilómetro 10 (Ecopetrol) y el kilómetro 12 (Cabot). También se observa que la influencia del sector Industrial de Mamonal sobre el municipio de Turbaco es prácticamente nula por lo que se puede descartar este punto para el muestreo de partículas. Se destaca como el promedio de las concentraciones en el Bajo de la Bonga se mantiene en $20 \mu/m^3$ para estabildades 1,2,3 y 5.

Para estabildad 4 la neutralidad de la atmósfera muestra la poca dispersión vertical de los contaminantes y los valores proyectados no son nada problemáticos.

Para la estabildad 6, en las horas de la noche la inversión atmosférica que tiene lugar permite que la dispersión vertical sea muy baja y se tenga un aire limpio de partículas a nivel del terreno.

En general haciendo un promedio de las concentraciones encontradas a lo largo de un día típico de la zona caracterizado por alta radiación solar, vientos

suaves con velocidad de 2 m/s aprox y cielo totalmente despejado, para las tres fuentes en estudio, se obtienen unos valores de concentración considerables en lo que respecta a partículas y se destaca el valor promediado para el Bajo de la Bonga ($14.96 \mu/m^3$). Es interesante apreciar que a partir del kilómetro 8 de la vía a Mamonal (Colclinker) y en dirección hacia el Sur hasta Dow Química se observa el mayor grado de influencia de estas fuentes destacandose los puntos de la unidad de salud CAA-ISS, Ecopetrol y Holasa-Dexton.



Convenciones:
 ■ Fuentes de emisión
 ● Sitios de recepción

Figura 25. Promedio de las concentraciones (MP, SO₂, NO₂) obtenidas a través del modelo *ptmtp* para fuentes múltiples (Estabilidad 1).

7. CONCLUSIONES

7.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las concentraciones de material particulado obtenidas en la modelación, los muestreo de campo y la norma (Decreto 02/82):

Tabla 24. Análisis comparativo de las concentraciones en los sitios de interés

Sitios de recepción	Resultados a través del modelo PTMAX	Resultados a través del modelo PTMTP	Resultados del muestreo (Calidad del aire)	Norma: Decreto 02/82	Observaciones
Policarpa Salavarr.	2.256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	44.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Ciba
CAA(ISS) Mamonal	42.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	103.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Ciba y Colclinker
Petroquímica	42.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Ciba y Colclinker
Ecopetrol	12.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Colclinker
Holasa - Dexton	32.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	39.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuentes: Colclinker y Ecopetrol
Cabot Colombiana	14.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	23.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Ecopetrol
Pasacabalices		4.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	41.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuente: Colclinker y Ecopetrol
Turbana		1.055E-9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	33.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fuentes: Colclinker y Ecopetrol

Con base en el cuadro anterior se desarrollan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- **Barrio Policarpa Salavarieta:** Con relación al barrio Policarpa como punto de recepción, se puede observar en la tabla comparativa que las concentraciones obtenidas a través de los modelos, son prácticamente iguales, considerando una estabilidad 1 representativa para la zona. Las diferencias existentes entre las proyecciones obtenidas a través de los modelos y las concentraciones del muestreo, radican en el "background" natural que posee el aire ambiente de esta zona. Entiéndase por background las concentraciones de material particulado generadas por la misma naturaleza. Es de esperarse que parte de la concentración de material particulado se debe específicamente por las emisiones de Ciba Geigy, por su localización y la influencia que trae consigo la dirección de vientos más frecuente en esta zona, que es la de vientos provenientes del Norte.
- **Puesto de Salud CAA (ISS)- Mamonal:** Este punto de recepción permite verificar claramente que la proyección obtenida a través del modelo, en cuanto a que éste debiera ser el punto de mayor concentración esperada fuera cierto. Lo anterior se demuestra a través del muestreo, el cual arrojó un resultado de $103.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo esta la mayor concentración obtenida, que inclusive supera la norma establecida por el Gobierno en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las diferencias claras, existentes entre las concentraciones

obtenidas por el modelo y las que se encontraron en el campo, podrían ser causa de emisiones fugitivas durante el proceso de transporte de materia prima y recolección del producto terminado de Colclinker. La planta está dotada de sistemas de control de emisiones de partículas sofisticados como los mencionados en la sección 4.7 con lo que se logran controlar las emisiones de partículas a través de las chimeneas de los hornos, pero después de fabricado el clinker, el transporte de este al sitio de almacenamiento y la fabricación de cemento, así como su respectivo almacenamiento y adiciones (yeso, hierro,...) se constituye en un complejo sistema de emisiones fugitivas que es importante tener en cuenta.

- **Petroquímica:** Con respecto a Petroquímica como punto receptor se puede observar que la proyección de la concentración de material particulado a través del modelo PTMAX y PTMTP son casi las mismas, corroborándose mutuamente su efectividad. El valor obtenido de la concentración en la modelación se observa que está significativamente por debajo de la norma, pero no deja de ser un valor importante. En el evento de posibles modificaciones en los procesos de producción que incrementen las emisiones de Colclinker, este punto podría pasar a experimentar un estado más crítico en la calidad del aire.
- **HOLASA - DEXTON:** Una vez más el muestreo permite corroborar la eficacia del modelo PTMTP que arrojó una concentración de material particulado con un margen de diferencia del 14% por debajo del valor realmente encontrado en el campo. Hasta este momento quizás la calidad

del aire no presente una condición crítica, si se observa el valor de la concentración obtenida por el muestreo, el cual es de $65.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no deja de ser prudente tener un mayor seguimiento a la calidad del aire y a las emisiones de contaminantes en esta zona.

- **Población Civil:** El corregimiento de Pasacaballos y el municipio de Turbana, de los cuales se piensa que podrían verse realmente afectados por las emisiones de algunas fábricas del complejo industrial, hasta este momento no atraviesa ningún problema en lo que respecta a material particulado; Lo anterior, si se observa las concentraciones obtenidas a través de los modelos y las encontradas en los muestreos. Las razones radican en que la localización de estos puntos receptores con respecto a las fuentes emisoras y la dirección de viento más frecuente que es la que define la dispersión (Vientos provenientes del Norte), que no apuntan a generar concentraciones elevadas en estos puntos considerados. También a esto se suman los accidentes topográficos adyacentes al municipio de Turbana quienes le sirven de barrera a la entrada de contaminantes a esta localidad. Las concentraciones halladas en Pasacaballos y Turbana son producto del "background" existente de la zona y del polvo que se genera por tráfico vehicular sobre las vías destapadas.

7.2 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES DE BIXIDO DE AZUFRE.

Tabla 25. Análisis comparativo de concentraciones para SO₂ y NO₂

Sitios de Recepción	Resultados PTMAX		Resultados PTMTP		Norma	Observaciones
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂		
Barrio Policarpa	1.955	0.00	1.953	0.00	100	Emisiones de Ciba
CAA (ISS) Mamonal	0.190	5.24	0.28	6.84	100	Emisiones Ciba y Colclinker
Petroquímica	0.190	5.24	0.319	7.92	100	Emisiones Ciba y Colclinker
Ecopetrol	0.03	0.04	0.187	4.41	100	Emisiones Colclinker
HOLASA - DEXTON	50.83	11.7	50.98	14.03	100	Emisiones Ecopetrol
Cabot Colombiana S.A.	28.6	6.38	21.98	7.11	100	Emisiones Ecopetrol
Pasacaballos			0.81	0.81	100	Emisiones Ecopetrol

Es de resaltar los valores proyectados en la modelación para HOLASA - DEXTON en lo que respecta a SO₂ y NO₂, por lo que se recomienda la ubicación de una estación de monitoreo para estos contaminantes en este sitio.

7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En términos generales se puede decir que hasta este momento el panorama en lo referente a la calidad del aire en la zona Industrial de Mamonal y las áreas de la población civil que se podrían ver directamente afectadas, se ha ignorado y no se le ha dado la importancia que merece.

- Se desarrolló la modelación para material particulado, SO_2 y NO_2 a través del modelo PTXXX para las emisiones de Ciba Geigy, Colclinker y Ecopetrol, información suministrada por dichas fábricas. En su gran mayoría las concentraciones obtenidas a través del modelo y las obtenidas a través del muestreo para material particulado estuvieron por debajo de las normas respectivas para concentraciones de poluentes en el aire ambiente.
- Se confía en la veracidad de la información suministrada por dichas fábricas de sus emisiones, las cuales son reportadas a Cardique y que éste, como ente regulador de la calidad del medio ambiente, hasta este momento no tiene forma como refutar la información periódica que recibe en lo que respecta a la calidad del aire y la información referente a las emisiones de todas y cada una de las fábricas de la zona industrial de Mamonal, que se presuman podrían estar contaminando.

- Las concentraciones proyectadas se obtuvieron a través del modelo PTMAX para una fuente puntual de emisión continua, y PTMTP para múltiples fuentes de emisiones continuas.
- Las concentraciones halladas a través del modelo PTMAX son relativamente bajas en comparación con la norma que establece $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los tres contaminantes en estudio. Por ejemplo, para el caso de Material Particulado (MP) las mayores concentraciones según las emisiones fueron 2.256 , 25.04 y $24.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Ciba, Ecopetrol y Colclinker. Para SO_2 se obtuvo 1.955 y $50.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las emisiones de Ciba y Ecopetrol (Ver Tablas 24 y 25). Para NO_2 la mayor concentración que se obtuvo fue de $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ debido a las emisiones de Ecopetrol.
- Las mediciones de campo realizadas para MP con el muestreador de alto volumen (Hi - Vol) en los sitios de recepción siempre arrojaron valores superiores a los proyectados en la modelación. Esto es lógico considerando el background del medio ambiente y de otras emisiones, pero en algunos casos es de importante preocupación los elevados valores encontrados, sobre todo para la zona comprendida entre el km 8 y km 9 en donde las concentraciones incluso sobrepasan la norma (Decreto 02/82) y como contraste la estación de medida es una unidad de salud (CAA - ISS Mamonal).

La posición geográfica y topográfica (Relativamente plana) de la zona Industrial de Mamonal le permite y facilita una rápida dispersión y dilución de

los contaminantes atmosféricos en el aire, favorecida por el microclima generado por su condición costera.

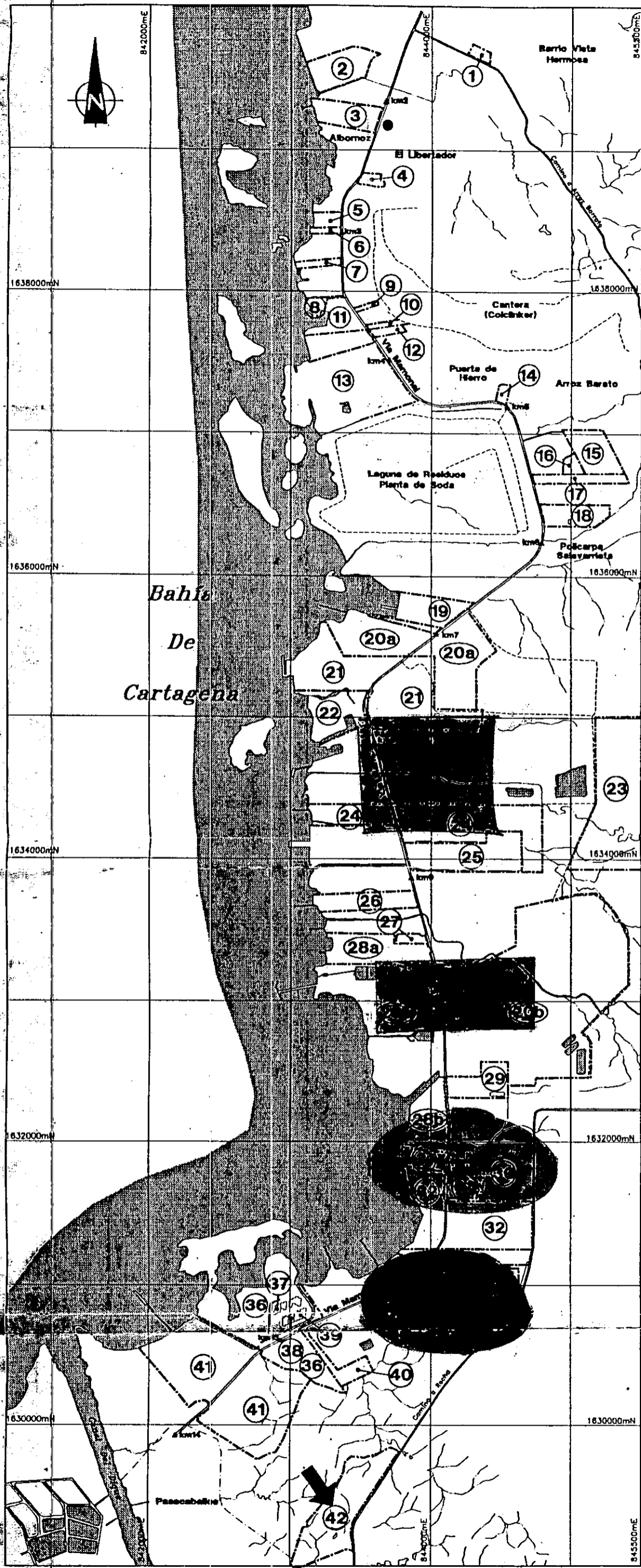
Es prudente y lógico esperar que las mayores concentraciones de poluentes se presenten a lo largo de la zona industrial de Mamonal, por la influencia de vientos provenientes del Norte, que representan aproximadamente un 70% de todos los datos sobre dirección de vientos y su frecuencia, registrados por el IDEAM. Lo inmediatamente anterior con base en 17 años de registro.

Si se comparan las emisiones estimadas teóricamente por el Ministerio de Salud en 1989 en la zona Industrial de Mamonal con la suma de las emisiones de las tres fuentes consideradas en este estudio, se observa, que en cuanto a MP, éstas representan el 70.42% del total de emisiones encontradas hasta ese momento (1989). (Ver tablas 17 y 18).

En cuanto a las recomendaciones se expone lo siguiente:

- Ubicación de una infraestructura básica para el control efectivo de la contaminación atmosférica en el complejo industrial de Mamonal. Esta debe estar conformada por una red local de monitoreo de la calidad del aire en distintos puntos de la zona, una estación meteorológica, equipos de isocinetismo para corroborar los datos de emisión presentados por las fábricas, personal apto y capacitado para ejercer las funciones del caso.

- Es muy conveniente realizar un análisis químico a las diferentes muestras de MP, que permitan poder identificar el origen o fuente del contaminante encontrado en dicha muestra.
- Se recomienda, pues la instalación de una unidad de monitoreo para controlar las emisiones de colclinker en el CAA – ISS de Mamonal y hacer una revisión a los sistemas de control de emisiones de partículas de la fábrica haciendo énfasis en las emisiones fugitivas.
- Se recomienda la escogencia de los siguientes sitios como puntos efectivos de control de la calidad del aire: El CAA (ISS) de Mamonal situado sobre el kilómetro 8 de la vía a Mamonal; Las inmediaciones de la Refinería de Ecopetrol (kilómetro 10); un punto sobre el kilómetro 11 de la vía, esto es por los predios de HOLASA - DEXTON; un punto sobre el kilómetro 12 entre Dow Química y Cabot Colombiana S.A. y por último una estación en el corregimiento de Pasacaballos ya que es una zona de población civil considerable y que por su localización cercana a las fuentes de emisión debe tenerse en cuenta en cualquier estudio de calidad del aire que se realice en la zona Industrial de Mamonal. (Ver figura 26).



● Oficina de la Fundación Mamonal

- 1. Indupollo
- 2. Contecar
- 3. Frigopesca
- 4. Matteucci
- 5. Polymer
- 6. Antillana
- 7. Océanos
- 8. Astivik
- 9. Tecnoají
- 10. Etec
- 11. Vikingos
- 12. Concretos Premezclados
- 13. Corelca
- 14. Metalización
- 15. Biofilm
- 16. Proelétrica
- 17. Promigas
- 18. Ciba Geigy
- 19. Atuncol
- 20a Ecopetrol (Terminal)
- Ecopetrol (Refinery)
- 21. Colclinker
- 22. Electribol
- Zona Franca La Candelaria
- Petroquímica
- 25. Propilco
- 26. Texas Petroleum
- 27. Van Leer
- 28a Esso (Terminal)
- 28b Esso (Lube Plant)
- 29. Amocar
- 30. Ambar
- Dexton
- 32. Abocol
- 33. Paad
- Cabot
- 35. Colterminales
- Zona Franca Industrial
- 37. Cartagena Shrimp
- 38. Comai
- 39. Polyban
- 40. Agrevo
- 41. Malterías
- 42. Ladrillera La Clay

8. BIBLIOGRAFIA

- SALAZAR Arias, Alvaro. Manual de Contaminación Atmosférica, AINSA-1985.
- Fundación Universitaria de Boyacá (Centro de Investigaciones para el desarrollo - CIPADE), Seminario taller Contaminación Atmosférica "Modelos de Dispersión de Contaminantes" - Santa Fé de Bogotá, 23,24,25 de Junio de 1993.
- TRIANA, Ernesto Sánchez. Licencias Ambientales. Departamento Nacional de Planeación - Ministerio del Medio Ambiente. TM Editores.
- HARRISON, Medicina Interna (La Prensa Médica Mexicana) - Tomo II pág.: 1636 - 1648 "Enfermedades pulmonares por contaminación ambiental".
- DECRETO No. 948/45, República de Colombia - Ministerio del Medio Ambiente.

- **DECRETO 02/82, República de Colombia - Ministerio del Medio Ambiente.**
- **LEY 99/93, República de Colombia.**
- **DECRETO 2308/86, República de Colombia. Ministerio de Salud**
- **BOFDA, Jaime y Durán, Cartagena Industrial. Editores inversiones Borda Caldas, S. en C. Cartagena 1991**
- **J.A. de Giorgio. Contaminación Atmosférica: Métodos de medidas y redes de Vigilancia. Madrid: Ed. Alhambra, 1977.**
- **BEDOYA, V. Julián. El hombre y su Ambiente. Anales de la Facultad Nacional de Minas No.60. Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín. 1985.**
- **STREETER, Víctor L, E. Benjamin Wylie. Mecánica de los Fluidos. Mc. Graw Hill (8va Edición).**

- DACOBET, María, González Grey Ghisel. Modelos para evaluar la contaminación atmosférica por gases y ruido producida por el tráfico vehicular. Proyecto de grado Universidad de Cartagena. 1995.
- GARCIA, Diana, Díaz Ernesto. Bases para el ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica que atraviesa la vía a Mamonal. Proyecto de grado Universidad de Cartagena 1996.

ANEXO A

VALORES MEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUNEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 ABO EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *

	ABO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
977	1	01				5.4	2.9						2.5		3.4	3.6
978	1	01			5.1									2.8		4.0
979	1	01								2.8	2.8	2.4	2.5	2.7	4.1	2.9
980	1	01	4.4	5.2	4.6	4.6	3.4	3.6	4.0	3.6	2.8	2.3	2.7	4.0	3.9	
981	1	01	5.9	5.4	4.4	4.8	2.5	2.0	2.5	2.0	2.1	2.3	3.1	2.7	3.3	
982	1	01	3.7	4.6	4.6	4.3	2.8	2.6	3.3	3.6	2.9	2.6	3.7	5.6	3.7	
983	1	01	5.7	5.5	5.8	5.5	4.4	3.1	4.0		3.1			3.7	4.5	
984	1	01	5.2	5.4	6.0	4.1	2.9	2.5	2.5	2.3	2.5	2.1	2.2	3.2	3.4	
985	1	01	3.5	3.2	3.9	3.4	1.9	1.6	1.6	1.6	1.1	1.4	1.5	2.0	2.2	
986	1	01	2.8	2.7	3.5	3.0	2.4	2.1	2.3	2.1	1.9	1.5	2.0	2.2	2.4	
987	1	01	3.0	3.3	3.4	2.8	2.0	2.0	2.2	2.2	1.8	1.7	2.2	2.3	2.4	
988	1	01	2.8	3.5	3.1	2.9	2.1	1.8	2.0	1.4	2.1	1.8	1.6	2.5	2.3	
989	1	01	2.5	3.1	3.6	3.3	2.2	1.9	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.9	2.3	
990	1	01	2.7	3.2	2.7	2.9	1.8	1.6	2.1		*	1.9	1.8	2.4	2.3	
991	1	01	2.3	3.4	3.1	2.7	2.1	2.0	2.4	2.3	2.1	1.8	2.1	2.6	2.4	
992	1	01	2.7	3.0	3.5	2.7	2.0	1.2	1.8	1.8	1.5	1.3	1.4	2.1	2.1	
993	1	01	2.1	3.5	3.0	2.3	1.1	1.1	1.7	1.6	1.2	1.1	1.5	1.7	1.8	
994	1	01	2.1	2.4	3.0	2.5	1.4	1.4	1.6	1.3	.9	.7	.6	1.9	1.7	
195	1	01	1.9	2.4	2.3	1.6	.6	.6	1.7	1.2	1.3	1.7	1.9	2.5	1.6	
196	1	01	3.6	4.4	3.8	4.2	2.4	2.2	2.4	2.3	1.9	1.9	2.4		2.9	
105			3.3	3.8	3.9	3.5	2.3	2.0	2.4	2.1	2.0	1.8	2.1	2.8	2.7	
1MOS			5.9	5.5	6.0	5.5	4.4	3.6	4.0	3.6	3.1	2.6	3.7	5.6	6.0	
1MOS			1.9	2.4	2.3	1.6	0.6	0.6	1.6	1.2	0.9	0.7	0.6	1.7	.6	

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUNEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 AÑO EST ENT EMERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVI * DICIE * VR ANUAL *

