



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

LA APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN EN LA
EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE POR
INSTALACIONES INDUSTRIALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

VICENTE HERNÁNDEZ LUIS



MÉXICO, D.F. 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Vocal	Prof. Rodolfo Torres Barrera
Secretario	Prof. Rodolfo Sosa Echeverría
1er. Suplente	Prof. Víctor Manuel Luna Pabello
2º. Suplente	Prof. Ramón Ramírez Martinell

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA. UNAM.

SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Nombre completo y firma del asesor del tema

Dr. Rodolfo Sosa Echeverría

Nombre completo y firma del supervisor técnico

Dr. Humberto Bravo Álvarez

Nombre completo y firma del sustentante

Vicente Hernández Luis

Gracias a DIOS:

Por morar en mi corazón, por ser la luz que ilumina mi camino en todo momento, quien me libra de mis angustias y da paz y armonía a mi vida.

“Bien aventurado el hombre que halla sabiduría y obtiene inteligencia, por que su ganancia es mejor que la ganancia de la plata, y sus frutos más que el oro fino”

Proverbios 3: 13-14

DEDICATORIAS

A los seres queridos que ya no están conmigo y a los que aún me acompañan, por que han sido una pieza importante en mi vida. Los llevo en mi corazón, esto es para ustedes con todo mi amor.

A mis padres que me dieron la vida y me guiaron con sabiduría

Mi Padre Felipe de Jesús Hernández Cruz .quien me enseñó lo bella que es la vida cuando se vive con tranquilidad y paciencia.

Mi Madre Beatriz Luis Ruiz, quien me demostró que las metas se logran con carácter.

A mi segunda madre Margarita Hernández Luis, por que siempre creyó en mí y me impulsó a ser el mejor.

A mis queridos hermanos Paty, Lupis, Cris, Feli y Ale, Gracias por ser mis hermanos y por el apoyo que siempre me han dado.

A mi compañera de aventuras buenas y malas, Miriam García (MIMUSA), gracias por el apoyo incondicional.

A mis hermanos adoptivos. Ivonne, Claudia, Blanca y no menos importante Martín.

A mis sobrinos. Donovan, Itzel, Quetzalli Nitzia, Otocani, Dante y Sarai. Por que nunca me han dejado olvidar qué es el ser niño, los amo.

A todos ustedes gracias, los amo con todo mi ser.

A Gabriela Domínguez y, Jorge Santacruz Morhy quienes han sido mas que mis amigos, gracias por estar conmigo en los momentos mas dificiles de mi vida.

A mis amigos, Ana Luisa Alarcón, Elizabeth Cruz, Valeria Ramírez, Olga González, Jenny Rojas. Mónica Arévalo, Alejandro David, Héctor Moran, Eduardo Vázquez, Martha Rivera, Juan Marín, Salomón, Abigail, Miguel Ángel Delgadillo, Jorge García, Gilberto Fuentes, Roberto Galicia, Sugey Rangel, Christian Anaya, Juan Fco. Gordo.

La Lista Sigue pero el tiempo apremia. Gracias por su Amistad espero que nos volvamos a ver pronto.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Bravo Álvarez jefe de la Sección de Contaminación Ambiental, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por la escuela que me ha encaminado.

Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría de la Sección de Contaminación Ambiental, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por su apoyo y su amistad.

A la M en I. Mónica Jaimes de la Secretaria del Medio Ambiente (SMA), por los conocimientos brindados en materia de modelos de dispersión para la realización de esta tesis, por su apoyo y su amistad.

Al Dr. Ernesto Caetano del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Química de la UNAM

Al Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Vallejo

No a los Edificios, si no a las personas que lo construyeron, a quienes han enseñado y aprendido dentro de ellos.

Al Ing. Jorge Alcalá por ser un ejemplo de carácter y brindarme la oportunidad de ser útil a la sociedad y a mi país.

Al Ing. Eduardo Buendía por ser un ejemplo de dedicación y compromiso con el trabajo.

A la Ing. Araceli Acosta por ser mi guía y maestra en el trabajo.

A mis Profesores de la Facultad de Química.

Al profesor José Antonio Ortiz Ramírez, por que sus palabras dieron su fruto en su tiempo.

Al personal de la Sección de contaminación Ambiental (SCA): Biólogo. Pablo Sánchez Álvarez, Química de Alimentos. Ana Luisa Alarcón, Roberto Galicia.

A mis demás compañeros de la SCA por su apoyo y colaboración: Jorge Santacruz, Gabriela Domínguez, Pedro Nieto, Elizabeth Cruz, Ruth Hernández, Valeria Ramírez, Laura Negrete, Olga González, Jenny Rojas. Dr. Rogelio Soto, Juan Marín, Miguel Ángel Delgadillo, Jorge García, Gilberto Fuentes.