AÑO	EST	ENT	EMERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVI	DICIE	VR ANUAL
1941	1	01	28.0	28.7				29.9	29.1	29.1	28.6	28.9	28.9	27.8	28.8 3
1942	1	01	28.0				29.0	28.7			28.8	28.7	28.1	28.2	28.5 3
1943	1	01	27.6	27.2	28.0	28.5	28.9	28.9	29.5	29.6	29.1	28.3	28.8	28.0	28.5
1944	1	01	27.8	27.4	28.1		29.0	28.3	29.3	29.1	29.3	27.7	27.9	27.9	28.3 3
1945	1	01	27.1	27.1	27.5	28.2	28.5	29.2	28.7	28.5	28.9	28.0	28.5	27.7	28.2
1946	1	01	27.4	26.9	27.6	28.8	28.7	29.2	29.1	28.6	28.8		28.2	27.9	28.3 3
1947	1	01	26.9	27.5	27.8	27.8	28.9	29.3	28.8	29.1	28.8	28.4	28.8	27.5	28.3
1948	1	01	27.0	26.8	26.7	27.9	29.1	29.3	29.0	29.0	28.7	28.7	28.1	27.2	28.1
1949	1	01	25.9	25.8	26.9	28.3	28.7	28.7	28.7	28.6	28.5	27.8	28.2	27.2	27.8
1950	1	01	26.1	26.7	27.0	27.4	28.2	28.5	28.5	27.5	28.8	27.7	27.3	27.4	27.6
1951	4	08	26.6	26.9	26.6	28.8	28.9	29.1	28.6	28.8	29.0	28.5	28.5	28.9	28.3
1952	4	08	27.9	28.3	28.3	28.7	29.0	28.6	28.8	28.9	28.4	28.7	28.4	27.8	28.5
1953	4	08	27.8	27.2	26.9	28.2	28.6	28.8	28.8	29.3	28.5	28.5	28.4	28.4	28.3
1954	1	01	27.6	27.5	28.0	28.1	28.5	28.3	27.9	28.2	28.1	27.1	27.6	28.0	27.9
1955	1	01	27.7	27.8	27.1	27.6	28.2	27.7	27.7	27.7	27.6	26.6	27.5	28.0	27.6
1956	4	08	27.1	27.2	27.2	28.1	27.8	27.6	28.0	28.1	27.9	27.3	27.2	27.5	27.6
1957	2	01	26.7	26.5	27.1	27.8	28.1	28.8	28.6	28.7	28.6	28.0	28.8	27.7	28.0
1958	4	08	27.7		28.0	28.5	28.3	28.8	28.3	28.3	28.6	28.1	27.8	27.1	28.1 3
1959	2	01	26.6	25.6	26.7	27.4	27.7	27.6	27.8	27.6	28.0	27.4	27.4	27.7	27.3
1960	3	08	26.0	26.7	26.4	27.1	27.8	27.7	27.1	27.2	27.7	27.0	27.0	26.2	27.0
1961	1	01	26.7	26.0	26.6	27.4	27.9	27.9	27.6	27.9	27.6	27.3	26.7	27.2	27.2
1962	4	08	26.4	26.2	26.8	26.9	27.4	27.3	28.0	27.7	27.8	27.6	27.8	27.6	27.3
1963	4	08	26.8	26.7	27.0	27.7	27.8	28.2	28.3	28.2	28.1	28.0	27.6	27.7	27.7
1964	4	08	27.2	26.8	26.8	27.1	27.8	27.4	27.6	27.5	27.5	27.0	27.6	26.3	27.2
1965	4	08	26.0	26.5	26.6	26.8	27.7	28.2	28.2	28.0	28.1	27.9	27.4	27.4	27.4
1966	4	08	27.6	27.2	26.6	27.9	27.9	27.9	28.3	28.3	27.9	27.4	27.4	27.1	27.6
1967	4	08	26.5	26.4	26.3	27.0	27.5	27.6	27.7	28.0	27.8	27.6	27.7	27.1	27.3
1968	4	08	26.1	26.6	26.8	27.4	28.3	28.0	28.8	28.5	28.2	27.7	28.2	27.4	27.7
1969	2	01	27.3	27.0	28.3	28.3	29.3	29.0	29.1	28.0	28.1	27.5	27.5	27.8	28.1
1970	2	01	27.4	27.6	27.8	28.4	28.2	29.0	28.4	28.1	28.0	27.8	27.9	27.9	28.0
1971	1	01	27.1	27.3	27.7	27.8	27.7	28.3	27.6	27.4	27.0	27.5	27.6	26.3	27.4
1972	1	01	26.4	25.7	27.1	27.4	28.4	28.6	28.8	28.1	28.5	28.2	27.9	27.4	27.8
1973	1	01	27.2	26.9	27.9	28.1	28.3	28.0	28.3	27.9	27.9	27.7	27.0	26.5	27.6
1974	2	01	26.0	25.8	26.5	27.1	27.8	28.1	27.8	28.0	27.3	27.1	27.1	26.7	27.1
1975	2	01	26.0	25.9	26.7	26.7	27.9	28.2	27.4	27.6	27.3	27.1	27.1	26.2	27.0
1976	2	01	25.7	26.0	26.0	27.1	28.0	28.0	27.9	28.1	28.2	27.8	27.9	26.7	27.3
1977	2	01	26.6	26.8	26.8	27.3	28.0	28.3	28.0	28.2	28.3	28.2	28.2	27.7	27.7
1978	2	01	26.8	27.5	27.5	28.0	28.2	28.3	28.2	28.4	28.0	27.7 3	27.8 3	26.8	27.8 3
1979	2	01	26.5	27.0	27.3	27.6	28.3	28.3	28.5	28.3	29.1	27.6 3	27.8	27.5	27.7 3
1980	2	01	27.0	26.8	26.7	27.9	28.7	28.7	28.3	28.5	29.5	27.6 3	27.6	27.2 3	27.8 3
1981	2	01	27.1	27.0	27.9	27.8	28.2 3	28.2	28.6	27.9	28.2 3	27.7	28.0	27.6 3	27.9 3
1982	2	01	26.6 3	26.9	26.7 3	27.6	28.1	28.6	28.0	28.4 3	28.2 3	27.6	27.7	27.0	27.6 3
1983	2	01	27.2	27.0	28.1	28.1	28.8	29.1	28.7 3	28.6	28.4	27.8	28.0	27.3	28.1 3
1984	2	01	26.8	27.2	27.2 3	27.5	27.7	28.0	27.4	27.3	27.4	27.4	27.3	26.0	27.3 3
1985	2	01	25.4	26.2	26.2	26.7	27.9	28.2	28.0 3	27.6	27.8	27.7	27.3	26.3	27.1 3

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUÑEZ

LATTITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	GOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 AÑO EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVE * DICIE * VR ANUAL *

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVE	DICIE	VR ANUAL
1986	2	01	26.1	26.2	26.8	27.4	28.0	28.0	27.8	27.9	28.0	27.1	27.5	26.5	27.3
1987	2	01	26.7	27.2	27.3	28.0	28.0	29.1	28.3	28.6	28.2	27.8	28.1	27.6	27.9
1988	2	01	26.1	26.8	26.8	27.6	28.7 1	28.0	28.1	27.5	28.0	27.9 3	27.6	26.3	27.5 3
1989	2	01	25.8	25.8	26.8	27.1	27.6 3	27.7	28.1 3	28.3 3	27.8	27.9 3	27.8	26.5	27.3 3
1990	2	01	26.4	25.9	26.4	27.3	28.1 3	28.6 3	28.2	28.4	28.3	27.6	28.0	27.0	27.5 3
1991	2	01	26.3	26.5	27.2	27.5	28.0	28.7 3	28.1 3	28.5	28.3	27.9	27.7	26.4	27.6 3
1992	2	01	26.3	26.7	26.6	27.9 3	28.3	28.6	27.8	28.0	27.8	28.0	27.9	27.2	27.6 3
1993	2	01	27.0	27.1	27.4	28.0	28.4	28.7	28.2	28.4	27.6	28.4	27.7	27.4	27.9
1994	2	01	26.4	26.3	27.0 3	27.3 3	28.1	28.4	27.9	28.3	28.6 3	27.8	27.6	26.9	27.6 3
1995	1	01	27.1	26.9	27.5	28.0	28.4 3	28.9 3	*	28.0	28.8	27.9	28.1	27.5	27.9 3
1996	1	01	27.3	27.0	27.4	27.8	28.0	28.5	28.0	28.3	28.2	27.8	27.6 3		27.8 3
EDIOS			26.8	26.8	27.1	27.7	28.2	28.4	28.3	28.2	28.2	27.8	27.8	27.3	27.7
AXIMOS			28.0	28.7	28.3	28.8	29.3	29.9	29.5	29.3	29.1	28.9	28.9	28.9	29.9
INIMOS			25.4	25.6	26.0	26.7	27.4	27.3	27.1	27.2	27.0	26.6	26.7	26.0	25.4

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
HIDROMETEOROLOGICA

VALORES TOTALES MENSUALES DE BRILLO SOLAR (Horas)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUÑEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 AÑO EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL						
1976	2	01	308.9		284.4	192.8	216.4	204.4	250.0	3	232.6	195.0	184.8	234.0	280.3	2583.6	3				
1977	2	01	282.6	227.7	138.6	213.3			245.7		221.1	183.1	3	193.0	217.9		1973.0	3			
1979	2	01	299.0	3	248.4	243.2	199.4	223.9	204.4	3	221.9	3	224.3	167.4	157.5	192.7	253.7	2635.8	3		
1980	2	01	279.2		273.1	260.3	213.3	*	226.8	3	225.3	200.7	193.4	182.4	212.8	197.0	3	2464.3	3		
1981	2	01	271.6	3	234.4	225.7	207.8	176.5	172.0		245.5	189.1	187.4	171.1	201.6	220.7		2503.4	3		
1982	2	01	271.3		246.7	3	269.4	214.8	166.7	3	216.6	218.9	247.0	3	196.3	186.9	252.4	3	2763.2	3	
1983	2	01	273.2		218.2		194.3	215.3	221.9		195.4	211.6	233.9	200.4	187.8			223.5	2375.5	3	
1984	2	01	284.7		244.7		236.3	205.2	3	213.5	147.3	167.1	172.9	170.3	138.6	193.6	288.6		2462.8	3	
1985	2	01	288.9		271.4		266.2	273.0	213.9		197.3	198.9	196.0	177.0	187.6	229.8	267.3		2767.3		
1986	2	01	294.8		250.8		276.0	199.1	229.6		192.6	249.2	222.7	198.9	133.3	228.6	285.8		2761.4		
1987	2	01	282.6		234.3		231.1	182.9	175.1		248.0	187.3	210.5	166.4	147.5	207.1	258.9		2531.7		
1988	2	01	300.1	3	158.3	3	269.4	214.5	184.9		146.7	198.8		152.7					1625.4	3	
1989	2	01	276.9		259.3		270.4	248.8	197.4		196.2	209.6	197.2	140.5	196.6	164.7	3	229.7	3	2578.3	3
1990	2	01	279.8		263.5		239.1	235.3	212.3		184.4	193.1	222.7	187.9	186.8	174.8	259.6	3		2639.3	3
1991	2	01	268.8		235.4		285.9	186.6	166.1		158.2	213.8	190.6	188.1	169.3	181.7	209.1			2453.6	
1992	2	01	237.9		239.0		189.9	3	164.7		239.4	197.6	208.9	176.0	154.3	192.5	201.6		237.6	2439.4	3
1993	2	01	233.5		242.4		204.8	175.6	147.5		130.8	242.3	189.0	152.2	172.8	207.1	235.6	3		2333.6	3
1994	2	01	270.1		248.8		244.2	241.1	214.6		212.9	250.3	223.7	193.0	182.0	158.0	261.0			2699.7	
1995	1	01	278.1		235.4		261.6	210.9	176.5		172.9	3	181.0	211.5	198.2	162.2	196.4		217.6	2502.3	3
1996	1	01	281.2		255.3		225.4	222.2	166.7		197.2	202.7	185.8	3	134.1	196.8	191.5			2249.9	3
EDIOS			278.2		241.4		243.4	210.8	196.8		189.6	216.1	205.0	178.1	175.2	202.0	246.7			2583.3	
AXIMOS			308.9		273.1		285.9	273.0	239.4		248.0	250.3	247.0	200.4	196.8	252.4	288.6			308.9	
MINIMOS			233.5		158.3		188.6	164.7	147.5		130.8	167.1	152.7	134.1	133.3	158.0	197.0			130.8	

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
HIDROMETEOROLOGICA

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTD RAFAEL NUNEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 ABO EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *

ANO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1986	2	01	.0	7.4	.0	32.8	50.0	167.9	23.3	67.9	43.1	220.6	55.7	23.8	692.5
1987	2	01	3.1	.5	.0	72.2	274.2	36.2	77.8	105.1	242.5	413.4	88.9	36.9	1350.8
1988	2	01	.0	.0	.1	1.8	84.6	223.4	105.2	238.4	205.2	319.6	240.4	15.0	1433.7
1989	2	01	.0	.0	.3	.0	147.6	72.4	114.4	100.0	198.8	306.0	234.2	204.3	1378.0
1990	2	01	.0	.0	.0	14.7	120.2	32.0	67.9	22.5	88.1	271.3	74.2	114.7	805.6
1991	2	01	.0	.0	.0	4.4	80.5 3	48.1	32.6	21.2	94.1	85.7	38.3	.0	404.9 3
1992	2	01	.0	.0	.0	24.8	142.8	154.5	215.4	65.7	121.0	238.7	57.1	1.0	1021.0
1993	2	01	7.6	.0	.3	2.2	272.7 3	87.9	35.5	79.1	327.8	143.7	156.3	27.3	1140.4 3
1994	2	01	.0	.0	12.5	4.8	83.6	51.1	93.9	91.2	98.3	152.7	188.3	.5	776.9
1995	1	01	.0	.0	.0	75.5	199.5	70.9	366.9	428.0	46.5	276.9	130.9	20.5 3	1615.6 3
1996	1	01	.0	.0	5.2	24.5	161.8	137.2	213.1 3	70.5	96.5	234.6	224.4		1167.8 3
MEDIOS			4.6	0.9	1.4	23.1	89.4	97.0	90.1	108.0	123.1	200.0	117.8	33.6	889.0
MAXIMOS			108.0	30.0	28.0	110.8	274.2	283.1	366.9	428.0	327.8	472.6	365.5	205.0	472.6
MINIMOS			0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.0	0.0	0.9	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
EN 24 HORAS

SISTEMA DE INFORMACION
HIDROMETEOROLOGICA

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUÑEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

AÑO EST ENT EMER * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVI * DICIE * VR ANUAL *

1941	4 08	.0	.0			5.0	.0	2.0	.0	12.0	.0	60.0	60.0 3	
1942	2 01			5.0 3	8.0 3	35.0							35.0 3	
1943	1 01	.2	30.0	.6	5.0	5.0	5.0	1.9	1.6	1.4	3.9	4.0	1.5	30.0
1944	1 01	.0	.0	.0	3.0	34.0	83.5	2.8	25.0	3.8	89.0	36.0	.0	89.0
1945	1 01	.0	.0	.0		20.7	37.0	17.0	19.0	71.0	26.0	.9	60.0	71.0 3
1946	1 01			.5	52.0	25.0	9.0	17.0	6.0	60.0	60.0	5.0	10.0	60.0 3
1947	1 01			1.5	.1	20.0	44.5	38.0	30.0	50.0	35.5	60.1	60.1 3	
1948	1 01	.0	.0	.0	.0	19.0	13.0	107.0	20.6	17.5	31.7	84.0	.0	107.0
1949	1 01	.0	.0	.0	.4	43.9	50.6	36.6	21.8	53.5	41.2	30.7	2.0	53.5
1950	1 01	.0	.0	1.5	.1	14.1	25.2	14.5	39.0	33.0	85.0	47.1	10.8	85.0
1951	1 01	.1	.5	.0	1.0	45.0	27.0	37.0	93.0	30.0	46.0	20.0	33.0	93.0
1952	1 01	.0	.0	.0	13.0	31.0	21.0	11.0	22.0	40.0	28.0	41.0	12.5	41.0
1953	1 01		.1	.1	16.0	3.0	12.2	17.0	.3	25.1	22.0	17.0	51.0	51.0 3
1954	1 01	1.0	.1	.0	9.0	12.5	20.0	67.0	7.1	35.0	33.5	90.1	.1	90.1
1955	1 01		.0	.2	.0	71.0	40.0	55.0	60.5	110.1	95.0	89.0	.1	110.1 3
956	4 08	4.0	.5	5.1	7.0	95.0	26.0	51.0	20.0	60.0	60.0	30.1	10.1	95.0
957	2 01	.0	.0	.1	1.0	3.0	12.0	31.0	25.0	10.0	40.0	33.1	.1	40.0
958	4 08	1.0	.0	.0	.2	109.3	53.0	19.0	31.1	41.0	48.5	6.0	1.0	109.3
959	2 08	.0	.0	.1	24.0	33.0	28.0	21.0	68.0	28.0	29.0	15.0	4.0	68.0
960	2 01	1.0	.0	.1	34.2	21.0	64.0	63.8	39.0	60.0	43.5	87.0	109.0	109.0
961	4 08	.0	.0	.0 3	* 10.0	60.1	28.0	40.0	36.0	41.0	65.0	1.0	65.0 3	
962	4 08	.0	.0	.0	1.1	29.0	71.0	24.0	35.0	75.0	21.0	8.0	7.0	75.0
963	4 08	.0	3.0	.0	59.0	24.0	43.0	34.1	42.0	36.0	51.0	18.0	.0	59.0
964	4 08	.0	.0	.0	22.0	24.0	40.1	55.0	27.0	24.0	69.0	17.0	.0	69.0
965	4 08	1.0	.0	.0	.0	51.0	3.0	3.0	15.0	54.0	89.0	78.0	.0	89.0
966	4 08	.0	.0	.0	61.0	19.1	70.0	17.0	23.0	56.0	38.0	60.0	76.0	76.0
967	4 08	.0	.0	.0	18.0	3.3	45.0	18.0	28.0	41.0	41.0	67.0	8.0	67.0
968	4 08	.0	.0	.0	.0	20.0	18.0	22.0	89.0	36.0	80.0	55.0	10.0	89.0
969	2 01	.0	.0	.0	60.0	15.0	60.0	26.0	50.0	64.0	129.0	91.0	17.2	129.0
970	2 01	91.0	.0	4.0	10.0	29.6	44.0	55.0 3	51.0	72.0	43.2	31.1	157.0	157.0 3
971	1 01	69.6	.0	.0	.0	60.0	104.7	27.8	54.3		39.2	54.3	.0	104.7 3
972	2 01	.0	.0	.0	54.7	48.0	120.0	11.6	21.3	45.6	36.5	11.9	.3	120.0
973	2 01	.0	.0	.0	50.5	74.1	47.0	46.9	64.1	61.2	61.6	60.8	24.1	74.1
974	2 01	.0	.0	27.6	.1	15.3	11.5	29.4	35.0	64.0	126.4	31.2	9.2	126.4
975	2 01	.0	.0	1.0	.0	9.2	9.8	97.1	101.6	29.8	41.4	26.3	11.7	101.6
976	2 01	.0	.0	.0	17.8	26.0	30.4	3.8	34.1	44.6	54.4	22.7	.2	54.4
977	2 01	.0	.0	.0	2.2	34.6	7.8	9.5	60.5	45.8	41.4	44.6	.0	60.5
978	2 01	.0	.0	1.9	9.5	27.0	25.5	31.9	15.2	68.6	65.4	54.4	9.6	68.6
979	2 01	.0	.0	.0	92.3	108.3	51.1	33.6	26.8	30.5	120.7	54.5	75.4	120.7
980	2 01	.0	.0	.0	.3	123.8	51.1	135.9	15.8	18.1 3	63.0	49.5	2.2 3	135.9 3
981	2 01	15.9	2.4 3	3.5	18.1	39.1	14.7	72.1	36.8	124.4	71.5	10.8	24.6	124.4 3
982	2 01	24.0	.0	.0	7.0	38.0	60.0	23.6	98.0	92.6	34.6	80.0	.0	98.0
983	2 01	.0	.0	.0	25.6	9.8	16.3	15.1	6.1	63.4	30.0	30.9	17.2	63.4
984	2 01	.0	.9	.0	2.9	21.2 1	62.1	102.7	66.8	32.7	63.2	41.9	.0	102.7
985	2 01	.0	.0	.0	11.1	3.0	74.0	113.8	116.4 1	55.5	164.5	41.8	43.2	164.5

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
EN 24 HORAS

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL NUNEZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SP	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

AÑO EST		ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1986	2 01	.0	7.4	.0	27.6	14.9	64.9	16.3	14.0	12.4	60.1	55.2	19.3	64.9
1987	2 01	3.1	.5	.0	25.4	171.3	12.7	22.4	83.2	88.5	101.0	62.0	19.4	171.3
1988	2 01	.0	.0	.1	1.3	47.3	68.1	19.8	45.7	115.0	111.5	38.1	6.8	115.0
1989	2 01	.0	.0	.3	.0	89.0	33.5	51.8	41.9	64.6	201.8	40.2	65.4	201.8
1990	2 01	.0	.0	.0	14.7	77.6	10.6	15.6	18.1	44.3	77.8	19.9	74.6	77.8
1991	2 01	.0	.0	.0	3.1	27.8	17.2	16.2	11.0	32.5	18.7	26.9	.0	32.5
1992	2 01	.0	.0	.0	20.6	65.9	59.7	161.5	27.0	27.2	102.7	27.4	.9	161.5
1993	2 01	7.3	.0	.3	1.6	90.3	31.2	24.5	28.6	133.4	74.5	34.5	27.0	133.4
1994	2 01	.0	.0	12.5	4.6	25.1	21.8	45.7	54.8	28.5	35.9	47.5	.5	54.8
1995	2 01	.0	.0	.0	25.2	57.8	28.7	76.3	72.9	23.0				76.3
1996	1 01	.0	.0	4.2	23.2	37.2	93.1	99.4	15.6	47.1	84.8	71.2		99.4
MEDIOS		4.3	0.9	1.2	15.2	39.7	39.0	39.9	38.5	47.1	61.7	40.7	21.4	29.1
MAXIMOS		91.0	30.0	27.6	92.3	171.3	120.0	161.5	116.4	133.4	201.8	91.0	157.0	201.8
MINIMOS		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	0.0	0.3	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0

VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACION (mm)

FECHA DE PROCESO : 970131

ESTACION : 1401502 APTO RAFAEL RUIZ

LATITUD	1027 N	TIPO EST	SF	DEPTO	BOLIVAR	FECHA-INSTALACION	1941-MAR
LONGITUD	7531 W	ENTIDAD	01 IDEAN	MUNICIPIO	CARTAGENA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0002 m.s.n.m	REGIONAL	02 ATLANTICO	CORRIENTE	MAR CARIBE		

 AÑO EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1971	2	01													123.3	
1972	2	01	156.1	182.7	207.5	157.4	123.4	158.6	167.7	149.6	139.2	87.0	102.3	134.2	1765.7	
1973	2	01	143.4	161.4	187.7	208.4	153.0	112.6					99.9	154.0	1220.4	
1974	2	01	170.3	168.0	194.4	171.8	165.7	154.1	171.9	171.5	131.4	128.0	115.4	147.0	1879.5	
1975	2	01	170.8	162.5	136.4	187.2	171.1	170.6	162.7	165.0	137.7		111.2	114.9	1650.1	
1976	2	01	184.3	203.0	197.7	187.7	161.8	139.6	202.9	118.2	3	112.1	3	149.6	1806.7	
1977	2	01	176.6	132.7	143.2	3	169.4	131.2	115.0	3	149.1	121.7	3	130.6	1722.4	
1978	2	01	180.0	170.9	151.6	3	179.9	130.8	102.8	107.5	3		113.7		1137.2	
1979	2	01	142.6	108.1											250.7	
1980	2	01			*	144.9	3	165.2	3	*	104.2	3	122.1	3	152.0	
1981	1	01				*	147.6	3	134.1	3	172.6	3	166.4	3	136.5	
1982	2	01	119.5	3	197.2	3	222.0	3	203.3	3	161.4	3	96.1	3	164.7	
1983	2	01	186.4	3	169.8	3	181.3	3	186.5	3			183.4	3	139.1	
1984	2	01	185.8	176.3	3	211.5	3	170.8	3	195.9	3	153.0	151.7	3	147.5	
1985	2	01	154.2	3	162.9	3	200.3	200.8	147.8	3	156.8	3	165.9	148.5	3	151.7
1986	2	01	183.3	172.6	212.0	176.4	182.8	157.0	186.4	176.6	158.4	120.4	147.4	157.7	2031.0	
1987	2	01	300.2	228.7	275.4	261.2	273.9	269.5	258.3	281.9	297.6	305.1	276.7	299.6	3329.1	
1988	2	01	176.1	181.9	203.2	192.7	172.1	129.1	3	150.4	127.8	3	126.8	131.5	121.7	
1989	2	01	164.2	181.3	209.2	196.5	155.9	151.6	160.0	152.0	122.2	146.8	124.5	139.7	1902.9	
1990	2	01	172.1												172.1	
1991	2	01					149.5	150.6	192.6	172.8	151.4	134.4	128.4	159.7	1239.4	
1992	2	01	160.0	174.7	190.0	190.5	183.5	159.3	160.5	165.7	147.9	125.2	133.5	168.5	1959.3	
1993	2	01	156.3	186.4	199.1	179.3	146.6	147.2	190.7	147.8	124.6	144.5	132.5	131.5	1886.5	
1994	2	01	161.9	175.3	207.0	184.0	139.9	160.8	177.7	168.7	148.6	132.0	108.8	156.3	1921.0	
1995	1	01	171.6	177.7	3	218.0	190.9	155.5	116.6	3	140.2	3	147.5	3	1318.0	
1996	1	01		*		*										
DIOS			172.2	173.7	196.7	187.0	162.6	146.8	167.8	158.7	148.9	142.8	134.5	154.2	1945.9	
IXIMOS			300.2	228.7	275.4	261.2	273.9	269.5	258.3	281.9	297.6	305.1	276.7	299.6	305.1	
MINIMOS			119.5	198.1	136.4	144.9	123.4	96.1	104.2	118.2	122.2	87.0	99.9	114.9	87.0	

ANEXO B

11. COMPARACION CON NORMAS

El resumen de los cálculos y la comparación con las Normas se muestra en la Tabla 9.

TABLA 9

RESUMEN CALCULOS DE EMISION Y COMPARACION CON NORMAS
 CIBA GEIGY COLOMBIANA S.A. - PLANTA CARTAGENA
 CARTAGENA (BOLIVAR), DICIEMBRE 13 DE 1996

PARAMETRO	UNIDADES	INCINERADOR
Humedad	%	13,73
Caudal de gases en condiciones de chimenea (Qs)	pies ³ /min	8.685,98
Caudal de gases en condiciones de chimenea (Qs)	m ³ /hr	14.759,22 ✓
Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Qsts)	pies ³ /min	3.152,43
Caudal de gases secos en condiciones de referencia (Qcrd)	pies ³ /min	2.765,83 ✓
Caudal de gases secos en condiciones de referencia (Qcrd)	m ³ /hr	4.699,70 ✓
Emisión total de partículas en condiciones de Chimenea (ETP)s	Kg/hr	0,45 ✓
Concentración partículas en condiciones de referencia y base seca (Ccrd)	gramos/m ³	0,165
B (Norma de concentración de partículas) en condiciones de referencia y base seca	gramos/m ³	5,0
Calor total Consumido	kcal/hr	486.046,2
Concentración en base seca de SO ₂ (CSO ₂) _d	ppm	31,50
Concentración en base seca de SO ₂ (CSO ₂) _d	mg/m ³	30,41
Concentración en base húmeda de SO ₂ (CSO ₂) _h	mg/m ³	26,23
Emisión de SO ₂ en condiciones de chimenea (ESO ₂) _h	kg/hr	0,39 ✓
Concentración SO ₂ base seca y condiciones referencia (CSO ₂) _{crd}	mg/m ³	82,45
Emisión de SO ₂ base seca y condiciones de referencia (ESO ₂) _{crd}	kg/hr	0,39
Concentración en base seca de NO ₂ (CNO ₂) _d	ppm	55,80
Concentración en base seca de NO ₂ (CNO ₂) _d	mg/m ³	38,72
Concentración en base húmeda de NO ₂ (CNO ₂) _h	mg/m ³	33,40
Emisión de NO ₂ en base húmeda (ENO ₂) _h	kg/hr	0,49
Concentración base seca NO ₂ y condiciones referencia (CNO ₂) _{crd}	mg/m ³	104,98
Emisión de NO ₂ base seca y condiciones de referencia (ENO ₂) _{crd}	kg/hr	0,49
Temperatura de los gases de salida	° C	535,2 ✓
Diámetro interno ducto	Metros	0,64 ✓
Altura de descarga del ducto	Metros	15,0 ✓
Altura requerida	Metros	15,0
Cumple altura mínima requerida		SI
Cumple Norma Emisión partículas		SI
Cumple Norma Emisión de SO ₂ en términos de altura mínima		SI



REFINERIA DE CARTAGENA

ANEXO

ESTUDIO DE CALIDAD DE AIRE EN LA REFINERIA DE
CARTAGENA

RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCION

La Refinería de Cartagena realizó en el mes de julio un estudio de calidad de aire para establecer el efecto de su operación en el medio.

Con la asesoría de la Universidad Pontificia Bolivariana, entidad que realizó en esta instalación evaluaciones similares en 1994 y 1995, se adelantó la medición isocinética de los gases de chimenea de tres (3) equipos de combustión (una caldera y dos hornos), así como los del incinerador de la planta de azufre para la determinación de las emisiones de SO_2 , NO_2 y material particulado.

Asimismo, se efectuó la medición de la calidad del aire referida a NO_2 y material particulado en los mismos cuatro (4) puntos seleccionados en los estudios anteriores (edificio administrativo, pozas agua cruda, Amocar y Abocol) de tal manera que paulatinamente se está conformando una base de datos sólida que permita analizar situaciones y tomar decisiones en el futuro.

La información generada en las mediciones directas, junto con otra inferida con factores de emisión, como la correspondiente a las emisiones del regenerador de la unidad de ruptura catalítica, se alimentó con los datos meteorológicos al modelo de simulación Industrial Source Complex 3 ISC3 versión 1996 (aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) para determinar la ubicación de los puntos en los cuales se estiman las máximas concentraciones de cada uno de los compuestos de interés y la contribución de cada fuente fija para cada receptor.

RESULTADOS

1. Emisión de contaminantes

La siguiente tabla presenta la emisión (Kg/hr) de los contaminantes directamente determinada en cada una de las chimeneas a través de la medición isocinética de los gases:

Chimenea / Parámetro	SO ₂	NO ₂	Material Particulado
Incinerador Planta de Azufre	71.26	0.17	
Caldera	4.0	10.86	6.31
Horno Planta de Crudo (*)		9.87	
Horno Planta Viscosreductora		3.57	3.63

(*) Descarga común de dos (2) hornos

La ubicación de las fuentes emisoras se presenta en la figura 4.1.

2. Calidad de aire

El resultado de las mediciones de calidad de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en cada uno de los puntos preestablecidos para los contaminantes de interés se presenta en la siguiente tabla:

Nº Punto	Estación / Parámetro	NO ₂	Material Particulado
1	Terraza edificio administrativo	17	65
2	Pozas agua cruda (sistema cloración)	7	72
3	Amocar	14	48
4	Abocol	21	83

La ubicación de las fuentes receptoras se presenta en la figura 4.2.

3. Condiciones meteorológicas

Los datos meteorológicos de velocidad y dirección del viento empleados en la simulación, han sido tomados de las estaciones localizadas en la zona (Aeropuerto Rafael Nuñez y estación portátil de la Universidad Pontificia Bolivariana): el 39.4% de los casos reportó una velocidad del viento comprendida entre 0.1 y 1.5 m/s con una dirección resultante de 256° con factor de persistencia del 13.2%. Ver figura Rosa de los Vientos.

4. Simulación de la dispersión

La simulación realizada empleando el modelo de dispersión ISC3 (Industrial Source Complex 3) reproduce con cierto grado de precisión los valores medidos en campo.

La siguiente tabla presenta los resultados de la simulación en el escenario confirmado por el estado actual de la Refinería, con el aporte de emisiones por las fuentes fijas existentes en el interior de la misma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

Nº Punto	Estación / Parámetro	SO ₂	NO ₂	Material Particulado
1	Terraza edificio administrativo	1	1	6
2	Pozas agua cruda (sistema cloración)	17	8	10
3	Amocar	1	1	6
4	Abocol	12	6	9

Estos resultados se presentan de manera gráfica en las figuras 4.10 A, 4.11 A y 4.12 para material particulado, óxido de nitrógeno y óxido de azufre, respectivamente.

Adicionalmente, el ejercicio de simulación se realizó para un nuevo escenario confirmado por la unión de las fuentes fijas del interior de la Refinería con otras difusas de carácter externo, como lo son las vías aledañas y el flujo vehicular que reflejan su efecto en la calidad de aire respecto a material particulado y óxidos de nitrógeno principalmente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

Nº Punto	Estación / Parámetro	NO ₂	Material Particulado
1	Terraza edificio administrativo	12	58
2	Pozas agua cruda (tanques cloración)	17	28
3	Amocar	7	22
4	Abocol	12	65

Los resultados se presentan de forma gráfica en las figuras 4.10 B y 4.11 B para material particulado y óxidos de nitrógeno, respectivamente.

De otro lado, la simulación permitió determinar el punto (en un área de 2.0 km. a la redonda) en el cual para cada uno de los escenarios simulados se encuentra la mayor concentración de los parámetros objeto de estudio:

Contaminante	Fuentes Fijas		Todas las Fuentes	
	Concentración (µg/m³)	Localización (x,y)	Concentración (µg/m³)	Localización (x,y)
SO ₂	31	(0,-1000)		
NO ₂	17	(200,-1000)	73	(1200,0)
Material Particulado	17	(0,-1000)	224	(200,-1400)

CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de la información debe considerar que la legislación nacional vigente sobre la contaminación del aire (Decreto 02 de 1982), no regula emisiones para procesos específicos de la industria de la refinación del petróleo, como lo son por ejemplo las Plantas Recuperadoras de Azufre y las Unidades de Ruptura Catalítica, y más aún, no reglamenta las emisiones de equipos de combustión típicos como calderas y hornos cuando queman combustible gaseoso.

Asimismo, a la luz del mencionado Decreto respecto al control de material particulado, las fuentes fijas de la Refinería clasifican dentro de la categoría de "otras industrias", en cuyo caso teniendo en cuenta los parámetros de evaluación (volumen de producto terminado) siempre estarán cumpliendo la reglamentación.

En consecuencia, las mediciones se comparan con estándares internacionales específicos para cada uno de los procesos de interés: la cuarta edición del Volumen I del "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" AP-42 de 1986 de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA) establece lo siguiente:

- Para equipos de combustión (particularmente en calderas de vapor) el "Code of Federal Regulations". Part 60, subpart j, define los siguientes factores de emisión en lb/10⁶ Btu:

Combustible / Contaminante	SO ₂	NO ₂	Material Particulado
Líquido	0.8	0.3	
Sólido	1.2	0.6	
Gaseoso		0.2	0.1

- Para Plantas Recuperadoras de Azufre del tipo Clauss Modificado, el porcentaje típico de recuperación es del 99%, situación en la cual el factor de emisión es de 20.2 Kg. de SO₂ por Ton de azufre producido. Asimismo, para las Unidades de Ruptura Catalítica, la legislación americana estipula los siguientes factores de emisión:

Proceso / Contaminante	SO ₂	NO ₂	Mat. Particulado
Incinerador Planta de Azufre	20.2 (Kg/ton)	0.06	
Ruptura Catalítica			1.0 (lb/1000 lb coque)

En el País, el Complejo Industrial de Barrancabermeja (CIB) ha realizado mediciones en una Unidad de Ruptura Catalítica semejante a la existente en la Refinería de Cartagena, obteniéndose los siguientes factores de emisión (kg/bbl):

Proceso / Contaminante	SO ₂	NO ₂	Mat. Particulado
Ruptura Catalítica (Modelo IV)	0.0788	0.01815	0.0388

CONCLUSIONES

1. Factores de emisión

Con base en las mediciones directas de emisiones a través de las chimeneas seleccionadas, se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

Proceso / Parámetro	SO ₂ (lb/10 ⁶ Btu)	NO ₂ (lb/10 ⁶ Btu)	Mat. Particulado (lb/10 ⁶ Btu)
Calderas	0.07	0.19	0.11
Hornos Planta de Crudo		0.18	
Horno Planta Viscosreductora		0.12	0.12
Incinerador Planta de Azufre	86.37 (Kg/Ton)	0.21 (Kg/Ton)	

2. Emisiones de contaminantes

Las emisiones de contaminantes de las fuentes no medidas directamente se calcularon a partir de los factores de emisión determinados en el punto anterior (Kg/hr):

Equipo / Parámetro	SO ₂	NO ₂	Material Particulado
Caldera SP-SG-101	4.04	10.96	6.37
Caldera SP-SG-102 (directa)	4.00	10.86	6.31
Caldera SP-SG-103	4.00	10.86	6.31
Caldera SP-SG-104	3.92	10.05	5.83
Caldera SP-SG-105	3.40	9.10	5.28
Subtotal (Planta eléctrica)	19.36	51.83	30.10
Horno PS-F-1 (directa)	2.71	6.98	4.62
Horno PS-F-301	4.95	12.92	8.57
Horno PS-F-401 (directa)	1.10	2.85	1.89
Horno PS-F-402	1.26	3.26	2.16
Subtotal (Planta de Crudo)	10.09	26.01	17.24
Horno VB-F-1 (directa)	2.20	3.62	3.63
Subtotal (Planta viscorreductora)	2.20	3.62	3.63
Incinerador Planta de Azufre (directa)	71.26	0.17	N.M.
Subtotal (Planta de Azufre)	71.26	0.17	N.M.
Regenerador Ruptura Catalítica	89.63	20.64	44.13
Subtotal (Ruptura catalítica)	89.63	20.64	44.13
TOTAL (Kg/hr)	192.54	102.27	95.13

NOTAS

N.M. No medido

3. Emisiones de SO₂

La emisión de SO₂ a través de la chimenea del incinerador de la Planta de Azufre basado en el hecho que la producción de la unidad el día del muestreo fue de 19.8 ton/día, debería ser de 16.7 Kg/hr, teniendo en cuenta el estándar EPA que define una eficiencia de recuperación de azufre del 99%.

La diferencia con la medición directa (71.3 vs. 16.7 KG/HR) se explica porque la eficiencia de recuperación en este tipo de unidades depende ampliamente del volumen de gas agrio cargado: nuestra planta fue diseñada para recuperar hasta 35 toneladas al día de azufre (de tal manera que fuera capaz de absorber futuras ampliaciones de la refinería) y en la actualidad produce sólo 20 toneladas al día.

ANEXO C

COLCLINKER

CALIBRACION DEL HI-VOL

FECHA ABRIL 25 DE 1997

NUMERO DEL MUESTREADOR : DASA

PRESION BAROMETRICA : 760 mm Hg

TEMPERATURA AMBIENTE : 32 Grados C

TIPO DE MEDIDOR : MANOMETRO

TIPO DE CALIBRADOR : ORIFICIO

MODELO : VRC

SERIE : 46J

$$J = (P1 / 760) (298 / T1)$$

DATOS DEL CALIBRADOR		DE LA CURVA DE CALIBRACION	DATOS DEL MEDIDOR			
ΔH	$(Jx \Delta H)^{(1/2)}$	Qst	Q	Y	Ycal	%D
6,4	2,435	1,920	6,900	2,596	2,764	-6,049
6,0	2,223	1,600	6,550	2,530	2,368	6,820
5,0	1,988	1,460	5,300	2,276	2,195	3,660
4,0	1,722	1,310	4,400	2,073	2,010	3,159
3,0	1,406	1,130	3,100	1,740	1,788	-2,638
2,0	0,994	0,930	2,150	1,449	1,540	-5,910

A = 1,2356

B = 0,3913

R = 0,9623

$$Qst = 0,809 * (Y - 0,391)$$

DE ACUERDO CON EL NUMERAL 1.1 DEL ARTICULO No. 1 DEL DECRETO 2308 DEL 24 DE FEBRE-
RO DE 1986 QUE DICE :

EL AIRE AMBIENTE ES SUCCIONADO AL INTERIOR DEL HI - VOL PASANDO POR EL FILTRO A UNA
TASA ENTRE 1,13 Y 1,7 M³/min (40 Y 60) CFM

PARA ESO EL HI - VOL HAY QUE AJUSTARLO PARA QUE EL FLUJO SEA DE 1,4 M³/min

PARA CUMPLIR CON ESTE FLUJO, EL MANOMETRO DEL HI - VOL DEBE INDICAR :

P = 2,1 PLG DE AGUA

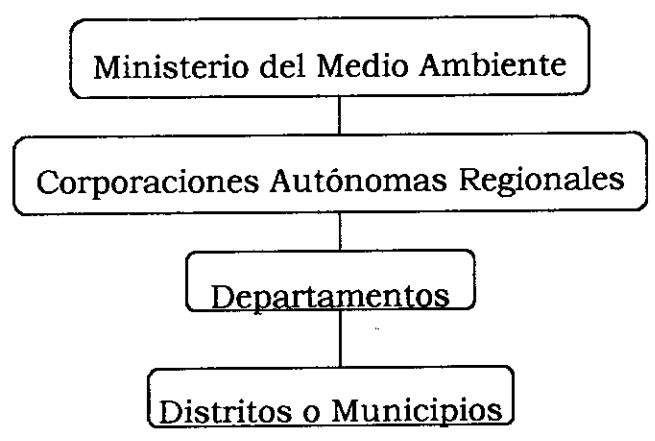
ANEXO D

LEY 99 DE 1993

En la República de Colombia a través de la Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993, se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del Medio Ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Sistema Nacional Ambiental (SINA): Es el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la Ley 99/93.

Jerarquía del SINA:



Apoyo Científico y Técnico del Ministerio del Medio Ambiente: El Título V de la Ley 99/93 habla "del apoyo científico y técnico del Ministerio". Las entidades científicas adscritas y vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente entre otras, se mencionan:

- El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (**IDEAM**).
- El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis" (**INVEMAR**).

El IDEAM es el encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnicas sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio.

El IDEAM debe obtener, analizar estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre los aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y el aprovechamiento de los recursos biofísicos de la nación y tendrá a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios y asesoramiento a la comunidad.

Mediante la Ley 99/93 se trasladan algunas funciones que desempeñaban entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (**IGAC**); las funciones en materia de hidrología y meteorología tenía asignadas el

Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras **(HIMAT)** el cual se denomina actualmente Instituto Nacional de Adecuación de Tierras **(INAT)**; las funciones que sobre recursos naturales efectuaba el **INDERENA**.

Corporaciones Autónomas Regionales: El título VI de la Ley 99/93 en su artículo 30 dice:

"Todas las corporaciones autónomas regionales tendrán por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente".

En el Artículo 31 se establecen las funciones que las Corporaciones Autónomas Regionales ejercen, de las cuales se pueden destacar:

- Ejercer la función de *máxima autoridad ambiental* en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente.
- Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprenderá el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos, a las aguas en

cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como a los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. Estas funciones comprenden la expedición de las respectivas licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos.

En el artículo 33 del mismo título, se establece la creación y transformación de las Corporaciones Autónomas Regionales como entes administrativos del medio ambiente y los recursos naturales renovables:

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE): La Ley establece que tendrá su sede en el distrito de Cartagena de Indias y su jurisdicción comprenderá el distrito de Cartagena de Indias y los municipios de Turbaco, Turbana, Arjona, Mahates, San Estanislao de Koztka, Villanueva, Santa Rosa, Santa Catalina, Soplaviento, Calamar, Guamo, Carmen de Bolívar, San Juan , San Jacinto, Zambrano, Córdoba, María labaja en el departamento de Bolívar.