LA APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN EN LA EVALUACIÓN DEL
IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE POR INSTALACIONES INDUSTRIALES

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	10
NOMENCLATURA	12
RESUMEN EJECUTIVO	13
1.- INTRODUCCIÓN	15
META	15
OBJETIVOS	15
2.- ANTECEDENTES	16
2.1 Modelo	16
2.1.1 Modelo numérico	16
2.1.2 Modelos de dispersión	17
2.2 Utilidad de los modelos	18
2.3 Niveles de sofisticación de los modelos de dispersión	19
2.4 Disponibilidad de los modelos	19
2.5 Normas de calidad del aire	20
3.- MODELO MATEMÁTICO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES	22
3.1 Modelos Matemáticos de Calidad del Aire	22
3.2 Modelos de dispersión de calidad del aire	22
3.3 MODELO GAUSSIANO DE DISPERSIÓN.	24
3.4 Meteorología	27
3.4.1 Estabilidad atmosférica.	27
3.4.2 Velocidad del viento	31
3.4.3 Dirección del viento	31
3.4.4 Temperatura	31
3.4.5 Altura de capa de mezclado	32
3.5 Orografía	32
4.- REQUERIMIENTOS LEGALES DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN EN MÉXICO	33
4.1 Legislación en México en materia de aplicación de modelos	34
5.- MODELOS RECOMENDADOS POR LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA (USEPA)	38
5.1 SCREEN	38
5.2 BUOYANT LINE AND POINT SOURCE DISPERSION MODEL (BLP)	40
5.3 CALPUFF	42
5.4 OFFSHORE AND COASTAL DISPERSION MODEL (OCD)	46
5.5 COMPLEX TERRAIN DISPERSION MODEL PLUS ALGORITHMS FOR UNSTABLE SITUATIONS (CTDMPLUS)	48
5.6 INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3)	49
5.7 AMS/EPA REGULATORY MODEL (AERMOD)	51
6.- MODELO RECOMENDADO PARA FUENTES INDUSTRIALES	55
6.1 ISC	55
6.1.1 Entradas (INPUT).	56
6.1.2 Salidas (OUTPUT).	56
7.- CASO EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MODELO "INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX" (ISC)	57
7.1 Industria de generación de energía eléctrica	57
7.2 Proceso de combustión para la generación de energía eléctrica, caso 1: Combustóleo.	63

7.3 Proceso de combustión para la generación de energía eléctrica, caso 2: Gas natural.	66
7.4 Características generales del proceso	70
7.4.1 Características físicas	70
7.5- Modelación ISCST3.	71
7.5.1 Datos alimentados al modelo	76
7.5.1.1 Datos de control	76
7.5.1.2 Datos de la fuente	76
7.5.1.3 Meteorología	76
7.5.1.4 Receptores	76
7.6 Diagrama de flujo para la aplicación del modelo en los casos ejemplo	77
8.-RESULTADOS	78
8.1 Combustóleo	80
8.1.1 Combustóleo terreno complejo, NO ₂	80
8.1.2 Combustóleo terreno complejo, SO ₂ , 24 horas	83
8.1.3 Combustóleo terreno complejo, SO ₂ , anual	86
8.1.4 Combustóleo terreno complejo, partículas, 24 horas	89
8.1.5 Combustóleo terreno complejo, partículas, anual	92
8.2. Combustóleo terreno plano	95
8.2.1- Combustóleo terreno plano, NO ₂	95
8.2.2 Combustóleo terreno plano, SO ₂ 24 horas	98
8.2.3 Combustóleo terreno plano, SO ₂ anual	101
8.2.4 Combustóleo terreno plano, partículas, 24 horas	104
8.2.5 Combustóleo terreno plano, partículas, anual	107
8.3.- Gas natural terreno complejo	110
8.3.1- Gas natural terreno complejo, NO ₂	110
8.4.- Gas natural terreno plano	113
8.4.1- Gas natural terreno plano, NO ₂	113
9.- ANALISIS DE RESULTADOS	116
9.1 Combustóleo	116
9.1.1 Resultados combustóleo terreno complejo	116
9.1.2 Resultados combustóleo terreno plano	117
9.2 Gas natural	118
9.2.1 Resultados gas natural terreno complejo	118
9.2.2 Resultados gas natural terreno plano	118
9.3 Combustóleo terreno complejo vs terreno plano	119
9.4 Gas natural terreno complejo vs terreno plano	120
9.5 Combustóleo vs gas natural.	120
9.6 Relación terreno complejo vs terreno plano	121
9.7 Comparativa de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano	122
9.8 Relación terreno complejo vs terreno plano y combustóleo vs gas natural de NO ₂	123
9.9 Distancia de la fuente al valor máximo.	124
10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
GLOSARIO	131
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXO	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Estructura del modelo de dispersión	17
Figura 3-1 Curva de distribución de Gauss.	24
Figura 3.2 Sistema de coordenadas para mostrar la distribución de Gauss, horizontal y vertical.	25
Figura 3-3. Coeficientes de dispersión horizontal y vertical	28
Figura 3-4. Pluma de espiral	29
Figura 3-5. Pluma de abanico	29
Figura 3-6. Pluma de cono	30
Figura 3-7. Pluma de flotación	30
Figura 3-8. Fumigación	31
Figura 4-1 Marco Jurídico en Materia Ambiental	35
Figura 7.1 Capacidad efectiva instalada de generación	57
Figura 7.2 Generación por fuente	57
Figura 7.3 Transformación de la energía	61
Figura 7.4 Esquema de una central termoeléctrica tipo vapor	62
Figura 7.5 Esquema para uso de combustóleo	65
Figura 7.6 Esquema del proceso de ciclo combinado (CC)	67
Figura 7.7 Ciclo Brayton	68
Figura 7.8 Ciclo Rankine.	69
Figura 7-9 Diagrama de Flujo de Trabajo	77
Figura 8-1 Rosa de Vientos	79
Figura 8-2, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO ₂ , producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo	80
Figura 8-3, 1° Máximo de las concentraciones horario de SO ₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo	83
Figura 8-4, 1° Máximo de la concentración anual de SO ₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo	86
Figura 8-5, 1° Máximo de las concentraciones horario de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo	89