Las Corporaciones Autónomas Regionales son entes corporativos de carácter público, creados por la Ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera,

patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la Ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente.

ANEXO E

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° 04 Partículas en suspensión (Gravimetría).
País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
Localización CORREGIMIENTO DE PASAPALLAS
Fecha 28-29 de Abril / 97
N° del filtro 01

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	3,5137	3,7230
Presión pulg de H ₂ O	4,55	4,90
Temperatura °C	34,5	35
Hora	00000,92	00024,84

Observaciones de campo : Días altamente soleados y casi totalmente despejados, vientos relativamente suaves (2-3 m/s) y dirección Noroeste NO (de donde vienen).

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 209300
Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4,725
Temperatura real de muestreo (°K) : 307,9
Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2,1373

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$

$Q_{ST} = 1.4128 \text{ m}^3/\text{min}$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3,506 m³/min

Periodo de muestreo : 1435,2 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 5031,81 m³

Concentración :

$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = 41,59 \mu\text{gr}/\text{m}^3$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones : Cabe destacar que el equipo de muestreo está colocado en una parte alta y libre de la influencia del polvo de las vías. Específicamente el Hi-Vol está en un colegio situado en una loma. El decreto 02/82 establece una concentración máx. = 100 µg/m³

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
Localización _____
Fecha _____
N° del filtro _____

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)		
Presión pulg de H ₂ O		
Temperatura °C		
Hora		

Observaciones de campo : _____

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : _____
Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : _____
Temperatura real de muestreo (°K) : _____
Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = _____

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$

$Q_{ST} = \text{_____} \text{ m}^3/\text{min}$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI _____ NO _____

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : _____ m³/min

Periodo de muestreo : _____ min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : _____ m³

Concentración :

$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \text{_____} \mu\text{gr}/\text{m}^3$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI _____ NO _____

Observaciones : _____

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° 02 Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Corregimiento de Pasacaballos
 Fecha 30 Abril - 1º de Mayo/99
 N° del filtro 02

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	3.5667	3.7810
Presión pulg de H ₂ O	4.30	5.1
Temperatura °C	33°C	34.4°C
Hora	00049.29	00073.48

Observaciones de campo: Cielo totalmente despejado en el día, altas temp y vientos suaves provenientes del Norte.

Cálculos:

Peso del material recolectado (μgr): 214300
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O): 4.7
 Temperatura real de muestreo (°K): 306.85
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.136

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar:

$$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1.412} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86)? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales: 3.486 m³/min

Periodo de muestreo: 145.4 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo: 5059.58 m³

Concentración:

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el período de muestreo}) = \underline{42.35} \mu\text{gr}/\text{m}^3$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82)? SI NO

Observaciones: Las características en este punto son muy similares siempre. El color de la muestra es parecido al del terreno.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Municipio de Tárzana
 Fecha 8-9 de Mayo
 N° del filtro 04

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	3.5518	3.7650
Presión pulg de H ₂ O	4.5	4.5
Temperatura °C	35	35
Hora	0007.348	00094.68

Observaciones de campo : Vientos suaves, baja nubosidad

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 213200
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4.5
 Temperatura real de muestreo (°K) : 308.15
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.086

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1.371} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3.324 m³/min
 Periodo de muestreo : 1272 min
 Volumen de aire en el periodo de muestreo : 4228,128 m³

Concentración :

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{50.42} \mu\text{gr}/\text{m}^3.$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones : Se observa que se presentó falla en el fluido eléctrico durante el muestreo al registrarse solo 21.2h en el horómetro del equipo. Se observa una alta temp. ambiental.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Municipio de Turbana.
 Fecha 12-13 de Mayo/97
 N° del filtro 05

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	<u>3.5648</u>	<u>3.6709</u>
Presión pulg de H ₂ O	<u>4.5</u>	<u>4.5</u>
Temperatura °C	<u>33</u>	<u>33</u>
Hora	<u>00094.67</u>	<u>00118.90</u>

Observaciones de campo : _____

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 106100
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4.5
 Temperatura real de muestreo (°K) : 306.15
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.1

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$

$Q_{ST} = \underline{1.38} \text{ m}^3/\text{min}$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO _____

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3324 m³/min

Periodo de muestreo : 1452.6 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 4828.44 m³

Concentración :

$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{21.97} \mu\text{gr}/\text{m}^3$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO _____

Observaciones : El día del muestreo corresponde a un festivo. Se observa que la concentración de partículas registrada es casi del 50% de la obtenida tres días antes.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Instalaciones Ciba Geigy (Mamonal Km6)
 Fecha 16-17 de Mayo/97
 N° del filtro 03

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	3.5527	3.8104
Presión pulg de H ₂ O	5.6	6.17
Temperatura °C	33.7	34
Hora	00118,99	00142,73

Observaciones de campo : Al colocar y retirar el filtro el cielo se encontraba totalmente despejado, vientos en calma provenientes del Norte. Se tomó la temperatura sobre el terreno → 39.8°C. El suelo está cubierto de capa vegetal en el punto de muestreo.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 257700
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 5.885
 Temperatura real de muestreo (°K) : 307
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.39

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1.617} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 4.445 m³/min

Periodo de muestreo : 1452.6 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 6456.81 m³

Concentración :

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{39.91} \mu\text{gr}/\text{m}^3$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones : Las fluctuaciones de corriente eléctrica se ven reflejadas en las lecturas del manómetro (5.885" de H₂O en promedio) lo cual crea un incremento del voltaje y en consecuencia un mayor flujo. Es por esto que la muestra contiene mayor cantidad de MP (257700 µg/gr) - Es importante destacar la diferencia del color de la muestra → bastante oscura.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Instalaciones Ciba Geigy (Mamonal Km6)
 Fecha 19-20 de Mayo/97
 N° del filtro 07

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	3.5514	3.8000
Presión pulg de H ₂ O	4.5	4.8
Temperatura °C	37	37
Hora	00142.74	00167.04

Observaciones de campo : Cielo completamente despejado con vientos suaves provenientes del Norte - Noroeste. La hora de colocación y retiro del filtro está entre 10 - 10:30 am.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 248600
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4.65
 Temperatura real de muestreo (°K) : 308.65
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.12

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$

$Q_{ST} = \underline{1.399} \text{ m}^3/\text{min}$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3.44 m³/min
 Periodo de muestreo : 1458 min
 Volumen de aire en el periodo de muestreo : 5015.52 m³

Concentración :

$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{49.57} \mu\text{gr}/\text{m}^3$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones :

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización GAA (I.S.S) Mamonal Km 8.
 Fecha 28-29 de Mayo / 97
 N° del filtro 08

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	2,7154	3,1630
Presión pulg de H ₂ O	4.55	4.40
Temperatura °C	32°C	32°C
Hora	00167,04	00191,08

Observaciones de campo : Cielo altamente nuboso en el momento de colocar la muestra (9:09 am) condición que cambia rápidamente ya que a las 9:40 am el cielo se torna prácticamente despejado — vientos suaves.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 447600
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4.475
 Temperatura real de muestreo (°K) : 305,15
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 209

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1.374} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3304 m³/min

Periodo de muestreo : 1442,4 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 4765,69 m³

Concentración :

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{93,92} \mu\text{gr}/\text{m}^3$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones : El aspecto de la muestra obtenida es color gris. La concentración de partículas es elevada, se puede constatar visualmente observando la capa de polvo sobre las edificaciones. En este caso sobre la azotea de la edif. donde está colocado el equipo.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
Localización CH. Weiss Mamonal km 8
Fecha 29-30 de Mayo/99
N° del filtro 07

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	<u>2,7290</u>	<u>3,2535</u>
Presión pulg de H ₂ O	<u>4,4</u>	<u>4,35</u>
Temperatura °C	<u>32</u>	<u>30</u>
Hora	<u>00:19,08</u>	<u>00:25,10</u>

Observaciones de campo : Cielo despejado vientos suaves provenientes del Noroeste en el momento de colocación del papel filtro.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 526500
Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4,375
Temperatura real de muestreo (°K) : 304,15
Presión llevada a condiciones estándar (*de H₂O) Y = 2,07

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$Q_{ST} = 0,809 (Y - 0,391)$

$Q_{ST} = 1,358 m^3/min$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3,223 m³/min

Periodo de muestreo : 144,2 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 464,99 m³

Concentración :

$C = (Peso\ material\ recolectado\ \mu gr) / (Vol.\ de\ aire\ en\ el\ periodo\ de\ muestreo) = 113,35 \mu gr/m^3$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones : El valor de concentración encontrada corrobora la del día anterior, es decir alta concentración de material particulado. Además se constata que el sitio seleccionado para el muestreo es importante en un estudio de calidad del aire. Como valor puntual sobrepasa la norma.

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización Dexton
 Fecha 25-26 de Agosto/97
 N° del filtro 10

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	2,7192	2,9676
Presión pulg de H ₂ O	4,55	4,50
Temperatura °C	32°C	38°C
Hora	00215,10	00240,51

Observaciones de campo : Día altamente soleado, con poca nubosidad.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 248400
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4,525
 Temperatura real de muestreo (°K) : 308,15
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2,0919

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$$Q_{ST} = 0.809 (Y - 0.391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1,376} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3,344 m³/min

Periodo de muestreo : 1524,6 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 5098,26 m³

Concentración :

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{48,72} \mu\text{gr}/\text{m}^3.$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones :

"Modelación de contaminantes atmosféricos de la zona industrial de Mamonal"

Formulario N° _____ Partículas en suspensión (Gravimetría).
 País _____ Ciudad _____ Estación N° _____
 Localización DEXTON
 Fecha Agosto 26-27/97
 N° del filtro 11

Toma de muestra

	Inicial	Final
Peso del filtro (gr)	2,7230	2,9049
Presión pulg de H ₂ O	4,5	4,1
Temperatura °C	38	34
Hora	00 240,51	00 262,88

Observaciones de campo : Vientos provenientes del Norte Noroeste, suaves, día soleado. Temperatura elevada.

Cálculos

Peso del material recolectado (µgr) : 181900
 Promedio real de las presiones registradas (Pulg de H₂O) : 4.3
 Temperatura real de muestreo (°K) : 309,15
 Presión llevada a condiciones estándar ("de H₂O) Y = 2.036

Determinación del flujo promedio en condiciones estándar :

$$Q_{ST} = 0,809 (Y - 0,391)$$

$$Q_{ST} = \underline{1.331} \text{ m}^3/\text{min}$$

Cumple con la norma (Decreto 2308/86) ? SI NO

Flujo promedio en condiciones de presión y temperatura reales : 3.162 m³/min

Periodo de muestreo : 1342,2 min

Volumen de aire en el periodo de muestreo : 4244,04 m³

Concentración :

$$C = (\text{Peso material recolectado } \mu\text{gr}) / (\text{Vol. de aire en el periodo de muestreo}) = \underline{42,86} \mu\text{gr}/\text{m}^3$$

Cumple con la norma (Decreto 02/82) ? SI NO

Observaciones :

ANEXO F

MATERIAL PARTICULADO CIBA GEIGY

ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE OF 293.

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

0.125

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

15

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

808.35

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

4.1

MATERIAL PARTICULADO CIBA GEIGY

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = .13
PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 15.00
STACK GAS TEMP (DEG K) = 808.35
AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 4.10

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.4891E-06	.652	218.8 (2)
1	.8	1.7316E-06	.522	142.4
1	1.0	1.8442E-06	.470	116.9
1	1.5	2.0782E-06	.376	82.9
1	2.0	2.2566E-06	.315	66.0
1	2.5	2.3916E-06	.273	55.8
1	3.0	2.4838E-06	.243	49.0
2	.5	9.2918E-07	1.436	218.8 (2)
2	.8	1.2670E-06	.970	142.4
2	1.0	1.4497E-06	.810	116.9
2	1.5	1.8029E-06	.592	82.9
2	2.0	2.0553E-06	.477	66.0
2	2.5	2.2417E-06	.402	55.8
2	3.0	2.3785E-06	.352	49.0
2	4.0	2.5713E-06	.290	40.5
2	5.0	2.6633E-06	.253	35.4
3	2.0	1.9934E-06	.744	66.0
3	2.5	2.2303E-06	.619	55.8
3	3.0	2.4099E-06	.537	49.0
3	4.0	2.6463E-06	.436	40.5
3	5.0	2.7714E-06	.376	35.4
3	7.0	2.8371E-06	.309	29.6
3	10.0	2.7366E-06	.259	25.2
3	12.0	2.6231E-06	.240	23.5
3	15.0	2.4393E-06	.221	21.8

4	.5	2.8960E-07	10.555	218.8 (2)
4	.8	5.2911E-07	5.237	142.4
4	1.0	6.9043E-07	3.806	116.9
4	1.5	1.0640E-06	2.208	82.9
4	2.0	1.3854E-06	1.545	66.0
4	2.5	1.6617E-06	1.190	55.8
4	3.0	1.8847E-06	.982	49.0
4	4.0	2.1273E-06	.798	40.5
4	5.0	2.2716E-06	.690	35.4
4	7.0	2.3862E-06	.567	29.6
4	10.0	2.3488E-06	.465	25.2
4	12.0	2.2714E-06	.427	23.5
4	15.0	2.1323E-06	.389	21.8
4	20.0	1.9013E-06	.352	20.1
5	2.0	1.3372E-06	2.422	59.0
5	2.5	1.2313E-06	2.221	55.9
5	3.0	1.1485E-06	2.072	53.5
5	4.0	1.0251E-06	1.861	50.0
5	5.0	9.2788E-07	1.732	47.5
6	2.0	1.3411E-06	3.772	51.5
6	2.5	1.2432E-06	3.433	48.9
6	3.0	1.1575E-06	3.227	46.9
6	4.0	1.0295E-06	2.933	44.0
6	5.0	9.3660E-07	2.729	41.9

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?END
 WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
-----	-----
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

MATERIAL PARTICULADO COLCLINKER HORNO 1 Y 2

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 18.68
PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 50.00
STACK GAS TEMP (DEG K) = 462.65
AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 175.84

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.0829E-05	1.790	1850.0 (2)
1	.8	1.2860E-05	1.445	1175.0 (2)
1	1.0	1.3900E-05	1.306	950.0 (2)
1	1.5	1.5862E-05	1.091	650.0 (2)
1	2.0	1.7245E-05	.964	500.0 (2)
1	2.5	1.8278E-05	.878	410.0 (2)
1	3.0	1.9062E-05	.815	350.0 (2)
2	.5	2.9661E-06	10.108	1850.0 (2)
2	.8	4.1816E-06	6.678	1175.0 (2)
2	1.0	4.9023E-06	5.500	950.0 (2)
2	1.5	6.4736E-06	3.884	650.0 (2)
2	2.0	7.7910E-06	3.056	500.0 (2)
2	2.5	8.9163E-06	2.548	410.0 (2)
2	3.0	9.8926E-06	2.205	350.0 (2)
2	4.0	1.1476E-05	1.770	275.0 (2)
2	5.0	1.2689E-05	1.503	230.0 (2)
3	2.0	5.3131E-06	6.864	500.0 (2)
3	2.5	6.2939E-06	5.522	410.0 (2)
3	3.0	7.1739E-06	4.640	350.0 (2)
3	4.0	8.6794E-06	3.560	275.0 (2)
3	5.0	9.8999E-06	2.925	230.0 (2)
3	7.0	1.1693E-05	2.217	178.6
3	10.0	1.3287E-05	1.698	140.0
3	12.0	1.3874E-05	1.500	125.0
3	15.0	1.4316E-05	1.304	110.0
4	.5	9.9000E+01	999.000 (1)	1850.0 (2)
4	.8	3.2561E-07	237.394 (3)	1175.0 (2)
4	1.0	4.5674E-07	155.709 (3)	950.0 (2)
4	1.5	8.3774E-07	73.474	650.0 (2)
4	2.0	1.2727E-06	43.690	500.0 (2)
4	2.5	1.7371E-06	31.241	410.0 (2)
4	3.0	2.1764E-06	23.574	350.0 (2)
4	4.0	3.0204E-06	15.456	275.0 (2)
4	5.0	3.8120E-06	11.469	230.0 (2)
4	7.0	5.1528E-06	7.556	178.6
4	10.0	6.5981E-06	5.095	140.0
4	12.0	7.2842E-06	4.241	125.0

4	15.0	8.0029E-06	3.448	110.0
4	20.0	8.6037E-06	2.728	95.0
5	2.0	9.7063E-06	16.038	176.5
5	2.5	9.0329E-06	14.595	167.4
5	3.0	8.4966E-06	13.533	160.5
5	4.0	7.6786E-06	12.048	150.4
5	5.0	7.0703E-06	11.036	143.2
6	2.0	4.4433E-06	44.930	154.9
6	2.5	4.3548E-06	39.662	147.4
6	3.0	4.2678E-06	35.902	141.7
6	4.0	4.1051E-06	30.814	133.3
6	5.0	3.9592E-06	27.471	127.3

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INFLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
?

MATERIAL PARTICULADO COLCLINKER HORNO 3
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

17.84

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

55

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

464.85

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

98.5

MATERIAL PARTICULADO COLCLINKER HORNO 3

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 17.84
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 55.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 464.85
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 98.50

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.6436E-05	1.533	1333.2 (2)
1	.8	1.9292E-05	1.242	853.9 (2)
1	1.0	2.0707E-05	1.126	694.1 (2)
1	1.5	2.3197E-05	.947	481.1 (2)
1	2.0	2.4806E-05	.841	374.5 (2)
1	2.5	2.5871E-05	.770	310.6 (2)
1	3.0	2.6570E-05	.718	268.0 (2)
2	.5	5.0946E-06	7.497	1333.2 (2)
2	.8	7.0900E-06	4.990	853.9 (2)
2	1.0	8.2392E-06	4.125	694.1 (2)
2	1.5	1.0634E-05	2.950	481.1 (2)
2	2.0	1.2537E-05	2.346	374.5 (2)
2	2.5	1.4067E-05	1.978	310.6 (2)
2	3.0	1.5309E-05	1.729	268.0 (2)
2	4.0	1.7149E-05	1.412	214.8 (2)
2	5.0	1.8382E-05	1.219	182.8
3	2.0	8.9855E-06	4.999	374.5 (2)
3	2.5	1.0414E-05	4.070	310.6 (2)
3	3.0	1.1630E-05	3.461	268.0 (2)
3	4.0	1.3540E-05	2.713	214.8 (2)
3	5.0	1.4920E-05	2.275	182.8
3	7.0	1.6607E-05	1.782	146.3
3	10.0	1.7563E-05	1.421	118.9
3	12.0	1.7642E-05	1.282	108.3
3	15.0	1.7351E-05	1.144	97.6

4	.5	9.9000E+01	999.000 (1)	1333.2 (2)
4	.8	7.2382E-07	126.120 (3)	853.9 (2)
4	1.0	1.0064E-06	83.688	694.1 (2)
4	1.5	1.7977E-06	40.916	481.1 (2)
4	2.0	2.6221E-06	26.629	374.5 (2)
4	2.5	3.3830E-06	19.023	310.6 (2)
4	3.0	4.1064E-06	14.808	268.0 (2)
4	4.0	5.4198E-06	10.230	214.8 (2)
4	5.0	6.4991E-06	7.849	182.8
4	7.0	8.0706E-06	5.471	146.3
4	10.0	9.4497E-06	3.911	118.9
4	12.0	9.9400E-06	3.360	108.3
4	15.0	1.0265E-05	2.846	97.6
4	20.0	1.0166E-05	2.376	87.0
5	2.0	1.2373E-05	13.395	159.6
5	2.5	1.1363E-05	12.291	152.1
5	3.0	1.0571E-05	11.476	146.3
5	4.0	9.3832E-06	10.331	138.0
5	5.0	8.5178E-06	9.548	132.0
6	2.0	6.0978E-06	35.960	141.8
6	2.5	5.8580E-06	32.137	135.5
6	3.0	5.6463E-06	29.389	130.8
6	4.0	5.2879E-06	25.641	123.9
6	5.0	4.9938E-06	23.157	118.9

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
?

MATERIAL PARTICULADO ECOPELROL
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.
 303
 ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES
 0
 ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)
 12.26
 ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)
 62.28
 ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)
 973.15
 ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN
 27.4

MATERIAL PARTICULADO ECOPELROL

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 12.26
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 62.28
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 973.15
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 27.40

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.8100E-05	1.309	955.4 (2)
1	.8	2.0849E-05	1.068	620.5 (2)
1	1.0	2.2082E-05	.972	508.8 (2)
1	1.5	2.4044E-05	.826	360.0 (2)
1	2.0	2.5036E-05	.740	285.6 (2)
1	2.5	2.5491E-05	.682	240.9 (2)
1	3.0	2.5612E-05	.641	211.1 (2)
2	.5	6.3699E-06	5.528	955.4 (2)
2	.8	8.6627E-06	3.722	620.5 (2)
2	1.0	9.9090E-06	3.105	508.8 (2)
2	1.5	1.2342E-05	2.263	360.0 (2)
2	2.0	1.4071E-05	1.832	285.6 (2)
2	2.5	1.5317E-05	1.568	240.9 (2)
2	3.0	1.6208E-05	1.390	211.1 (2)
2	4.0	1.7288E-05	1.164	173.9
2	5.0	1.7749E-05	1.027	151.6
3	2.0	1.0572E-05	3.710	285.6 (2)
3	2.5	1.1854E-05	3.078	240.9 (2)
3	3.0	1.2835E-05	2.663	211.1 (2)
3	4.0	1.4155E-05	2.154	173.9
3	5.0	1.4887E-05	1.853	151.6
3	7.0	1.5347E-05	1.514	126.1
3	10.0	1.4909E-05	1.265	106.9
3	12.0	1.4346E-05	1.168	99.5
3	15.0	1.3403E-05	1.073	92.1

4	.5	5.9064E-07	157.445 (3)	955.4 (2)
4	.8	1.1679E-06	67.001	620.5 (2)
4	1.0	1.5937E-06	45.230	508.8 (2)
4	1.5	2.6589E-06	24.796	360.0 (2)
4	2.0	3.6014E-06	16.459	285.6 (2)
4	2.5	4.4463E-06	12.391	240.9 (2)
4	3.0	5.1877E-06	9.941	211.1 (2)
4	4.0	6.3192E-06	7.239	173.9
4	5.0	7.1095E-06	5.795	151.6
4	7.0	8.0236E-06	4.300	126.1
4	10.0	8.4511E-06	3.293	106.9
4	12.0	8.4212E-06	2.932	99.5
4	15.0	8.1228E-06	2.597	92.1
4	20.0	7.4620E-06	2.277	84.6
5	2.0	1.0559E-05	11.704	148.0
5	2.5	9.5388E-06	10.849	141.8
5	3.0	8.7538E-06	10.216	137.1
5	4.0	7.6037E-06	9.322	130.3
5	5.0	6.7859E-06	8.708	125.4
6	2.0	5.3746E-06	30.863	133.4
6	2.5	5.0403E-06	27.993	128.3
6	3.0	4.7627E-06	25.913	124.4
6	4.0	4.3223E-06	23.050	118.7
6	5.0	3.9832E-06	21.132	114.7

PTMAX: ? ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

0.1083

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

15

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

808.35

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

4.1

BIOXIDO DE AZUFRE, INCINERADOR CIBA GEIGY.