Figura 8-6, 1° Máximo de la concentración anual de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo	92
Figura 8-7, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO ₂ , producto de la combustión de combustóleo en terreno plano	95
Figura 8-8, 1° Máximo de las concentraciones horario de SO ₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno plano	98
Figura 8-9, 1° Máximo de la concentración anual de SO ₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno plano	101
Figura 8-10, 1° Máximo de las concentraciones horario de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno plano	104
Figura 8-11, 1° Máximo de la concentración anual de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno plano	107
Figura 8-12, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO ₂ , producto de la combustión de gas natural en terreno complejo	110
Figura 8-13, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO ₂ , producto de la combustión de gas natural en terreno plano	113
Figura 9-1, Terreno complejo vs terreno plano 2 chimeneas	121
Figura 9-2, Terreno complejo vs terreno plano 4 chimeneas	121
Figura 9-3, Terreno complejo vs terreno plano 6 chimeneas	122
Figura 9-4, Comparación de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano 2 chimeneas.	123
Figura 9-5, Comparación de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano 4 chimeneas.	123
Figura 9-6, Comparación de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano 6 chimeneas.	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1, Normas de Calidad del Aire.	21
Tabla 3-1. Clave para las categorías de estabilidad	27
Tabla 4-1, Lista de Normas de Calidad del Aire	37
Tabla 7-1 Capacidad instalada y Generación	58
Tabla 7-2 Centrales en construcción.	59
Tabla 7-3 Centrales Termoeléctricas.	60
Tabla 7-4 Emisiones del Combustóleo.	64
Tabla 7-5 Emisiones del Gas Natural.	66
Tabla 7-6 Escenarios a Modelar.	71
Tabla 7-7 Principales contaminantes emitidos a la atmósfera producto de la combustión de dos tipos combustible	72
Tabla 7-8 Emisiones	75
Tabla 8-1. Escenarios Simulados	78
Tabla 9-1 Concentraciones de SO ₂ , (24 horas)	116
Tabla 9-2 Concentraciones de SO ₂ , (anual)	116
Tabla 9-3 Concentraciones de Partículas (24 horas)	116
Tabla 9-4 Concentraciones de Partículas (anual)	116
Tabla 9-5 Concentraciones de NO ₂	117
Tabla 9-6 Concentraciones de SO ₂ , (24 horas)	117
Tabla 9-7 Concentraciones de SO ₂ , (anual)	117
Tabla 9-8 Concentraciones de Partículas (24 horas)	117
Tabla 9-9 Concentraciones de Partículas (anual)	118
Tabla 9-10 Concentraciones de NO ₂	118
Tabla 9-11 Concentraciones de NO ₂	118
Tabla 9-12 Concentraciones de NO ₂	118
Tabla 9-13 Terreno complejo vs terreno plano, SO ₂ (24 horas)	119
Tabla 9-14 Terreno complejo vs terreno plano, SO ₂ (anual)	119
Tabla 9-15 Terreno complejo vs terreno plano, Partículas (24 horas)	119
Tabla 9-16 Terreno complejo vs terreno plano, Partículas (anual)	119
Tabla 9-17 Terreno complejo vs terreno plano, NO ₂	120
Tabla 9-18 Terreno complejo vs terreno plano, NO ₂	120
Tabla 9-19 Terreno complejo, Combustóleo vs gas natural, NO ₂	120
Tabla 9-20 Terreno plano, Combustóleo vs gas natural, NO ₂	120
Tabla 9-21 Comparat de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano.	122
Tabla 9-22 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO ₂ horario, para el uso combustóleo en terreno complejo	129

Tabla 9-23 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO ₂ anual, para el uso combustóleo en terreno complejo	124
Tabla 9-24 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de Partículas para el uso combustóleo en terreno complejo	125
Tabla 9-25 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO ₂ horario, para el uso combustóleo en terreno complejo	125
Tabla 9-26 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO ₂ horario, para el uso combustóleo en terreno plano	125
Tabla 9-27 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO ₂ anual, para el uso combustóleo en terreno plano	125
Tabla 9-28 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de Partículas para el uso combustóleo en terreno plano	125
Tabla 9-29 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO ₂ horario, para el uso combustóleo terreno plano	126
Tabla 9-30 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO ₂ horario, para el uso gas natural en terreno complejo	126
Tabla 9-31 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO ₂ horario, para el uso gas natural en terreno plano	126

NOMENCLATURA

CCA: Centro de Ciencias de la Atmósfera.

CFE: Comisión Federal de Electricidad.

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

DICA: Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire.

GDF: Gobierno del Distrito Federal

INE: Instituto Nacional de Ecología.

LGEEPA: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

NMX: Norma Mexicana.

NOM: Norma Oficial Mexicana

NOx: Óxidos de Nitrógeno.