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = .11
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 15.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 808.35
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 4.10

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.2902E-06	.652	218.8(2)
1	.8	1.5003E-06	.522	142.4
1	1.0	1.5978E-06	.470	116.9
1	1.5	1.8006E-06	.376	82.9
1	2.0	1.9552E-06	.315	66.0
1	2.5	2.0721E-06	.273	55.8
1	3.0	2.1519E-06	.243	49.0
2	.5	8.0504E-07	1.436	218.8(2)
2	.8	1.0977E-06	.970	142.4
2	1.0	1.2560E-06	.810	116.9
2	1.5	1.5621E-06	.592	82.9
2	2.0	1.7807E-06	.477	66.0
2	2.5	1.9422E-06	.402	55.8
2	3.0	2.0607E-06	.352	49.0
2	4.0	2.2278E-06	.290	40.5
2	5.0	2.3074E-06	.253	35.4
3	2.0	1.7271E-06	.744	66.0
3	2.5	1.9323E-06	.619	55.8
3	3.0	2.0880E-06	.537	49.0
3	4.0	2.2928E-06	.436	40.5
3	5.0	2.4012E-06	.376	35.4
3	7.0	2.4581E-06	.309	29.6
3	10.0	2.3710E-06	.259	25.2
3	12.0	2.2727E-06	.240	23.5
3	15.0	2.1134E-06	.221	21.8
4	.5	2.5091E-07	10.555	218.8(2)
4	.8	4.5842E-07	5.237	142.4

4	1.0	5.9819E-07	3.806	116.9
4	1.5	9.2182E-07	2.208	82.9
4	2.0	1.2003E-06	1.545	66.0
4	2.5	1.4397E-06	1.190	55.8
4	3.0	1.6329E-06	.982	49.0
4	4.0	1.8431E-06	.798	40.5
4	5.0	1.9681E-06	.690	35.4
4	7.0	2.0674E-06	.567	29.6
4	10.0	2.0350E-06	.465	25.2
4	12.0	1.9679E-06	.427	23.5
4	15.0	1.8475E-06	.389	21.8
4	20.0	1.6473E-06	.352	20.1
5	2.0	1.1586E-06	2.422	59.0
5	2.5	1.0668E-06	2.221	55.9
5	3.0	9.9510E-07	2.072	53.5
5	4.0	8.8819E-07	1.861	50.0
5	5.0	8.0392E-07	1.732	47.5
6	2.0	1.1620E-06	3.772	51.5
6	2.5	1.0771E-06	3.433	48.9
6	3.0	1.0028E-06	3.227	46.9
6	4.0	8.9199E-07	2.933	44.0
6	5.0	8.1147E-07	2.729	41.9

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INFLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
?

BIOXIDO DE AZUFRE COLCLINKER HORNO 1 Y 2
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.
 303
 ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES
 0
 ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)
 0.21
 ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)
 50
 ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)
 462.65
 ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN
 175.84

BIOXIDO DE AZUFRE COLCLINKER HORNO 1 Y 2

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = .21
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 50.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 462.65
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 175.84

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	1.2174E-07	1.790	1850.0(2)
1	.8	1.4458E-07	1.445	1175.0(2)
1	1.0	1.5626E-07	1.306	950.0(2)
1	1.5	1.7832E-07	1.091	650.0(2)
1	2.0	1.9387E-07	.964	500.0(2)
1	2.5	2.0548E-07	.878	410.0(2)
1	3.0	2.1429E-07	.815	350.0(2)
2	.5	3.3345E-08	10.108	1850.0(2)
2	.8	4.7009E-08	6.678	1175.0(2)
2	1.0	5.5111E-08	5.500	950.0(2)
2	1.5	7.2776E-08	3.884	650.0(2)
2	2.0	8.7587E-08	3.056	500.0(2)
2	2.5	1.0024E-07	2.548	410.0(2)
2	3.0	1.1121E-07	2.205	350.0(2)
2	4.0	1.2902E-07	1.770	275.0(2)
2	5.0	1.4265E-07	1.503	230.0(2)
3	2.0	5.9729E-08	6.864	500.0(2)
3	2.5	7.0756E-08	5.522	410.0(2)
3	3.0	8.0649E-08	4.640	350.0(2)
3	4.0	9.7573E-08	3.560	275.0(2)
3	5.0	1.1129E-07	2.925	230.0(2)
3	7.0	1.3145E-07	2.217	178.6
3	10.0	1.4937E-07	1.698	140.0
3	12.0	1.5597E-07	1.500	125.0
3	15.0	1.6094E-07	1.304	110.0

4	.5	9.9000E+01	999.000 (1)	1850.0 (2)
4	.8	3.6605E-09	237.394 (3)	1175.0 (2)
4	1.0	5.1347E-09	155.709 (3)	950.0 (2)
4	1.5	9.4178E-09	73.474	650.0 (2)
4	2.0	1.4308E-08	43.690	500.0 (2)
4	2.5	1.9529E-08	31.241	410.0 (2)
4	3.0	2.4467E-08	23.574	350.0 (2)
4	4.0	3.3955E-08	15.456	275.0 (2)
4	5.0	4.2854E-08	11.469	230.0 (2)
4	7.0	5.7927E-08	7.556	178.6
4	10.0	7.4175E-08	5.095	140.0
4	12.0	8.1888E-08	4.241	125.0
4	15.0	8.9969E-08	3.448	110.0
4	20.0	9.6723E-08	2.728	95.0
5	2.0	1.0912E-07	16.038	176.5
5	2.5	1.0155E-07	14.595	167.4
5	3.0	9.5518E-08	13.533	160.5
5	4.0	8.6323E-08	12.048	150.4
5	5.0	7.9484E-08	11.036	143.2
6	2.0	4.9951E-08	44.930	154.9
6	2.5	4.8956E-08	39.662	147.4
6	3.0	4.7978E-08	35.902	141.7
6	4.0	4.6149E-08	30.814	133.3
6	5.0	4.4509E-08	27.471	127.3

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?BIOXIDO DE AZUFRE COLCLINKER HORNO 3
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

0.043

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

55

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

464.85

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

98.5

BIOXIDO DE AZUFRE COLCLINKER HORNO 3

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = .04
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 55.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 464.85
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 98.50

STABILITY	WIND SPEED	MAX CONC	DIST OF MAX	PLUME HEIGHT
-----------	------------	----------	-------------	--------------

	(M/SEC)	(G/CU M)	(KM)	(M)
1	.5	3.9617E-08	1.533	1333.2 (2)
1	.8	4.6500E-08	1.242	853.9 (2)
1	1.0	4.9910E-08	1.126	694.1 (2)
1	1.5	5.5911E-08	.947	481.1 (2)
1	2.0	5.9789E-08	.841	374.5 (2)
1	2.5	6.2356E-08	.770	310.6 (2)
1	3.0	6.4041E-08	.718	268.0 (2)
2	.5	1.2280E-08	7.497	1333.2 (2)
2	.8	1.7089E-08	4.990	853.9 (2)
2	1.0	1.9859E-08	4.125	694.1 (2)
2	1.5	2.5631E-08	2.950	481.1 (2)
2	2.0	3.0218E-08	2.346	374.5 (2)
2	2.5	3.3905E-08	1.978	310.6 (2)
2	3.0	3.6900E-08	1.729	268.0 (2)
2	4.0	4.1335E-08	1.412	214.8 (2)
2	5.0	4.4306E-08	1.219	182.8
3	2.0	2.1658E-08	4.999	374.5 (2)
3	2.5	2.5101E-08	4.070	310.6 (2)
3	3.0	2.8032E-08	3.461	268.0 (2)
3	4.0	3.2635E-08	2.713	214.8 (2)
3	5.0	3.5961E-08	2.275	182.8
3	7.0	4.0028E-08	1.782	146.3
3	10.0	4.2332E-08	1.421	118.9
3	12.0	4.2523E-08	1.282	108.3
3	15.0	4.1820E-08	1.144	97.6
4	.5	9.9000E+01	999.000 (1)	1333.2 (2)
4	.8	1.7446E-09	126.120 (3)	853.9 (2)
4	1.0	2.4258E-09	83.688	694.1 (2)
4	1.5	4.3331E-09	40.916	481.1 (2)
4	2.0	6.3202E-09	26.629	374.5 (2)
4	2.5	8.1540E-09	19.023	310.6 (2)
4	3.0	9.8977E-09	14.808	268.0 (2)
4	4.0	1.3063E-08	10.230	214.8 (2)
4	5.0	1.5665E-08	7.849	182.8
4	7.0	1.9453E-08	5.471	146.3
4	10.0	2.2777E-08	3.911	118.9
4	12.0	2.3958E-08	3.360	108.3
4	15.0	2.4742E-08	2.846	97.6
4	20.0	2.4504E-08	2.376	87.0
5	2.0	2.9823E-08	13.395	159.6
5	2.5	2.7389E-08	12.291	152.1
5	3.0	2.5478E-08	11.476	146.3
5	4.0	2.2616E-08	10.331	138.0
5	5.0	2.0530E-08	9.548	132.0
6	2.0	1.4698E-08	35.960	141.8
6	2.5	1.4120E-08	32.137	135.5
6	3.0	1.3609E-08	29.389	130.8
6	4.0	1.2746E-08	25.641	123.9
6	5.0	1.2037E-08	23.157	118.9

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".

?END

WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

MAX

PTMAX

ENTER 0 FOR KEYBOARD INPUT OR UNIT# FOR FILE INPUT.0
 PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?BIOXIDO DE AZUFRE ECOPEPETROL
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

24.89

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

62.28

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

973.15

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

27.4

BIOXIDO DE AZUFRE ECOPEPETROL

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 24.89
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 62.28
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 973.15
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 27.40

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	3.6746E-05	1.309	955.4 (2)
1	.8	4.2327E-05	1.068	620.5 (2)
1	1.0	4.4830E-05	.972	508.8 (2)
1	1.5	4.8813E-05	.826	360.0 (2)
1	2.0	5.0828E-05	.740	285.6 (2)
1	2.5	5.1752E-05	.682	240.9 (2)
1	3.0	5.1998E-05	.641	211.1 (2)
2	.5	1.2932E-05	5.528	955.4 (2)
2	.8	1.7587E-05	3.722	620.5 (2)
2	1.0	2.0117E-05	3.105	508.8 (2)
2	1.5	2.5056E-05	2.263	360.0 (2)
2	2.0	2.8567E-05	1.832	285.6 (2)
2	2.5	3.1096E-05	1.568	240.9 (2)
2	3.0	3.2906E-05	1.390	211.1 (2)
2	4.0	3.5098E-05	1.164	173.9
2	5.0	3.6033E-05	1.027	151.6
3	2.0	2.1463E-05	3.710	285.6 (2)

3	2.5	2.4065E-05	3.078	240.9 (2)
3	3.0	2.6058E-05	2.663	211.1 (2)
3	4.0	2.8738E-05	2.154	173.9
3	5.0	3.0223E-05	1.853	151.6
3	7.0	3.1157E-05	1.514	126.1
3	10.0	3.0269E-05	1.265	106.9
3	12.0	2.9125E-05	1.168	99.5
3	15.0	2.7211E-05	1.073	92.1
4	.5	1.1991E-06	157.445 (3)	955.4 (2)
4	.8	2.3710E-06	67.001	620.5 (2)
4	1.0	3.2354E-06	45.230	508.8 (2)
4	1.5	5.3980E-06	24.796	360.0 (2)
4	2.0	7.3116E-06	16.459	285.6 (2)
4	2.5	9.0267E-06	12.391	240.9 (2)
4	3.0	1.0532E-05	9.941	211.1 (2)
4	4.0	1.2829E-05	7.239	173.9
4	5.0	1.4434E-05	5.795	151.6
4	7.0	1.6289E-05	4.300	126.1
4	10.0	1.7157E-05	3.293	106.9
4	12.0	1.7097E-05	2.932	99.5
4	15.0	1.6491E-05	2.597	92.1
4	20.0	1.5149E-05	2.277	84.6
5	2.0	2.1436E-05	11.704	148.0
5	2.5	1.9366E-05	10.849	141.8
5	3.0	1.7772E-05	10.216	137.1
5	4.0	1.5437E-05	9.322	130.3
5	5.0	1.3777E-05	8.708	125.4
6	2.0	1.0911E-05	30.863	133.4
6	2.5	1.0233E-05	27.993	128.3
6	3.0	9.6692E-06	25.913	124.4
6	4.0	8.7750E-06	23.050	118.7
6	5.0	8.0865E-06	21.132	114.7

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INFLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?END
 WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS
 ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
-----	-----
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

MAX

PTMAX

ENTER 0 FOR KEYBOARD INPUT OR UNIT# FOR FILE INPUT.0
 PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER HORNO 1 Y 2
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE
 OF 293.
 303
 ENTER SHELCTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES
 0
 ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)
 5.68
 ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)
 50
 ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)
 462.65
 ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN
 175.84

DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER HORNO 1 Y 2

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 5.68
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 50.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 462.65
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 175.84

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	3.2927E-06	1.790	1850.0(2)
1	.8	3.9104E-06	1.445	1175.0(2)
1	1.0	4.2264E-06	1.306	950.0(2)
1	1.5	4.8232E-06	1.091	650.0(2)
1	2.0	5.2436E-06	.964	500.0(2)
1	2.5	5.5576E-06	.878	410.0(2)
1	3.0	5.7961E-06	.815	350.0(2)
2	.5	9.0190E-07	10.108	1850.0(2)
2	.8	1.2715E-06	6.678	1175.0(2)
2	1.0	1.4906E-06	5.500	950.0(2)
2	1.5	1.9684E-06	3.884	650.0(2)
2	2.0	2.3690E-06	3.056	500.0(2)
2	2.5	2.7112E-06	2.548	410.0(2)
2	3.0	3.0080E-06	2.205	350.0(2)
2	4.0	3.4896E-06	1.770	275.0(2)
2	5.0	3.8584E-06	1.503	230.0(2)
3	2.0	1.6155E-06	6.864	500.0(2)
3	2.5	1.9138E-06	5.522	410.0(2)

3	3.0	2.1814E-06	4.640	350.0(2)
3	4.0	2.6391E-06	3.560	275.0(2)
3	5.0	3.0102E-06	2.925	230.0(2)
3	7.0	3.5555E-06	2.217	178.6
3	10.0	4.0400E-06	1.698	140.0
3	12.0	4.2187E-06	1.500	125.0
3	15.0	4.3530E-06	1.304	110.0
4	.5	9.9000E+01	999.000(1)	1850.0(2)
4	.8	9.9007E-08	237.394(3)	1175.0(2)
4	1.0	1.3888E-07	155.709(3)	950.0(2)
4	1.5	2.5473E-07	73.474	650.0(2)
4	2.0	3.8699E-07	43.690	500.0(2)
4	2.5	5.2821E-07	31.241	410.0(2)
4	3.0	6.6178E-07	23.574	350.0(2)
4	4.0	9.1840E-07	15.456	275.0(2)
4	5.0	1.1591E-06	11.469	230.0(2)
4	7.0	1.5668E-06	7.556	178.6
4	10.0	2.0063E-06	5.095	140.0
4	12.0	2.2149E-06	4.241	125.0
4	15.0	2.4334E-06	3.448	110.0
4	20.0	2.6161E-06	2.728	95.0
5	2.0	2.9514E-06	16.038	176.5
5	2.5	2.7466E-06	14.595	167.4
5	3.0	2.5835E-06	13.533	160.5
5	4.0	2.3348E-06	12.048	150.4
5	5.0	2.1499E-06	11.036	143.2
6	2.0	1.3511E-06	44.930	154.9
6	2.5	1.3242E-06	39.662	147.4
6	3.0	1.2977E-06	35.902	141.7
6	4.0	1.2482E-06	30.814	133.3
6	5.0	1.2039E-06	27.471	127.3

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INFLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER HORNO 3

ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE OF 293.

303

ENTER SELECTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES

0

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)

0.567

ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)

55

ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)

464.85

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN

98.5

DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER HORNO 3

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = .57
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 55.00
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 464.85
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 98.50

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	5.2239E-07	1.533	1333.2(2)
1	.8	6.1314E-07	1.242	853.9(2)
1	1.0	6.5811E-07	1.126	694.1(2)
1	1.5	7.3725E-07	.947	481.1(2)
1	2.0	7.8838E-07	.841	374.5(2)
1	2.5	8.2223E-07	.770	310.6(2)
1	3.0	8.4445E-07	.718	268.0(2)
2	.5	1.6192E-07	7.497	1333.2(2)
2	.8	2.2534E-07	4.990	853.9(2)
2	1.0	2.6186E-07	4.125	694.1(2)
2	1.5	3.3798E-07	2.950	481.1(2)
2	2.0	3.9846E-07	2.346	374.5(2)
2	2.5	4.4708E-07	1.978	310.6(2)
2	3.0	4.8656E-07	1.729	268.0(2)
2	4.0	5.4505E-07	1.412	214.8(2)
2	5.0	5.8423E-07	1.219	182.8
3	2.0	2.8558E-07	4.999	374.5(2)
3	2.5	3.3098E-07	4.070	310.6(2)
3	3.0	3.6963E-07	3.461	268.0(2)
3	4.0	4.3033E-07	2.713	214.8(2)
3	5.0	4.7418E-07	2.275	182.8
3	7.0	5.2781E-07	1.782	146.3
3	10.0	5.5820E-07	1.421	118.9
3	12.0	5.6071E-07	1.282	108.3
3	15.0	5.5145E-07	1.144	97.6
4	.5	9.9000E+01	999.000(1)	1333.2(2)
4	.8	2.3005E-08	126.120(3)	853.9(2)
4	1.0	3.1986E-08	83.688	694.1(2)
4	1.5	5.7137E-08	40.916	481.1(2)
4	2.0	8.3338E-08	26.629	374.5(2)
4	2.5	1.0752E-07	19.023	310.6(2)
4	3.0	1.3051E-07	14.808	268.0(2)
4	4.0	1.7225E-07	10.230	214.8(2)
4	5.0	2.0656E-07	7.849	182.8
4	7.0	2.5650E-07	5.471	146.3
4	10.0	3.0034E-07	3.911	118.9
4	12.0	3.1592E-07	3.360	108.3

4	15.0	3.2625E-07	2.846	97.6
4	20.0	3.2311E-07	2.376	87.0
5	2.0	3.9325E-07	13.395	159.6
5	2.5	3.6115E-07	12.291	152.1
5	3.0	3.3596E-07	11.476	146.3
5	4.0	2.9822E-07	10.331	138.0
5	5.0	2.7072E-07	9.548	132.0
6	2.0	1.9380E-07	35.960	141.8
6	2.5	1.8618E-07	32.137	135.5
6	3.0	1.7945E-07	29.389	130.8
6	4.0	1.6806E-07	25.641	123.9
6	5.0	1.5871E-07	23.157	118.9

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
 ?DIOXIDO DE NITROGENO ECOPEPETROL
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) OR ZERO TO USE DEFAULT VALUE OF 293.

303
 ENTER SHELCTED STABILITY CLASS OR ZERO (0) FOR ALL STABILITIES
 0
 ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC)
 5.73
 ENTER PHYSICAL STACK HEIGHT (M)
 62.28
 ENTER STACK GAS TEMPERATURE (DEG K)
 973.15
 ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) IF KNOWN, OR ZERO (0) IF NOT KNOWN
 27.4

DIOXIDO DE NITROGENO ECOPEPETROL

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED.
 VERSION 75128, D. B. TURNER.