SOx: Óxidos de Azufre

PEMEX: Petróleos Mexicanos

ppm: partes por millón.

PROAIRE: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México

REDMET: Red de Meteorología.

SENER: Secretaría de Energía

SMA: Secretaría del Medio Ambiente.

SCA: Sección de Contaminación Ambiental.

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo industrial en México ha beneficiado la economía del país, sin embargo las industrias son fuentes potenciales de contaminación ambiental y más específicamente de emisiones a la atmósfera.

Con el fin de evitar o reducir el impacto por alguna actividad industrial, se requiere el estudio de impacto ambiental, que entre otros aspectos requiere de la evaluación del impacto potencial en la calidad del aire. Para realizar este estudio se necesita hacer uso de herramientas como los modelos de dispersión atmosféricos para estimar dicho impacto potencial por la operación de una o varias industrias.

La aplicación de un modelo de dispersión es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de una gran cantidad de información generada por diferentes fuentes, tales como: emisiones, características físicas, condiciones de la chimenea, meteorología del lugar, orografía, etc.

Es necesario tener la información verídica tanto de las condiciones meteorológicas, así como de la orografía del sitio de estudio. Cabe mencionar que estas condiciones, mantienen una relación importante entre si, esto es que las condiciones micrometeorológicas van a verse influenciadas por la orografía.

El uso de variables reales como datos de entrada al modelo es fundamental para obtener resultados satisfactorios para la toma de decisiones en el impacto negativo en la salud, en los ecosistemas, materiales, a la visibilidad, etc., y realizar medidas correctivas para mitigar el impacto en la salud de la población y en los costos asociados a los problemas generados por la contaminación atmosférica.

Cuando las instalaciones industriales no se han construido o aún no se encuentran en operación, la herramienta de simulación que es un modelo de dispersión es útil y apoya la filosofía de prevención, ya que con anticipación se pueden tomar las medidas correctivas necesarias.

Con el apoyo de los modelos de dispersión y ya cuando las instalaciones industriales se encuentran operando, se podrían ubicar en la zona de influencia estaciones de monitoreo de calidad del aire para evaluar la calidad del aire real, así como el impacto de una o mas fuentes de contaminación. A su vez esta evaluación de la calidad del aire servirá para validar el modelo de dispersión aplicado.

Con el presente trabajo de tesis, se pretende realizar un estudio general sobre los modelos de dispersión existentes para evaluar el impacto en la calidad del aire y llevar a cabo un estudio más particular sobre modelos aplicables en la industria. Así mismo se trabaja con una industria representativa de nuestro país, que es la industria de generación de energía eléctrica, tomando como caso ejemplo las centrales termoeléctricas que consumen combustóleo y que emiten principalmente SO_2 , NO_x y Partículas; así como centrales de ciclo combinado (CCC) que utilizan gas natural, las cuales han cobrado gran auge recientemente y que emiten principalmente NO_x . Por la importancia que representa la orografía se realizaron simulaciones para terreno plano y terreno complejo. El modelo aplicado en el presente trabajo fue el ISCST3 (Industrial **S**ource **C**omplex **S**hort **T**erms).

Los modelos de dispersión en su mayoría son investigados y discutidos en la guía presentada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Los códigos, la documentación asociada y otra información útil están disponibles para la transferencia directa del centro de ayuda de la USEPA para regulación de los modelos de calidad del aire Support Center for Regulatory Air Modeling (SCRAM).

El análisis de los modelos propuestos por la USEPA, recomienda, que el uso de un modelo de calidad del aire específico para la evaluación del impacto de una fuente de emisión a la atmósfera depende de varios factores:

1. La complejidad meteorológica y orográfica del área de estudio.
2. Su nivel de detalle, y exactitud requerido en el cálculo de las concentraciones.
3. La capacidad técnica y de interpretación del personal que participa en el estudio.
4. La factibilidad económica necesaria para la aplicación del modelo.
5. La calidad de la información requerida y disponible para aplicar modelos de simulación.
6. Aplicar el modelo seleccionado solo cuando se cuente con la información clara y precisa que requiere dicho modelo.

Al considerar el empleo de gas natural en ciclo combinado CC y de combustóleo, como combustibles en el proceso de generación eléctrica y la repercusión que tienen estos en las emisiones a la atmósfera, se deduce que el uso de gas natural tiene como contaminantes de estudio a los óxidos de nitrógeno y el combustóleo a los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y las partículas; por lo cual se concluye que el gas natural en ciclo combinado CC es menos contaminante en comparación con el combustóleo. Por otra parte es importante considerar la influencia que tiene la orografía así como la meteorología en la dispersión de los contaminantes ya que cuando la orografía presenta un terreno plano la distancia de transporte de los contaminantes es mayor en comparación que cuando se presenta un terreno complejo, considerando todos los otros parámetros constantes.

INTRODUCCIÓN

Un modelo de dispersión atmosférico es una herramienta fundamental para la estimación de concentraciones provenientes de diversas fuentes, su aplicación es de gran importancia y cumple con diferentes propósitos como: selección de sitios para ubicar estaciones de monitoreo, diseño de chimeneas, desarrollar estrategias de control, evaluación del impacto ambiental, impacto en la calidad del aire, etc.

El presente estudio tiene como propósito ilustrar diferentes aplicaciones, así como los factores que influyen en el resultado de los modelos de dispersión en el aire ambiente de uno o varios contaminantes de interés.

Los casos que se presentan son ejemplos y no representan exactamente una situación real, sin embargo si nos permiten identificar los modelos y determinar con base en los resultados de su aplicación, la comparación entre terreno plano y terreno complejo, así como las consecuencias en la calidad del aire por el uso de combustóleo y de gas natural en la generación de energía eléctrica.

La Evaluación del Impacto Ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras e identificación de actividades que puedan causar problemas ecológicos o rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente, preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente (Art. 3º, Fracc. XX, LGEEPA). **(SEMARNAT)**. El impacto en la calidad del aire indica que tan limpio o contaminado está el aire debido al funcionamiento de una o varias fuentes de contaminación y que medidas de mitigación se deben seguir para prevenir o reducir dicho impacto. Se enfoca principalmente en los efectos a la salud en la población ocasionados por la frecuencia y los periodos de exposición al aire contaminado. Se realizará la comparación entre los niveles de concentración de contaminantes ocasionados por la operación de una o mas industrias con los límites permisibles de exposición establecidos en las normas mexicanas de calidad del aire.

META.

Presentar los modelos de dispersión aplicables en la evaluación del impacto en la calidad del aire por industrias.

OBJETIVOS.

1. Investigar los modelos de dispersión mas reconocidos para evaluar el impacto en la calidad del aire por una o más fuentes de contaminación atmosférica.
2. Presentar los modelos de dispersión aplicables para el caso de instalaciones industriales.
3. Determinar los requerimientos que sobre modelos de dispersión existen en México.
4. Tomar como caso ejemplo a la industria eléctrica considerando dos combustibles, combustóleo y gas natural. Asimismo se considerarán dos situaciones en relación a la orografía, terreno plano y terreno complejo.
5. Establecer conclusiones y recomendaciones para la aplicación de los modelos de dispersión para el caso de la industria en México.

2.-ANTECEDENTES

Los modelos de dispersión se han convertido en una herramienta indispensable para el estudio de la contaminación atmosférica y la planeación urbana e industrial. Desde el punto de vista de la dispersión de contaminantes, la modelación se utiliza para saber, entre otras cosas, cómo varía en el tiempo y el espacio la concentración de una sustancia de interés identificada como un contaminante, con el propósito de predecir y analizar la calidad del aire y de esta forma colaborar en las decisiones políticas y de planificación respecto a la gestión, mediante el desarrollo de planes, programas, proyectos y normas de emisión o calidad del aire. **(Bustos, 2004)**

En la República Mexicana, se ha presentado un problema grave en materia de contaminación ambiental debido a la actividad industrial presente y a la problemática que se deriva de ésta, afectando el entorno principalmente donde la concentración de la población y la industria tienen mayor presencia. En México; la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT a nivel Federal, y la Secretaría del Medio Ambiente SMA del Gobierno del Distrito Federal son los organismos gubernamentales encargados de la aplicación de técnicas para el estudio de calidad del aire encaminadas al control de las emisiones y el mejoramiento de la calidad del aire.

2.1 Modelo

Modelo: es la representación esquemática o conceptual de un fenómeno, que representa una teoría o hipótesis de cómo dicho fenómeno funciona. Los modelos normalmente describen, explican y predicen el comportamiento de un fenómeno natural o componentes del mismo.

Por lo tanto un modelo se puede describir como la reproducción o simulación de un sistema, que con la ayuda de herramientas de tipo matemático, variables y ecuaciones, representan lo más cercano a la realidad.

2.1.1 Modelo numérico

Un modelo numérico es un algoritmo matemático que intenta describir fenómenos que suceden en la naturaleza. Se trata de una herramienta que nos ayuda al estudio de parámetros de interés científico. El algoritmo matemático de un modelo es traducido a un lenguaje de programación para ser utilizado mediante equipo de cómputo **(SMA, 2005)**.

La utilización de estos modelos permite llevar a cabo estudios preliminares previos a la realización de una campaña experimental para analizar el problema a investigar y conocer los parámetros que van a gobernar dicho problema. Permiten obtener de forma aproximada los resultados previsibles en el ensayo y poder adoptar el esquema de instrumentación más adecuado en cada experimento. Dicho estudio preliminar solo puede realizarse mediante la utilización de un modelo numérico que considere todas las variables que intervienen en el problema **(SMA, 2005)**.