EMISSION RATE (G/SEC) = 5.73
 PHYSICAL STACK HEIGHT (M) = 62.28
 STACK GAS TEMP (DEG K) = 973.15
 AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) = 303.
 VOLUME FLOW (CU M/SEC) = 27.40

STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	PLUME HEIGHT (M)
1	.5	8.4594E-06	1.309	955.4 (2)
1	.8	9.7442E-06	1.068	620.5 (2)
1	1.0	1.0321E-05	.972	508.8 (2)
1	1.5	1.1237E-05	.826	360.0 (2)
1	2.0	1.1701E-05	.740	285.6 (2)
1	2.5	1.1914E-05	.682	240.9 (2)
1	3.0	1.1971E-05	.641	211.1 (2)
2	.5	2.9771E-06	5.528	955.4 (2)
2	.8	4.0487E-06	3.722	620.5 (2)
2	1.0	4.6312E-06	3.105	508.8 (2)

2	1.5	5.7683E-06	2.263	360.0(2)
2	2.0	6.5764E-06	1.832	285.6(2)
2	2.5	7.1587E-06	1.568	240.9(2)
2	3.0	7.5754E-06	1.390	211.1(2)
2	4.0	8.0801E-06	1.164	173.9
2	5.0	8.2953E-06	1.027	151.6
3	2.0	4.9412E-06	3.710	285.6(2)
3	2.5	5.5402E-06	3.078	240.9(2)
3	3.0	5.9988E-06	2.663	211.1(2)
3	4.0	6.6158E-06	2.154	173.9
3	5.0	6.9576E-06	1.853	151.6
3	7.0	7.1728E-06	1.514	126.1
3	10.0	6.9683E-06	1.265	106.9
3	12.0	6.7050E-06	1.168	99.5
3	15.0	6.2643E-06	1.073	92.1
4	.5	2.7605E-07	157.445(3)	955.4(2)
4	.8	5.4582E-07	67.001	620.5(2)
4	1.0	7.4484E-07	45.230	508.8(2)
4	1.5	1.2427E-06	24.796	360.0(2)
4	2.0	1.6832E-06	16.459	285.6(2)
4	2.5	2.0781E-06	12.391	240.9(2)
4	3.0	2.4246E-06	9.941	211.1(2)
4	4.0	2.9534E-06	7.239	173.9
4	5.0	3.3228E-06	5.795	151.6
4	7.0	3.7500E-06	4.300	126.1
4	10.0	3.9498E-06	3.293	106.9
4	12.0	3.9359E-06	2.932	99.5
4	15.0	3.7964E-06	2.597	92.1
4	20.0	3.4876E-06	2.277	84.6
5	2.0	4.9348E-06	11.704	148.0
5	2.5	4.4582E-06	10.849	141.8
5	3.0	4.0913E-06	10.216	137.1
5	4.0	3.5538E-06	9.322	130.3
5	5.0	3.1716E-06	8.708	125.4
6	2.0	2.5119E-06	30.863	133.4
6	2.5	2.3557E-06	27.993	128.3
6	3.0	2.2260E-06	25.913	124.4
6	4.0	2.0201E-06	23.050	118.7
6	5.0	1.8616E-06	21.132	114.7

PTMAX: ENTER ALPHANUMERIC TITLE OF UP TO 64 CHARACTERS, OR "END".
?END

WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
-----	-----
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

MTP

PTMTP

ENTER 0 FOR KEYBOARD INPUT OR UNIT# FOR FILE INPUT.0

ENTER "0" FOR NO "PUNCH" OF OUTPUT CONCENTRATIONS,
OR UNIT NUMBER IF "PUNCH" IS DESIRED. 0
ENTER ALPHANUMERIC TITLE (UP TO 64 CHARACTERS)

?
MODEL. MATERIAL PARTICULADO CIBA, COLCLINKER, ECOPETROL
ENTER NUMBER OF SOURCES TO BE CONSIDERED. MAX 25
4

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC) FOR EACH STACK
0.125
18.68
17.84
12.26

ENTER PHYSICAL HEIGHT (M) OF EACH STACK
15,50,55,62.28

ENTER GAS TEMPERATURE (DEG K) OF EACH STACK
808.35,462.65,464.85,973.15

IS VOLUME FLOW KNOWN FOR EACH STACK? YES OR NO
?
YES

ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) FOR EACH STACK
4.1,175.84,98.5,27.4

ENTER COORDINATES (KM) OF EACH STACK. ORDERED PAIRS
20,20

18.92,18.903
18.99,18.903
19.42,16.330

ENTER NUMBER OF RECEPTORS TO BE PROCESSED. MAX 30
13

ENTER COORDINATES (KM) OF EACH RECEPTOR. ORDERED PAIRS
20,19.685

17.63,13.35
26,7.9
29.52,13.98
18.92,18.06
18.92,17.94
18.92,16.557
18.92,15.847
18.92,13.903
18.92,12.04
19.42,15.59
19.42,14.501
19.42,12.623

ENTER HEIGHT (M) ABOVE GROUND FOR EACH RECEPTOR
4,20,50,50,4,4,4,4,4,4,4,50,50

ENTER NUMBER OF HOURS TO BE AVERAGED. MAX 24
6

ENTER WIND DIRECTION (DEG) FOR EACH HOUR
0,0,0,0,0,0

ENTER WIND SPEED (M/SEC) FOR EACH HOUR
2,2,2,2,2,3

ENTER STABILITY CLASS FOR EACH HOUR
1,2,3,4,5,6

ENTER MIXING HEIGHT (M) FOR EACH HOUR

640,640,640,640,640,640

ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) FOR EACH HOUR

303,303,303,303,303,303

DO YOU WANT PARTIAL CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO

?

DO YOU WANT HOURLY CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO

?

MODEL. MATERIAL PARTICULADO CIBA, COLCLINKER, ECOPEPETROL

MULTIPLE SOURCE MODEL DBT51, VERSION 78010

*** S O U R C E S ***

NO	Q (G/SEC)	HP (M)	TS (DEG K)	VS (M/SEC)	D (M)	VF (M**3/SEC)	R (KM)	S (KM)
1	.13	15.0	808.3			4.1	20.000	20.000
2	18.68	50.0	462.6			175.8	18.920	18.903
3	17.84	55.0	464.9			98.5	18.990	18.903
4	12.26	62.3	973.2			27.4	19.420	16.330

*** R E C E P T O R S ***

NO	RREC (KM)	SREC (KM)	Z (M)
1	20.000	19.685	4.0
2	17.630	13.350	20.0
3	26.000	7.900	50.0
4	29.520	13.980	50.0
5	18.920	18.060	4.0
6	18.920	17.940	4.0
7	18.920	16.557	4.0
8	18.920	15.847	4.0
9	18.920	13.903	4.0
10	18.920	12.040	4.0
11	19.420	15.590	4.0
12	19.420	14.501	50.0
13	19.420	12.623	50.0

*** M E T E O R O L O G Y ***

NO	THETA (DEG)	U (M/SEC)	KST	HL (M)	T (DEG K)
1	.0	2.0	1	640.	303.
2	.0	2.0	2	640.	303.
3	.0	2.0	3	640.	303.
4	.0	2.0	4	640.	303.
5	.0	2.0	5	640.	303.
6	.0	3.0	6	640.	303.

DUR # 1

*** R E C E P T O R N U M B E R ***

1 2 3 4 5 6

HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

66. 2.254E-06 3.330E-09 8.965E-11 6.859E-28 1.596E-09 2.297E-09

2	500.	.000E+00	2.395E-06	4.443E-10	.000E+00	1.999E-05	2.351E-05
3	375.	.000E+00	2.055E-06	5.062E-10	.000E+00	2.375E-05	2.427E-05
4	286.	.000E+00	3.085E-08	1.447E-11	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.254E-06	4.484E-06	1.055E-09	6.859E-28	4.375E-05	4.778E-05
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

HOUR # 1

*** RECEPTOR NUMBER ***

7	8	9	10	11	12
---	---	---	----	----	----

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.359E-08	1.770E-08	2.177E-08	2.138E-08	3.825E-08	3.464E-08
2	500.	1.320E-05	1.049E-05	6.845E-06	5.212E-06	6.872E-06	6.161E-06
3	375.	1.245E-05	9.935E-06	6.515E-06	4.968E-06	7.194E-06	6.223E-06
4	286.	.000E+00	1.998E-10	4.590E-06	4.094E-06	2.505E-05	1.077E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.567E-05	2.044E-05	1.797E-05	1.430E-05	3.915E-05	2.319E-05
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

HOUR # 1

*** RECEPTOR NUMBER ***

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	2.910E-08
2	500.	5.005E-06
3	375.	4.928E-06
4	286.	5.820E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.578E-05

HOUR # 2

*** RECEPTOR NUMBER ***

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.345E-05	7.508E-10	2.352E-12	.000E+00	1.616E-10	3.088E-10
2	500.	.000E+00	1.534E-06	9.274E-13	.000E+00	6.464E-10	2.449E-09
3	375.	.000E+00	1.217E-06	1.199E-12	.000E+00	4.085E-08	2.788E-07
4	286.	.000E+00	6.255E-10	2.517E-15	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.345E-05	2.753E-06	4.481E-12	.000E+00	4.166E-08	2.815E-07
-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------

HOUR # 2

*** RECEPTOR NUMBER ***

7	8	9	10	11	12
---	---	---	----	----	----

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	6.683E-09	1.076E-08	1.877E-08	2.157E-08	4.258E-08	3.970E-08
---	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

2	500.	7.118E-06	9.930E-06	8.974E-06	6.880E-06	5.500E-06	6.689E-06
3	375.	1.241E-05	1.184E-05	8.583E-06	6.548E-06	7.263E-06	7.228E-06
4	286.	.000E+00	3.223E-18	4.141E-06	4.625E-06	2.895E-07	1.438E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.954E-05 2.178E-05 2.172E-05 1.807E-05 1.310E-05 2.834E-05

HOUR # 2

*** RECEPTOR NUMBER ***
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	3.514E-03
2	500.	6.061E-05
3	375.	6.106E-05
4	286.	7.945E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.015E-05

HOUR # 3

*** RECEPTOR NUMBER ***
1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	2.443E-07	1.751E-11	2.136E-16	.000E+00	5.587E-14	2.778E-13
2	500.	.000E+00	1.611E-07	1.387E-19	.000E+00	1.262E-20	2.155E-19
3	375.	.000E+00	1.773E-07	2.526E-19	.000E+00	3.764E-15	7.642E-13
4	286.	.000E+00	8.792E-15	6.375E-25	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.443E-07 3.384E-07 2.140E-16 .000E+00 5.963E-14 1.042E-12

HOUR # 3

*** RECEPTOR NUMBER ***
7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	9.049E-10	3.494E-09	1.422E-08	1.990E-08	6.932E-08	6.610E-08
2	500.	8.900E-03	8.135E-07	4.694E-06	6.604E-06	3.333E-07	1.736E-06
3	375.	1.763E-05	5.031E-06	8.947E-06	8.297E-06	2.316E-06	4.986E-06
4	286.	.000E+00	6.426E-37	6.791E-07	4.404E-06	3.713E-12	4.752E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.853E-06 5.848E-06 1.433E-05 1.933E-05 2.719E-06 1.154E-05

HOUR # 3

*** RECEPTOR NUMBER ***
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	5.362E-03
---	-----	-----------

2 500. 4.158E-06
 3 375. 6.378E-06
 4 286. 1.088E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.147E-05

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.873E-10	1.145E-15	2.553E-26	.000E+00	5.922E-23	2.795E-21
2	500.	.000E+00	4.286E-14	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	375.	.000E+00	6.285E-12	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	286.	.000E+00	4.401E-29	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.873E-10 6.329E-12 2.553E-26 .000E+00 5.922E-23 2.795E-21

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.399E-12	5.272E-11	3.859E-09	1.682E-08	5.711E-08	9.202E-08
2	500.	1.170E-21	8.031E-17	1.483E-11	1.425E-09	4.767E-17	3.327E-12
3	375.	4.745E-14	2.138E-11	1.450E-08	1.545E-07	9.380E-12	6.930E-09
4	286.	.000E+00	.000E+00	3.596E-12	2.738E-08	.000E+00	7.365E-10

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.446E-12 7.410E-11 1.838E-08 2.001E-07 5.712E-08 9.969E-08

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.266E-07
2	500.	8.876E-10
3	375.	1.208E-07
4	286.	3.744E-07

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

6.227E-07

HOUR # 5

*** RECEPTOR NUMBER ***

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	59.	5.232E-13	3.857E-22	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
---	-----	-----------	-----------	----------	----------	----------	----------

2	176.	.000E+00	1.930E-12	.000E+00	.000E+00	2.417E-21	3.603E-18
3	160.	.000E+00	7.846E-13	.000E+00	.000E+00	1.380E-18	6.739E-16
4	148.	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

5.232E-13 2.715E-12 .000E+00 .000E+00 1.383E-18 6.775E-16

HOUR # 5
 *** RECEPTOR NUMBER ***
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	59.	5.386E-17	4.453E-14	1.543E-10	3.012E-09	1.263E-08	4.305E-08
2	176.	7.858E-09	1.027E-07	1.653E-06	4.142E-06	8.017E-10	2.928E-07
3	160.	4.951E-08	4.069E-07	3.728E-06	7.451E-06	1.307E-08	1.367E-06
4	148.	.000E+00	.000E+00	1.329E-11	1.062E-07	1.001E-18	2.907E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

5.737E-08 5.096E-07 5.381E-06 1.170E-05 2.650E-08 4.610E-06

HOUR # 5
 *** RECEPTOR NUMBER ***
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	59.	1.042E-07					
2	176.	2.043E-06					
3	160.	5.136E-06					
4	148.	1.482E-05					

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.210E-05

HOUR # 6
 *** RECEPTOR NUMBER ***
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	1.856E-16	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	142.	.000E+00	4.421E-21	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	131.	.000E+00	3.028E-22	.000E+00	.000E+00	.000E+00	2.842E-23
4	124.	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.856E-16 4.723E-21 .000E+00 .000E+00 .000E+00 2.842E-23

HOUR # 6
 *** RECEPTOR NUMBER ***
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	.000E+00	2.427E-23	4.071E-15	4.997E-12	5.360E-11	1.498E-09
---	-----	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

2	142.	2.601E-11	1.307E-09	8.334E-08	4.603E-07	1.286E-14	2.519E-09
3	131.	2.135E-10	6.726E-09	2.476E-07	1.048E-06	1.905E-12	4.082E-08
4	124.	.000E+00	.000E+00	5.587E-19	7.476E-11	.000E+00	7.203E-07

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.395E-10	8.033E-09	3.309E-07	1.508E-06	5.552E-11	7.651E-07
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

HOUR # 6
 * * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	1.606E-08
2	142.	1.595E-07
3	131.	8.071E-07
4	124.	8.645E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

9.628E-06

AVERAGE CONCENTRATIONS FOR 6 HOURS.
 * * * R E C E P T O R N U M B E R * * *

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	6.406E-07	6.831E-10	1.533E-11	1.143E-28	2.929E-10	4.343E-10
2	142.	.000E+00	6.817E-07	7.421E-11	.000E+00	3.333E-06	3.919E-06
3	131.	.000E+00	5.749E-07	8.457E-11	.000E+00	3.966E-06	4.092E-06
4	124.	.000E+00	5.246E-09	2.411E-12	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

6.406E-07	1.263E-06	1.765E-10	1.143E-28	7.299E-06	8.011E-06
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	3.530E-09	5.334E-09	9.797E-09	1.378E-08	3.666E-08	4.617E-08
2	142.	3.403E-06	3.556E-06	3.708E-06	3.883E-06	2.118E-06	2.480E-06
3	131.	4.446E-06	4.536E-06	4.673E-06	4.744E-06	2.798E-06	3.309E-06
4	124.	.000E+00	3.331E-11	1.568E-06	2.209E-06	4.223E-06	5.589E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

7.852E-06	8.097E-06	9.959E-06	1.085E-05	9.175E-06	1.142E-05
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

47.	6.079E-08
142.	2.905E-06
131.	3.912E-06
124.	8.081E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.496E-05

ENTER "SOURCES" OR "RECEPTORS" OR "METEOROLOGY" OR "END"
?

END

WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
-----	-----
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

PTXXX
WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

ITP

PTMTP

ENTER 0 FOR KEYBOARD INPUT OR UNIT# FOR FILE INPUT.0

ENTER "0" FOR NO "PUNCH" OF OUTPUT CONCENTRATIONS,
OR UNIT NUMBER IF "PUNCH" IS DESIRED. 0
ENTER ALPHANUMERIC TITLE (UP TO 64 CHARACTERS)

MODEL. DIOXIDO DE AZUFRE CIBA, COLCLINKER, ECOPEPETROL.
ENTER NUMBER OF SOURCES TO BE CONSIDERED. MAX 25

ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC) FOR EACH STACK
.1083
.2053
.043
4.89

ENTER PHYSICAL HEIGHT (M) OF EACH STACK
5,50,55,62.28

ENTER GAS TEMPERATURE (DEG K) OF EACH STACK
08.35,462.65,464.85,973.154

IS VOLUME FLOW KNOWN FOR EACH STACK? YES OR NO

YES
ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) FOR EACH STACK
.1,175.84,98.5,27.4

ENTER COORDINATES (KM) OF EACH STACK. ORDERED PAIRS
0,20
8.92,18.903
8.99,18.903
9.42,16.330

ENTER NUMBER OF RECEPTORS TO BE PROCESSED. MAX 30
3

ENTER COORDINATES (KM) OF EACH RECEPTOR. ORDERED PAIRS
0,19.685
7.63,13.35
6,7.9
9.52,13.98
8.92,18.06
8.92,17.94
8.92,16.557
8.92,15.847
3.92,13.903
3.92,12.04
3.42,15.59
3.42,14.501

19.42, 12.623
 ENTER HEIGHT (M) ABOVE GROUND FOR EACH RECEPTOR
 4, 20, 50, 50, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 50, 50
 ENTER NUMBER OF HOURS TO BE AVERAGED. MAX 24
 6
 ENTER WIND DIRECTION (DEG) FOR EACH HOUR
 0, 0, 0, 0, 0, 0
 ENTER WIND SPEED (M/SEC) FOR EACH HOUR
 2, 2, 2, 2, 2, 3
 ENTER STABILITY CLASS FOR EACH HOUR
 1, 2, 3, 4, 5, 6
 ENTER MIXING HEIGHT (M) FOR EACH HOUR
 640, 640, 640, 640, 640, 640
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) FOR EACH HOUR
 303, 303, 303, 303, 303, 303
 DO YOU WANT PARTIAL CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO
 ?
 YES
 DO YOU WANT HOURLY CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO
 ?
 YES

MODEL. DIOXIDO DE AZUFRE CIBA, COLCLINKER, ECOJETROL.

MULTIPLE SOURCE MODEL DBT51, VERSION 78010

* * * S O U R C E S * * *

NO	Q (G/SEC)	HP (M)	TS (DEG K)	VS (M/SEC)	D (M)	VF (M**3/SEC)	R (KM)	S (KM)
1	.11	15.0	808.3					
2	.21	50.0	462.6			4.1	20.000	20.000
3	.04	55.0	464.9			175.8	18.920	18.903
4	24.89	62.3	973.2			98.5	18.990	18.903
						27.4	19.420	16.330

* * * R E C E P T O R S * * *

NO	RREC (KM)	SREC (KM)	Z (M)
1	20.000	19.685	4.0
2	17.630	13.350	20.0
3	26.000	7.900	50.0
4	29.520	13.980	50.0
5	18.920	18.060	4.0
6	18.920	17.940	4.0
7	18.920	16.557	4.0
8	18.920	15.847	4.0
9	18.920	13.903	4.0
10	18.920	12.040	4.0
11	19.420	15.590	4.0
12	19.420	14.501	50.0
13	19.420	12.623	50.0

* * * M E T E O R O L O G Y * * *

NO	THETA (DEG)	U (M/SEC)	KST	HL (M)	T (DEG K)
1	.0	2.0	1	640.	303.
2	.0	2.0	2	640.	303.

3	.0	2.0	3	640.	303.
4	.0	2.0	4	640.	303.
5	.0	2.0	5	640.	303.
6	.0	3.0	6	640.	303.

IOUR # 1

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.953E-06	2.885E-09	7.767E-11	5.943E-28	1.383E-09	1.990E-09
2	500.	.000E+00	2.632E-08	4.883E-12	.000E+00	2.197E-07	2.584E-07
3	375.	.000E+00	4.953E-09	1.220E-12	.000E+00	5.725E-08	5.850E-08
4	286.	.000E+00	6.264E-08	2.937E-11	.000E+00	.000E+00	.000E+00
TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)							
		1.953E-06	9.679E-08	1.131E-10	5.943E-28	2.784E-07	3.189E-07

IOUR # 1

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.178E-08	1.534E-08	1.887E-08	1.852E-08	3.314E-08	3.001E-08
2	500.	1.451E-07	1.152E-07	7.523E-08	5.728E-08	7.553E-08	6.771E-08
3	375.	3.001E-08	2.395E-08	1.570E-08	1.197E-08	1.734E-08	1.500E-08
4	286.	.000E+00	4.057E-10	9.319E-06	8.312E-06	5.085E-05	2.187E-05
TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)							
		1.869E-07	1.549E-07	9.428E-06	8.400E-06	5.098E-05	2.198E-05

OUR # 1

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	2.521E-08					
2	500.	5.501E-08					
3	375.	1.188E-08					
4	286.	1.181E-05					
TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)							
		1.191E-05					

OUR # 2

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.165E-06	6.505E-10	2.038E-12	.000E+00	1.400E-10	2.675E-10
2	500.	.000E+00	1.686E-08	1.019E-14	.000E+00	7.104E-12	2.691E-11
3	375.	.000E+00	2.934E-09	2.891E-15	.000E+00	9.847E-11	6.719E-10
4	286.	.000E+00	1.270E-09	5.109E-15	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.165E-06 2.172E-08 2.056E-12 .000E+00 2.456E-10 9.664E-10

OUR # 2

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	5.790E-09	9.319E-09	1.626E-08	1.869E-08	3.689E-08	3.440E-08
2	500.	7.823E-08	1.091E-07	9.862E-08	7.561E-08	6.045E-08	7.352E-08
3	375.	2.992E-08	2.853E-08	2.069E-08	1.578E-08	1.751E-08	1.742E-08
4	286.	.000E+00	6.543E-18	8.408E-06	9.389E-06	5.877E-07	2.920E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.139E-07 1.470E-07 8.543E-06 9.499E-06 7.025E-07 2.933E-05

OUR # 2

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	3.045E-08
2	500.	6.661E-08
3	375.	1.472E-08
4	286.	1.613E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.624E-05

OUR # 3

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	2.117E-07	1.517E-11	1.851E-16	.000E+00	4.840E-14	2.407E-13
2	500.	.000E+00	1.771E-09	1.524E-21	.000E+00	1.387E-22	2.368E-21
3	375.	.000E+00	4.273E-10	6.089E-22	.000E+00	9.072E-18	1.842E-15
4	286.	.000E+00	1.785E-14	1.294E-24	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.117E-07 2.213E-09 1.851E-16 .000E+00 4.841E-14 2.425E-13

OUR # 3

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	7.840E-10	3.027E-09	1.232E-08	1.724E-08	6.006E-08	5.727E-08
2	500.	9.782E-10	8.941E-09	5.159E-08	7.258E-08	3.663E-09	1.908E-08
3	375.	4.250E-09	1.213E-08	2.157E-08	2.000E-08	5.582E-09	1.202E-08
4	286.	.000E+00	1.305E-36	1.379E-06	8.941E-06	7.537E-12	9.647E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

6.012E-09 2.409E-08 1.464E-06 9.051E-06 6.931E-08 9.735E-06

HOUR # 3

*** RECEPTOR NUMBER ***
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	4.646E-08
2	500.	4.570E-08
3	375.	1.537E-08
4	286.	2.209E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.219E-05

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***
1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.622E-10	9.918E-16	2.212E-26	.000E+00	5.131E-23	2.422E-21
2	500.	.000E+00	4.711E-16	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	375.	.000E+00	1.515E-14	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	286.	.000E+00	8.934E-29	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.622E-10 1.661E-14 2.212E-26 .000E+00 5.131E-23 2.422E-21

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***
7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.212E-12	4.568E-11	3.343E-09	1.457E-08	4.948E-08	7.973E-08
2	500.	1.286E-23	8.826E-19	1.629E-13	1.566E-11	5.239E-19	3.657E-14
3	375.	1.144E-16	5.153E-14	3.495E-11	3.724E-10	2.261E-14	1.670E-11
4	286.	.000E+00	.000E+00	7.300E-12	5.559E-08	.000E+00	1.495E-09

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.212E-12 4.573E-11 3.386E-09 7.055E-08 4.948E-08 8.124E-08

HOUR # 4

*** RECEPTOR NUMBER ***
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	66.	1.097E-07
2	500.	9.755E-12
3	375.	2.912E-10
4	286.	7.600E-07

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.608E-16 4.931E-23 .000E+00 .000E+00 .000E+00 6.851E-26

HOUR # 6

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	.000E+00	2.102E-23	3.527E-15	4.329E-12	4.644E-11	1.298E-09
2	142.	2.858E-13	1.436E-11	9.159E-10	5.058E-09	1.413E-16	2.768E-11
3	131.	5.146E-13	1.621E-11	5.968E-10	2.526E-09	4.592E-15	9.840E-11
4	124.	.000E+00	.000E+00	1.134E-18	1.518E-10	.000E+00	1.462E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

8.005E-13 3.057E-11 1.513E-09 7.740E-09 4.644E-11 1.464E-06

HOUR # 6

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	1.391E-08
2	142.	1.753E-09
3	131.	1.945E-09
4	124.	1.755E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.757E-05

AVERAGE CONCENTRATIONS FOR 6 HOURS.