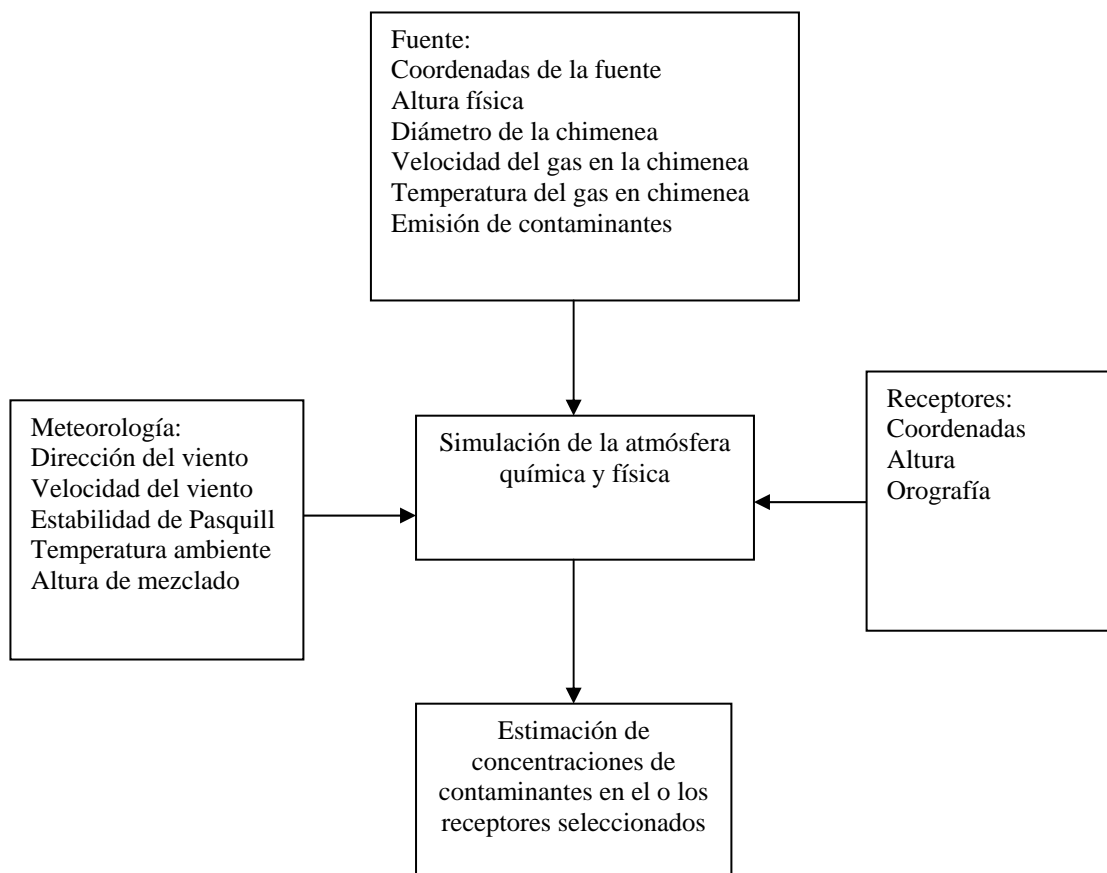
2.1.2 Modelos de dispersión

Los modelos de dispersión son un método para calcular la concentración de contaminantes a nivel del suelo y a diversas distancias de la fuente. En la elaboración de modelos se usan

representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de contaminantes. Las computadoras, mediante modelos, facilitan la representación de los complejos sistemas que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.

Cuando se aplica un modelo de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera se recopila información específica sobre la fuente de emisión. Esta información incluye la ubicación del punto de emisión (longitud y latitud), la cantidad y tipo de contaminantes emitidos, condiciones de la corriente gaseosa de la chimenea, altura de la chimenea y factores meteorológicos tales como la velocidad del viento, perfil de la temperatura ambiente y presión atmosférica. Los científicos usan esta información como datos de entrada al modelo de computación y para predecir cómo los contaminantes se dispersarán en la atmósfera. Los niveles de concentración pueden calcularse a diversas distancias y direcciones de la chimenea y alimentarse con información de la zona de estudio (meteorología y orografía, así como condiciones de la fuente estudiada. fig. 2.1.

Fig. 2.1 Estructura de un modelo de dispersión



Los modelos de dispersión tienen muchas aplicaciones en el control de las emisiones, pues son herramientas que ayudan a los científicos a evaluar la dispersión de los contaminantes. La exactitud de los modelos está limitada por los problemas inherentes al tratar de simplificar los factores complejos e interrelacionados que afectan el transporte y dispersión de los contaminantes en la atmósfera (CEPIS, 2005).

2.2 Utilidad de los modelos

La aplicación de los modelos de simulación puede tener diferentes propósitos entre los que destacan: el desarrollo de estrategias de control; evaluación del impacto en la calidad del aire y el análisis de la tendencia de este; selección del sitio apropiado para ubicar estaciones de monitoreo; estudios de diseño de chimeneas, etc. Estos modelos pueden variar en complejidad en la cantidad de datos de alimentación requeridos y en las formas de llegar a los resultados. La capacidad para pronosticar la calidad del aire utilizando modelos matemáticos, involucra un buen número de suposiciones sobre los mecanismos de dispersión de los contaminantes, dando por resultado que a pesar de incluir muchas posibles variables contribuyentes, el resultado tiene la confiabilidad dada. Además del propio error del modelo con respecto a la realidad, este se puede incrementar en caso de no considerarse los valores de entrada adecuados al problema de interés como son las emisiones y condiciones meteorológicas principalmente, y sus limitaciones de uso como pueden ser: periodos de tiempo corto, terreno plano, contaminantes no reactivos, etc., dependiendo del modelo en cuestión (**Bravo, 1990**).

La aplicación de un modelo de la calidad del aire en la evaluación de estrategias de control de emisiones contaminantes a la atmósfera es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de una gran cantidad de información generada por diferentes fuentes (**INE, 2005**).

1.- Un modelo específico de la calidad del aire es conveniente para la evaluación del impacto de una o varias fuentes de contaminación atmosférica depende de varios factores. Como son:

- La complejidad meteorológica y topográfica del área.
- El nivel de detalle y de exactitud necesario para el análisis.
- La capacidad técnica del usuario para garantizar tal simulación del modelo.
- Los recursos disponibles.
- El detalle y la exactitud de la base de datos, es decir, (inventario de emisiones, datos meteorológicos, y datos de la calidad del aire).

La información apropiada debe estar disponible antes de cualquier intento de aplicación de un modelo. Para un modelo que requiere detalle o exactitud, los datos de entrada deben ser existentes. Sin embargo, si se asume que los datos son adecuados, cuanto mayor es el detalle con que cuenta el modelo tales como las variaciones espaciales y temporales en las emisiones y las condiciones meteorológicas, mayor es la credibilidad de evaluar el impacto de la fuente y de evaluar distintas estrategias de control.

2.- Los modelos de la calidad del aire se han aplicado con mayor exactitud, o con el menor grado de incertidumbre, a las simulaciones de promedios a largo plazo en áreas con topografía relativamente simple. Las áreas sujetas a mayor influencia topográfica experimentan complejidades meteorológicas que son extremadamente difíciles de simular. Sin embargo los modelos están disponibles para tales circunstancias, estos son con frecuencia sitios específicos. En ausencia de un modelo capaz de simular tales complejidades, solamente una aproximación preliminar puede ser factible hasta que modelos y bases de datos mejores lleguen a estar disponibles.

3.- Los modelos de simulación son herramientas altamente especializadas. Personal competente y experimentado, es un requisito esencial para lograr una aplicación adecuada de ellos. La necesidad de especialistas es crítica cuando se utilizan los modelos más sofisticados o el área investigada es complicada en cuanto a características meteorológicas o topográficas. Un modelo aplicado incorrectamente, o con datos inadecuados, puede conducir a juicios erróneos con respecto al impacto de la fuente o a la eficacia de una estrategia de control.

4.- Los recursos demandados, generados por medio de modelos de la calidad del aire varían extensamente dependiendo del uso específico. Los recursos requeridos dependen de la naturaleza del modelo, su complejidad, detalle de la base de datos, la dificultad del uso, la cantidad y el nivel de maestría requeridos. Los costos de mano de obra y de instalaciones de cómputo pueden también ser factores importantes en la selección y el uso de un modelo para un análisis específico. Sin embargo, debe ser reconocido que bajo algunas circunstancias, y requisitos físicos de exactitud, ningún modelo actual puede ser apropiado al cien por ciento. Así que, la consideración de estos factores debe conducir a la selección de modelo mas apropiado (**U.S. EPA, 2004**).

2.3 Niveles de sofisticación de los modelos de dispersión

Existen dos niveles de sofisticación de modelos.

El primer nivel consiste en técnicas de estimación relativamente simples, para condiciones meteorológicas adversas, suministrando estimados en el impacto de la calidad del aire, de una fuente específica o diferentes tipos fuentes. Estas técnicas son llamadas técnicas de barrido (screening) o modelos de barrido.

El segundo nivel consiste en técnicas que proveen mayor detalle de la química y física atmosférica, este requiere una vasta precisión en la alimentación de datos, proporcionando resultados más específicos del estimado de las concentraciones, así como del impacto de la fuente, para el diseño de estrategias de control. A estos modelos se les denomina modelos refinados.

2.4 Disponibilidad de los modelos

La guía para modelos de calidad del aire (Guideline on Air Quality Models), fue publicada por primera vez en abril de 1978 con el propósito de regular la aplicación de los modelos de calidad del aire en el estudio de concentraciones de contaminantes criterio. La continua investigación de estos responde a la necesidad de estudiar y resolver problemas cada vez más complejos de emisiones a la atmósfera. Por lo cual la guía pone a disposición la información de los modelos recomendados para estudios de calidad del aire.

La mayoría de la investigación de los modelos discutidos en la guía, los códigos, la documentación asociada y otra información útil están disponibles para la transferencia directa del centro de ayuda de EPA para regulación de los modelos de calidad del aire Support Center for Regulatory Air Modeling (SCRAM) el sitio del Web en Internet es <http://www.epa.gov/scram001>. Éste es un sitio con el cual los modeladores deben familiarizarse (**EPA, Appendix W to part 51**).

La SMA, lleva acabo la aplicación de los modelos de calidad del aire para evaluar las medidas encaminadas al control de las emisiones y el mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Usando como herramienta el modelo meteorológico de quinta generación Mesoescala Model 5 (MM5) versión 3.6; y el modelo fotoquímico Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM) versión 3.4 **(SMA, 2005)**.

El Instituto Nacional de Ecología (INE), particularmente en la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA), se han instalado y aplicado modelos de dispersión de contaminantes, los cuales han sido empleados en el diagnóstico de la calidad del aire, en varias regiones de nuestro país. Uno de los objetivos del INE es proporcionar información sobre los avances que en materia de modelación se registra en diferentes ciudades del país. Igualmente pone a disposición una serie de documentos relacionados con la modelación de la calidad del aire:

Modelos de simulación.