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	5.551E-07	5.918E-10	1.329E-11	9.904E-29	2.538E-10	3.763E-10
2	142.	.000E+00	7.492E-09	8.156E-13	.000E+00	3.663E-08	4.307E-08
3	131.	.000E+00	1.386E-09	2.038E-13	.000E+00	9.559E-09	9.862E-09
4	124.	.000E+00	1.065E-08	4.895E-12	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

5.551E-07 2.012E-08 1.920E-11 9.904E-29 4.644E-08 5.331E-08

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

275

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

5.117E-08 5.470E-08 3.245E-06 4.552E-06 8.635E-06 1.142E-05

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	47.	5.267E-08
2	142.	3.192E-08
3	131.	9.430E-09
4	124.	1.641E-05

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.650E-05

ENTER "SOURCES" OR "RECEPTORS" OR "METEOROLOGY" OR "END"
?

SOURCES
ENTER NUMBER OF SOURCES TO BE CONSIDERED. MAX 25

R
3

ND
WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

MODEL	CODE
PTMTP	MTP
PTDIS	DIS
PTMAX	MAX
END JOB	END

MTP

PTMTP

ENTER 0 FOR KEYBOARD INPUT OR UNIT# FOR FILE INPUT.0

ENTER "0" FOR NO "PUNCH" OF OUTPUT CONCENTRATIONS,
OR UNIT NUMBER IF "PUNCH" IS DESIRED. 0
ENTER ALPHANUMERIC TITLE (UP TO 64 CHARACTERS)

?
MODEL. DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER, ECOPETROL
ENTER NUMBER OF SOURCES TO BE CONSIDERED. MAX 25

3
ENTER SOURCE STRENGTH (G/SEC) FOR EACH STACK
5.683
0.567
5.73

ENTER PHYSICAL HEIGHT (M) OF EACH STACK
50,55,62.28
ENTER GAS TEMPERATURE (DEG K) OF EACH STACK

462.65,464.85,973.15
IS VOLUME FLOW KNOWN FOR EACH STACK? YES OR NO
?

YES
ENTER VOLUME FLOW (M**3/SEC) FOR EACH STACK
175.84,98.5,27.4

ENTER COORDINATES (KM) OF EACH STACK. ORDERED PAIRS
18.92,18.903
18.99,18.903
19.42,16.330

ENTER NUMBER OF RECEPTORS TO BE PROCESSED. MAX 30
13
ENTER COORDINATES (KM) OF EACH RECEPTOR. ORDERED PAIRS
20,19.685
17.63,13.35
26,7.9
29.52,13.98
18.92,18.06
18.92,17.94
18.92,16.557
18.92,15.847
18.92,13.903
18.92,12.04
19.42,15.59
19.42,14.501
19.42,12.623

ENTER HEIGHT (M) ABOVE GROUND FOR EACH RECEPTOR

1, 20, 50, 50, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 50, 50
 ENTER NUMBER OF HOURS TO BE AVERAGED. MAX 24
 ;
 ENTER WIND DIRECTION (DEG) FOR EACH HOUR
), 0, 0, 0, 0, 0
 ENTER WIND SPEED (M/SEC) FOR EACH HOUR
 2, 2, 2, 2, 2, 3
 ENTER STABILITY CLASS FOR EACH HOUR
 1, 2, 3, 4, 5, 6
 ENTER MIXING HEIGHT (M) FOR EACH HOUR
 540, 640, 640, 640, 640, 640
 ENTER AMBIENT AIR TEMPERATURE (DEG K) FOR EACH HOUR
 303, 303, 303, 303, 303, 303
 DO YOU WANT PARTIAL CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO
 ?
 YES
 DO YOU WANT HOURLY CONCENTRATIONS PRINTED? YES OR NO
 ?
 YES

MODEL. DIOXIDO DE NITROGENO COLCLINKER, ECOPETROL
 MULTIPLE SOURCE MODEL DBT51, VERSION 78010

* * * S O U R C E S * * *

NO	Q (G/SEC)	HP (M)	TS (DEG K)	VS (M/SEC)	D (M)	VF (M**3/SEC)	R (KM)	S (KM)
1	5.68	50.0	462.6			175.8	18.920	18.903
2	.57	55.0	464.9			98.5	18.990	18.903
3	5.73	62.3	973.2			27.4	19.420	16.330

* * * R E C E P T O R S * * *

NO	RREC (KM)	SREC (KM)	Z (M)
1	20.000	19.685	4.0
2	17.630	13.350	20.0
3	26.000	7.900	50.0
4	29.520	13.980	50.0
5	18.920	18.060	4.0
6	18.920	17.940	4.0
7	18.920	16.557	4.0
8	18.920	15.847	4.0
9	18.920	13.903	4.0
10	18.920	12.040	4.0
11	19.420	15.590	4.0
12	19.420	14.501	50.0
13	19.420	12.623	50.0

* * * M E T E O R O L O G Y * * *

NO	THETA (DEG)	U (M/SEC)	KST	HL (M)	T (DEG K)
1	.0	2.0	1	640.	303.
2	.0	2.0	2	640.	303.
3	.0	2.0	3	640.	303.
4	.0	2.0	4	640.	303.
5	.0	2.0	5	640.	303.

6 .0 3.0 6 640. 303.

HOUR # 1

*** RECEPTOR NUMBER ***

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	.000E+00	7.286E-07	1.352E-10	.000E+00	6.083E-06	7.152E-06
2	375.	.000E+00	6.531E-08	1.609E-11	.000E+00	7.550E-07	7.714E-07
3	286.	.000E+00	1.442E-08	6.761E-12	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 8.083E-07 1.580E-10 .000E+00 6.838E-06 7.924E-06

HOUR # 1

*** RECEPTOR NUMBER ***

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	4.016E-06	3.190E-06	2.082E-06	1.586E-06	2.091E-06	1.874E-06
2	375.	3.957E-07	3.158E-07	2.071E-07	1.579E-07	2.286E-07	1.978E-07
3	286.	.000E+00	9.340E-11	2.145E-06	1.914E-06	1.171E-05	5.034E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

4.412E-06 3.506E-06 4.435E-06 3.657E-06 1.403E-05 7.106E-06

HOUR # 1

*** RECEPTOR NUMBER ***

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	1.523E-06
2	375.	1.566E-07
3	286.	2.720E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

4.399E-06

HOUR # 2

*** RECEPTOR NUMBER ***

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	.000E+00	4.668E-07	2.821E-13	.000E+00	1.966E-10	7.450E-10
2	375.	.000E+00	3.868E-08	3.812E-14	.000E+00	1.298E-09	8.860E-09
3	286.	.000E+00	2.923E-10	1.176E-15	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 5.057E-07 3.214E-13 .000E+00 1.495E-09 9.605E-09

HOUR # 2

*** RECEPTOR NUMBER ***

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	2.166E-06	3.021E-06	2.730E-06	2.093E-06	1.673E-06	2.035E-06
2	375.	3.945E-07	3.762E-07	2.728E-07	2.081E-07	2.308E-07	2.297E-07
3	286.	.000E+00	1.506E-18	1.936E-06	2.162E-06	1.353E-07	6.723E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

2.560E-06 3.397E-06 4.938E-06 4.463E-06 2.039E-06 8.988E-06

OUR # 2
 * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	1.844E-06
2	375.	1.941E-07
3	286.	3.713E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

5.751E-06

OUR # 3
 * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	.000E+00	4.901E-08	4.219E-20	.000E+00	3.840E-21	6.555E-20
2	375.	.000E+00	5.634E-09	8.029E-21	.000E+00	1.196E-16	2.429E-14
3	286.	.000E+00	4.109E-15	2.980E-25	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 5.465E-08 5.022E-20 .000E+00 1.196E-16 2.429E-14

OUR # 3
 * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	500.	2.708E-08	2.475E-07	1.428E-06	2.009E-06	1.014E-07	5.282E-07
2	375.	5.604E-08	1.599E-07	2.844E-07	2.637E-07	7.361E-08	1.585E-07
3	286.	.000E+00	3.003E-37	3.174E-07	2.058E-06	1.735E-12	2.221E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

8.312E-08 4.074E-07 2.030E-06 4.331E-06 1.750E-07 2.907E-06

OUR # 3
 * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 500. 1.265E-06
 2 375. 2.027E-07
 3 286. 5.085E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)
 6.552E-06

OUR # 4

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 500. .000E+00 1.304E-14 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00
 2 375. .000E+00 1.998E-13 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00
 3 286. .000E+00 2.057E-29 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)
 .000E+00 2.128E-13 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00

OUR # 4

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 500. 3.561E-22 2.443E-17 4.511E-12 4.336E-10 1.450E-17 1.012E-12
 2 375. 1.508E-15 6.794E-13 4.609E-10 4.910E-09 2.981E-13 2.203E-10
 3 286. .000E+00 .000E+00 1.681E-12 1.280E-08 .000E+00 3.442E-10

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)
 1.508E-15 6.795E-13 4.671E-10 1.814E-08 2.981E-13 5.655E-10

OUR # 4

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 500. 2.700E-10
 2 375. 3.840E-09
 3 286. 1.750E-07

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)
 1.791E-07

OUR # 5

* * R E C E P T O R N U M B E R * * *
 1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

176. .000E+00 5.873E-13 .000E+00 .000E+00 7.352E-22 1.096E-18
 160. .000E+00 2.494E-14 .000E+00 .000E+00 4.387E-20 2.142E-17
 148. .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 6.122E-13 .000E+00 .000E+00 4.460E-20 2.251E-17

OUR # 5

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	176.	2.391E-09	3.125E-08	5.029E-07	1.260E-06	2.439E-10	8.909E-08
2	160.	1.574E-09	1.293E-08	1.185E-07	2.368E-07	4.154E-10	4.345E-08
3	148.	.000E+00	.000E+00	6.212E-12	4.964E-08	4.680E-19	1.359E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

3.964E-09 4.418E-08 6.214E-07 1.547E-06 6.593E-10 1.491E-06

OUR # 5

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *

13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	176.	6.216E-07
2	160.	1.632E-07
3	148.	6.927E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

7.712E-06

OUR # 6

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *

1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	142.	.000E+00	1.345E-21	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	131.	.000E+00	9.622E-24	.000E+00	.000E+00	.000E+00	9.034E-25
3	124.	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 1.354E-21 .000E+00 .000E+00 .000E+00 9.034E-25

OUR # 6

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *

7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1	142.	7.913E-12	3.975E-10	2.535E-08	1.400E-07	3.911E-15	7.663E-10
2	131.	6.786E-12	2.138E-10	7.869E-09	3.331E-08	6.056E-14	1.297E-09
3	124.	.000E+00	.000E+00	2.611E-19	3.494E-11	.000E+00	3.366E-07

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.470E-11 6.113E-10 3.322E-08 1.734E-07 6.447E-14 3.387E-07

OUR # 6

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 142. 4.852E-08
2 131. 2.565E-08
3 124. 4.040E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

4.115E-06

AVERAGE CONCENTRATIONS FOR 6 HOURS.

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
1 2 3 4 5 6

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 142. .000E+00 2.074E-07 2.258E-11 .000E+00 1.014E-06 1.192E-06
2 131. .000E+00 1.827E-08 2.688E-12 .000E+00 1.260E-07 1.300E-07
3 124. .000E+00 2.452E-09 1.127E-12 .000E+00 .000E+00 .000E+00

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

.000E+00 2.281E-07 2.639E-11 .000E+00 1.140E-06 1.322E-06

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
7 8 9 10 11 12

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 142. 1.035E-06 1.082E-06 1.128E-06 1.181E-06 6.443E-07 7.546E-07
2 131. 1.413E-07 1.442E-07 1.485E-07 1.508E-07 8.892E-08 1.052E-07
3 124. .000E+00 1.557E-11 7.330E-07 1.033E-06 1.974E-06 2.612E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

1.177E-06 1.226E-06 2.010E-06 2.365E-06 2.707E-06 3.472E-06

* * * R E C E P T O R N U M B E R * * *
13

S HFIN PARTIAL CONCENTRATIONS (G/M**3)

1 142. 8.837E-07
2 131. 1.243E-07
3 124. 3.777E-06

TOTAL CONCENTRATION (G/M**3)

4.785E-06

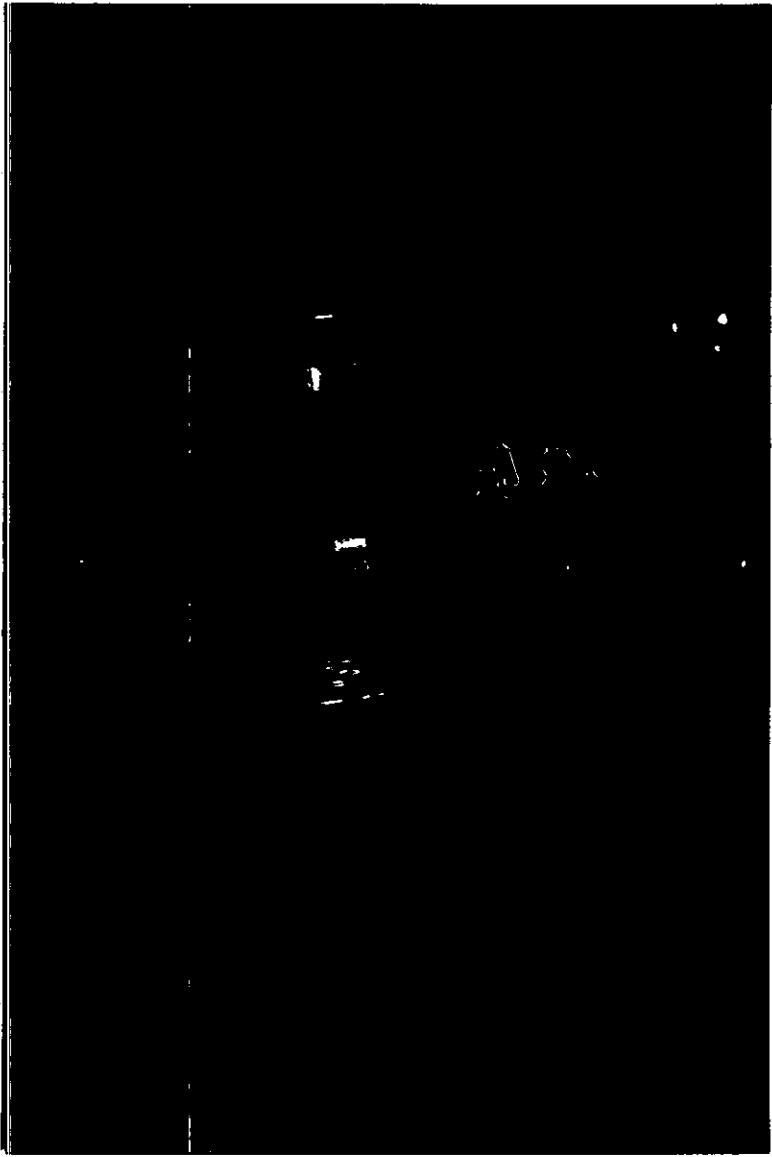
ENTER "SOURCES" OR "RECEPTORS" OR "METEOROLOGY" OR "END"

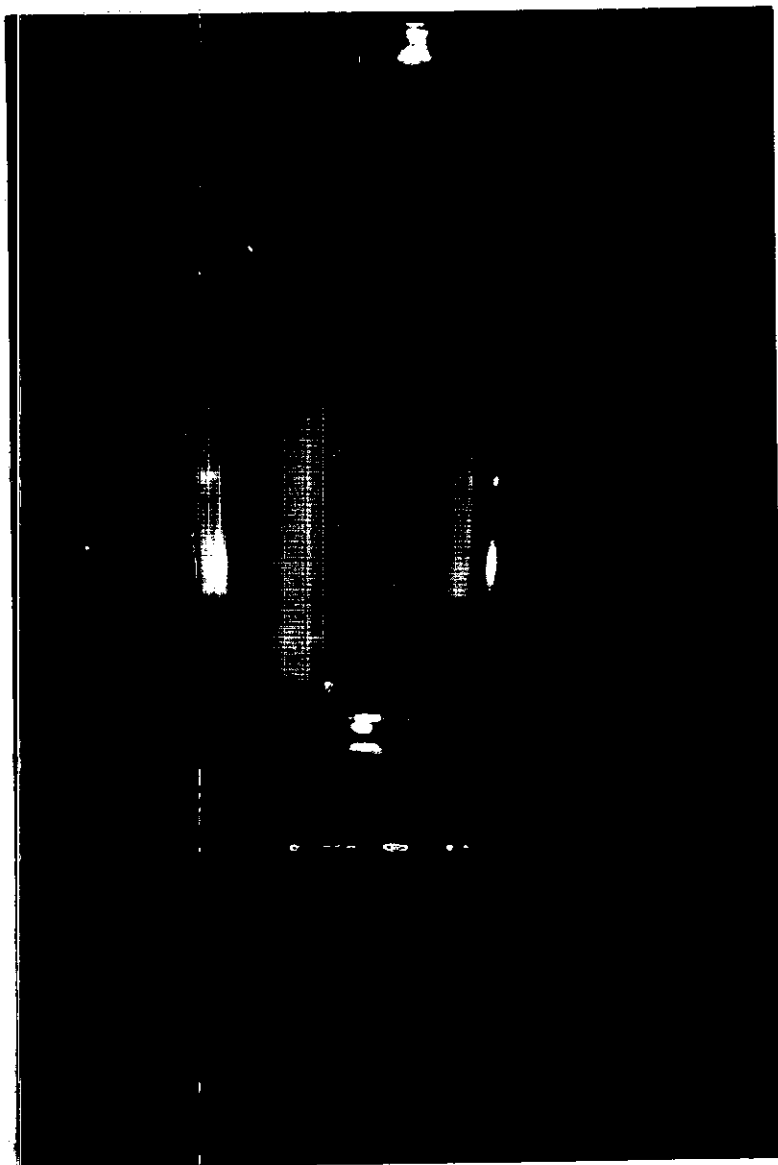
?
END

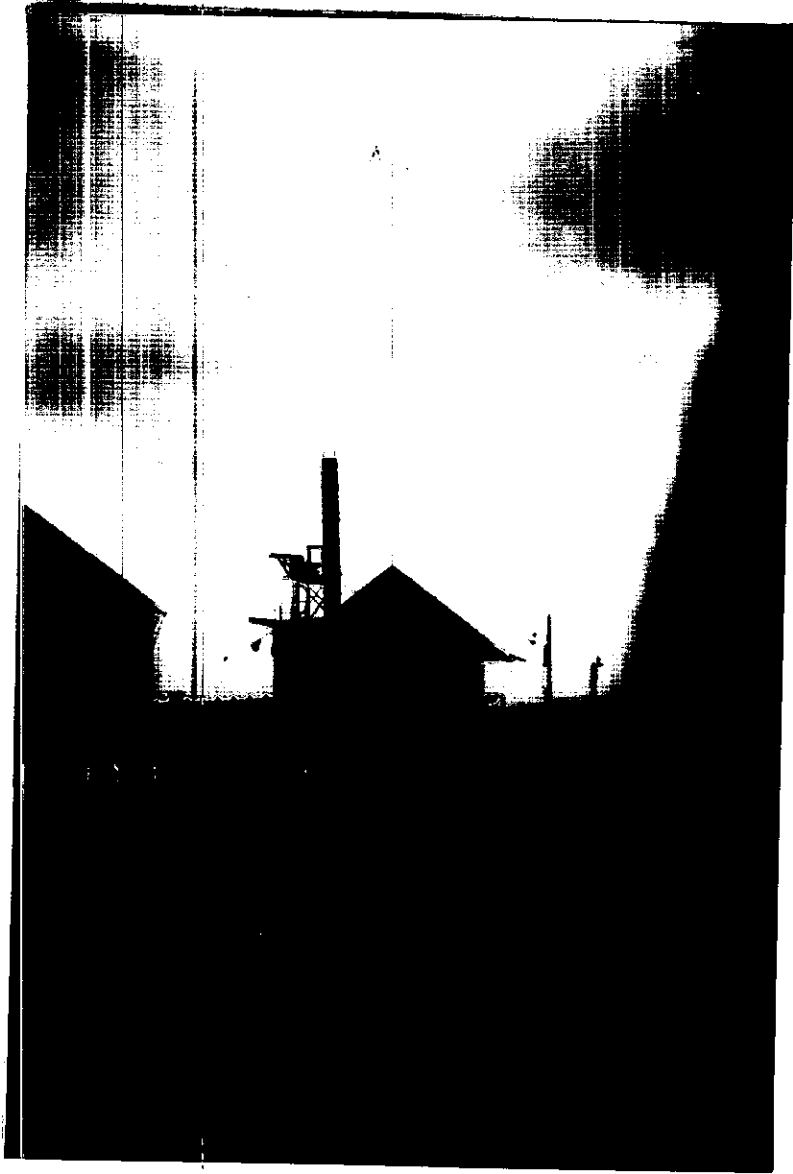
WELCOME TO EPA UNAMAP POINT SOURCE MODELS

ENTER THE APPROPRIATE CODE FOR THE DESIRED MODEL.

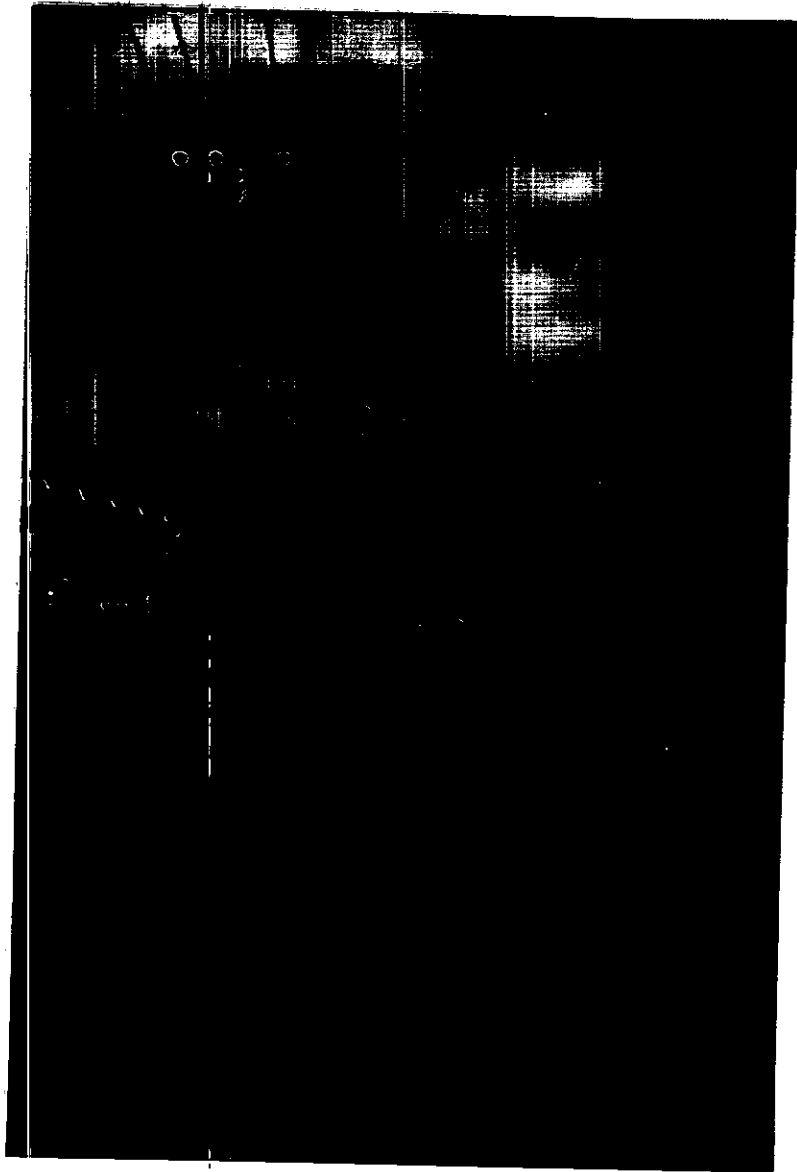
ANEXO G

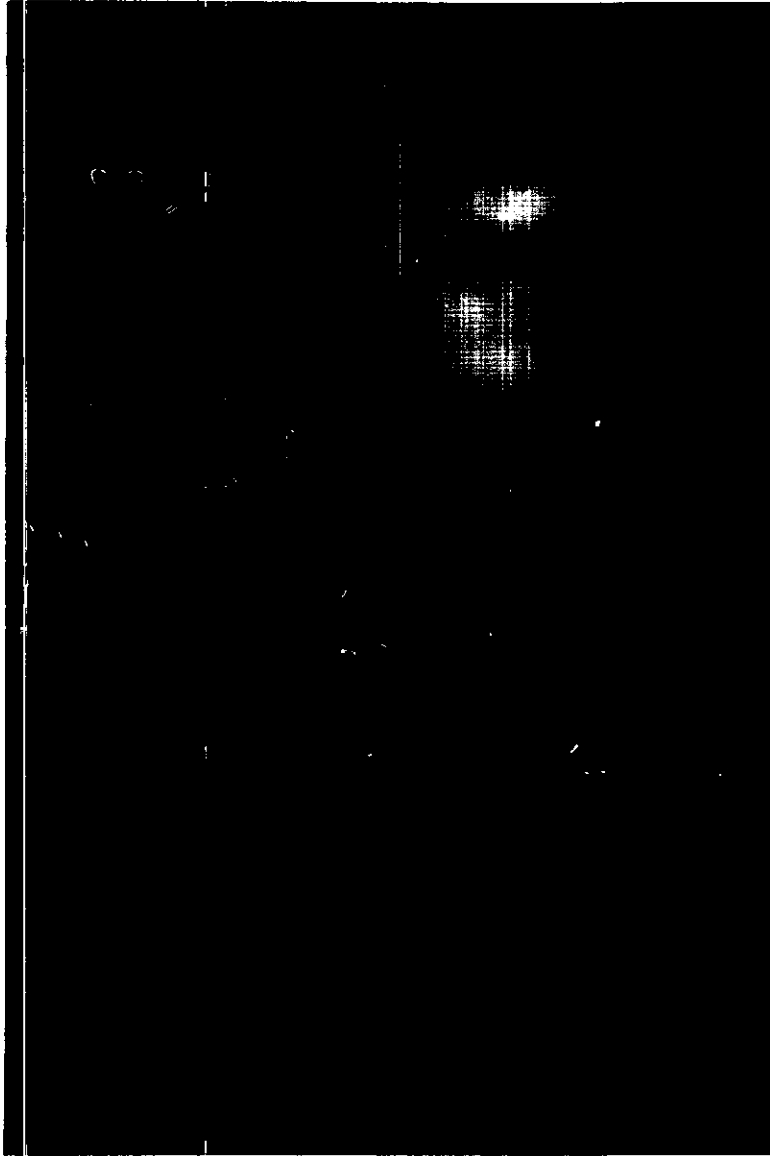


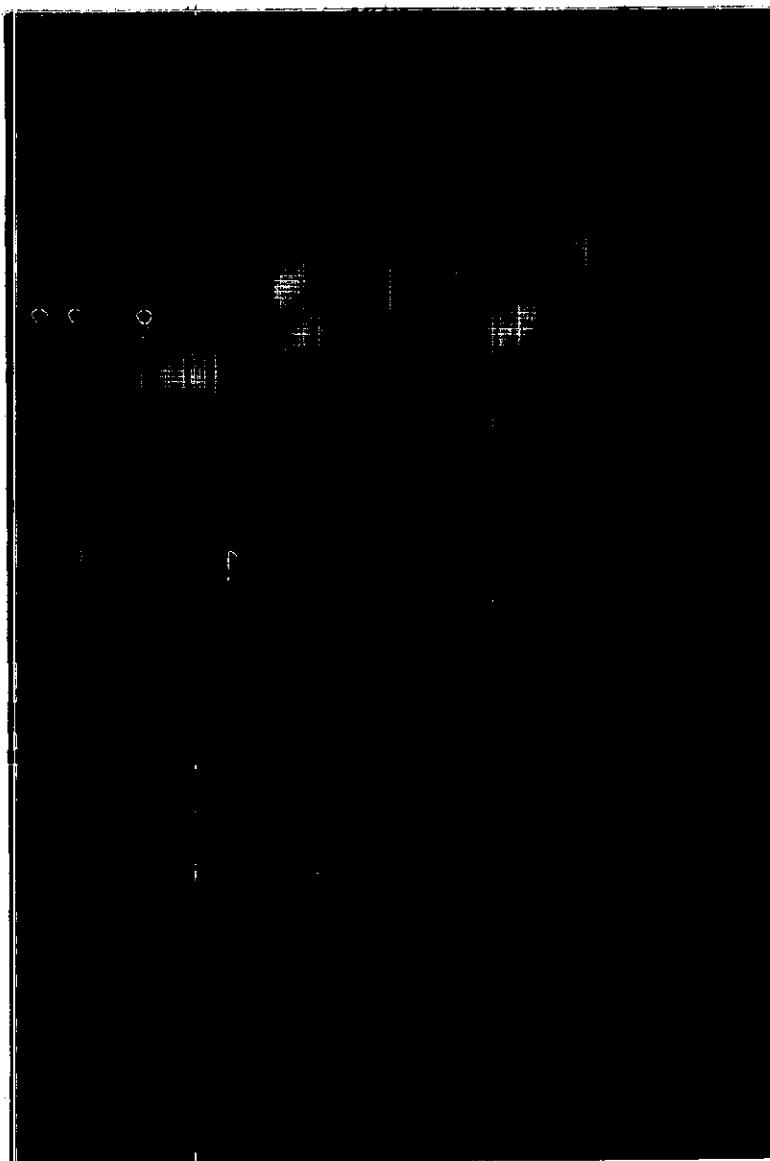


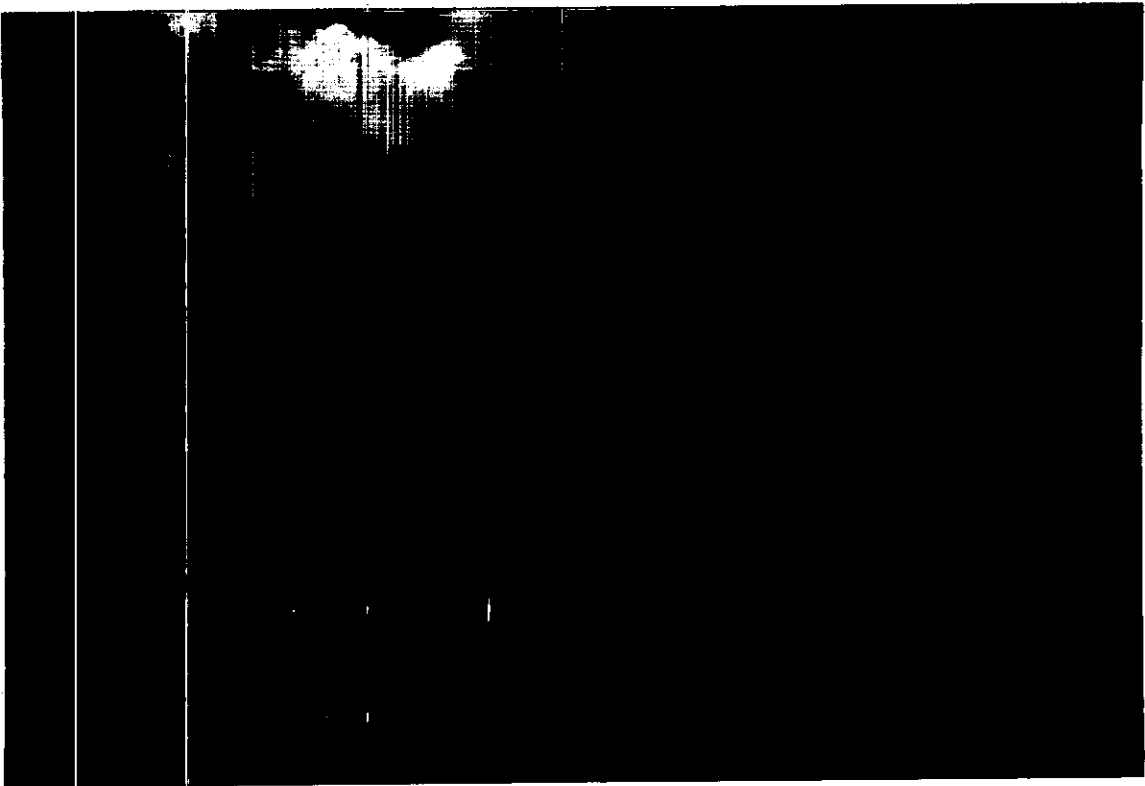
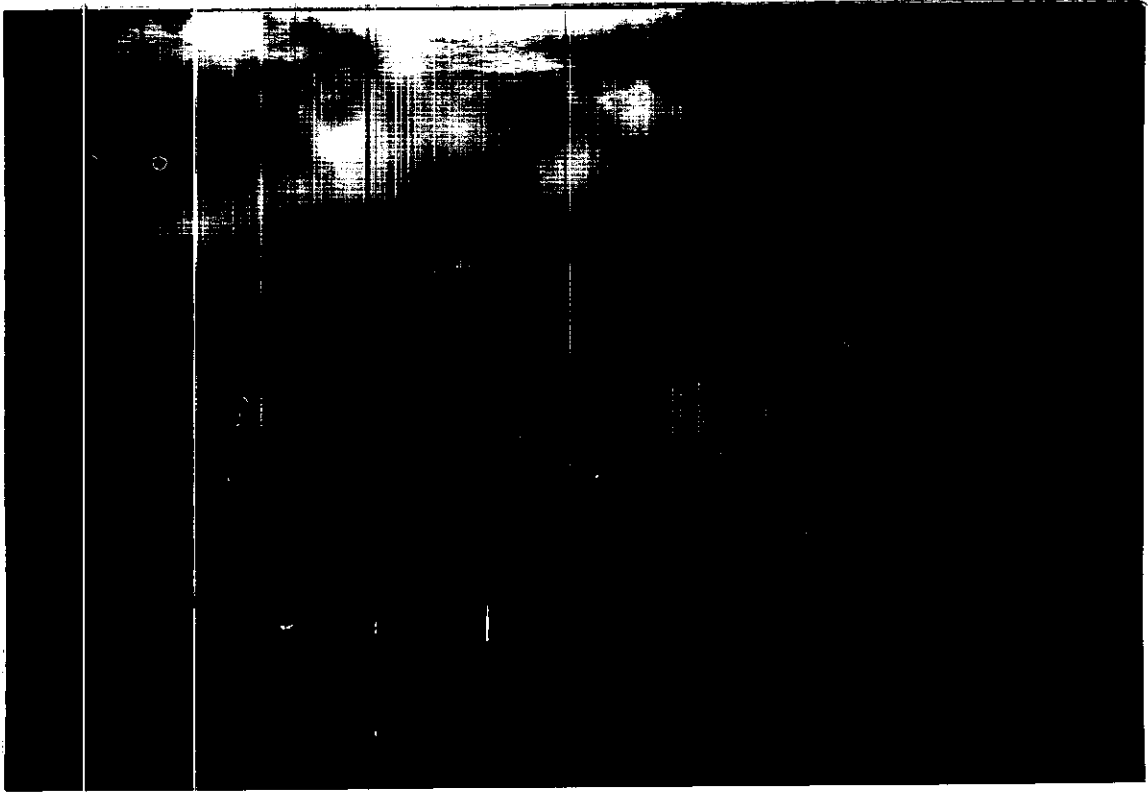


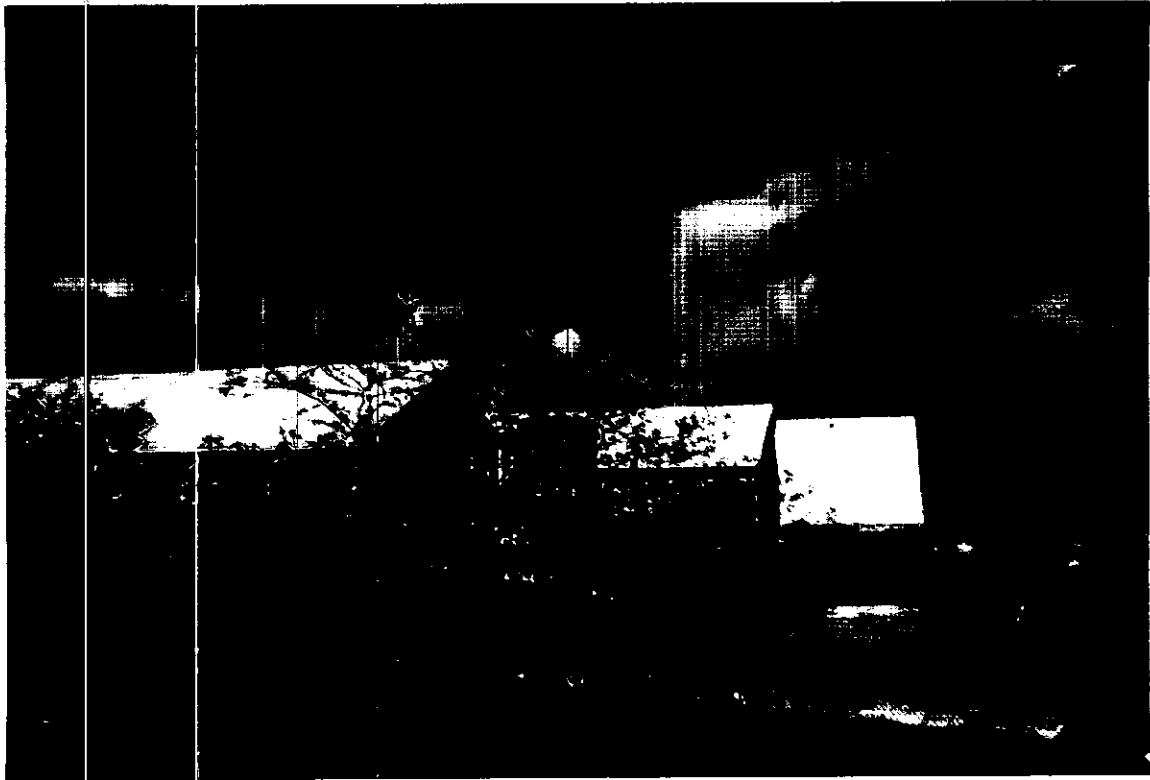
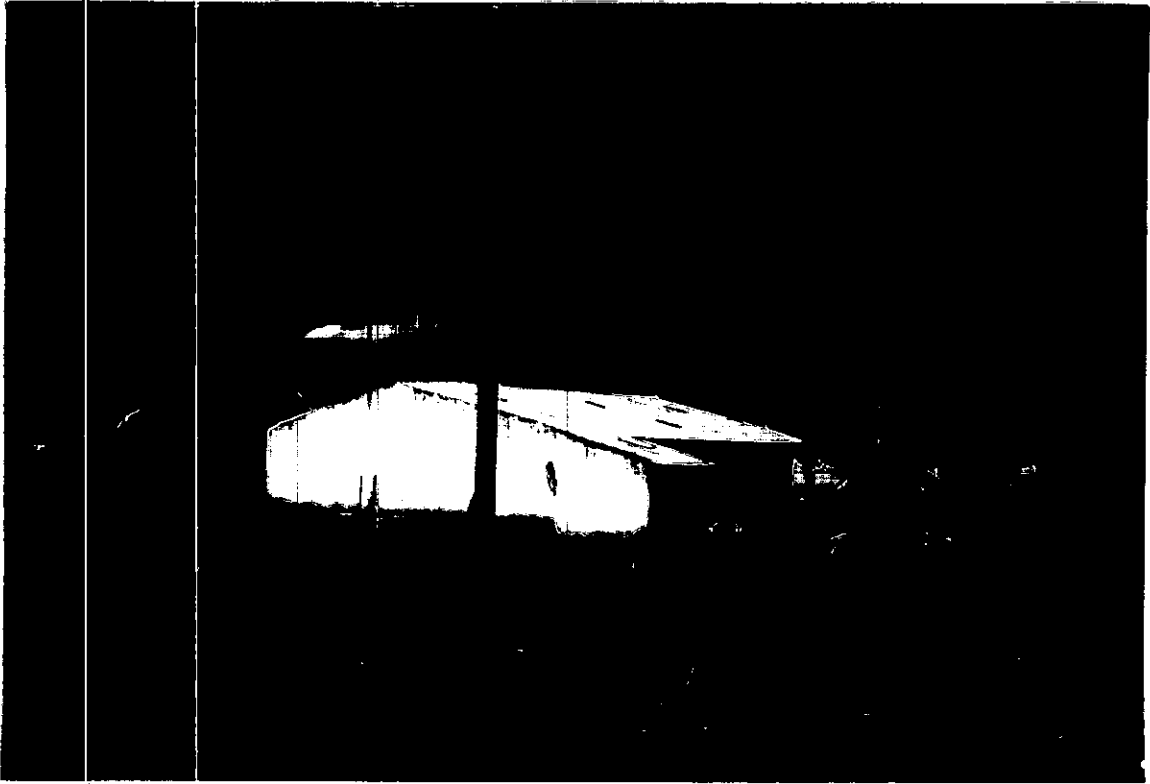












ANEXO H