- SCREEN3
- Industrial Source Complex (ISC3)
- PCRAMMET

La intención de algunos estudios es lograr un acercamiento a la relación entre la generación de electricidad, las emisiones contaminantes que produce, sus impactos sobre la calidad del aire y la salud de la población y finalmente, la valoración en términos monetarios de estos impactos. Con el propósito fundamental de proporcionar los elementos teóricos básicos y la metodología para el análisis de los impactos en la salud asociados con la contaminación atmosférica **(Zuk, 2003)**.

Así como el resultado de algunos estudios realizados:

“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS EMISIONES DE LA TERMOELÉCTRICA DE TUXPAN EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LA REGIÓN, USANDO EL SISTEMA DE MODELADO DE DISPERSIÓN CALMET-CALPUFF”. Diciembre del 2003. **(INE, 2005)**.

“COMPARACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN DE EMISIONES PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS”. Octubre de 2004 **(INE, 2005)**.

“EVALUACIÓN DE LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES DE LA GENERACIÓN TERMOELECTRICA EN MÉXICO” Noviembre del 2004 **(INE, 2005)**.

“INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS TERMOELECTRICAS” Octubre de 2006 **(INE-SEMARNAT)**.

Como se puede apreciar en este capítulo, en México existe poca información respecto a la disponibilidad de modelos de dispersión para estudios de impacto en la calidad del aire, por lo cual es necesario recurrir a la información que es presentada por agencias como la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos. (USEPA), quien proporciona documentación importante en esta área de estudio como ya se mencionó anteriormente.

2.5 Normas de Calidad del Aire

Los resultados de los modelos de dispersión consisten en valores de concentración que se presentan en la zona de influencia de una o varias fuentes de contaminación que deberán de ser comparados con valores establecidos entre los cuales, para fines de protección a la salud de las poblaciones aledañas a la industria, se tienen las normas de calidad del aire.

La Tabla 2-1 presenta las normas de calidad del aire existentes en México, posteriormente en la sección del caso ejemplo los resultados de la simulación se compararán con las normas de calidad del aire para los contaminantes requeridos para cada caso. Es importante señalar que además de los valores de concentración establecidos se debe considerar el tiempo de exposición y la frecuencia máxima de aceptable, para de esta manera realizar las simulaciones mediante la aplicación de los modelos de dispersión y lograr una comparación tomando en cuenta las mismas condiciones.

Tabla 2-1, Normas de Calidad del Aire. **INE, Sinaica, México, 2006.**
Valores normados para los contaminantes del aire en México

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
O ₃	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-020-SSA1-1993
	0.08 ppm (8 horas)	Quinto máximo en un año		
CO	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993
SO ₂	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m ³)	1 vez al año	0.03 ppm (maa)	NOM-022-SSA1-1993
NO ₂	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993
PST	210 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)	24 horas	-	NOM-024-SSA1-1993
PM10	120µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)	24 horas	50 µg/m ³ (maa)	NOM-025-SSA1-1993
PM2.5	65µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)	24 horas	15µg/m ³ (maa)	NOM-025-SSA1-1993
Pb	-	-	1.5 µg/m ³ (promedio aritmético en 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993

ppm: Partes por millón.

maa: media aritmética anual.

µg/m³ Microgramos por metro cúbico.

3.- MODELO MATEMÁTICO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

3.1 Modelos Matemáticos de Calidad del Aire

Los modelos matemáticos de la calidad del aire son una herramienta valiosa en la gestión ambiental ya que permiten relacionar las concentraciones de los diferentes contaminantes directamente con sus fuentes de emisión (en el caso de los contaminantes primarios como el monóxido de carbono), o con la emisión de sus precursores (en el caso de los contaminantes secundarios como el ozono), así como con las condiciones topográficas y la meteorología (INE, 2005).

Es decir, los modelos de calidad del aire son una herramienta científica valiosa que permite predecir los cambios en las concentraciones ambientales de distintas especies químicas a lo largo de un día o periodos mayores como resultado de cambios en las condiciones iniciales y en consecuencia ofrecen la posibilidad de evaluar la efectividad de diferentes medidas de control de emisiones antes de su aplicación (INE, 2005).

3.2 Modelos de dispersión de calidad del aire

Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un grupo de ecuaciones matemáticas que sirven para interpretar y predecir las concentraciones de contaminantes causadas por la dispersión y por el impacto de las plumas. Estos modelos incluyen los estimados de dispersión mencionados anteriormente y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía. Existen cuatro tipos genéricos de modelos: gaussiano, numérico, estadístico y físico. Los modelos gaussianos emplean la ecuación de distribución gaussiana (véase la discusión sobre distribución gaussiana a continuación) y son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos. En el caso de fuentes de áreas urbanas que presentan contaminantes reactivos, los modelos numéricos son más apropiados que los gaussianos pero requieren una información extremadamente detallada sobre la fuente y los contaminantes, y no se usan mucho. Los modelos estadísticos se emplean cuando la información científica sobre los procesos químicos y físicos de una fuente están incompletos o son vagos. Por último, están los modelos físicos, que requieren estudios de modelos del fluido o en túneles aerodinámicos del viento. La adopción de este enfoque implica la elaboración de modelos en escala y la observación del flujo en estos. Este tipo de modelos es muy complejo y requiere asesoría técnica de expertos. Sin embargo, en el caso de áreas con terrenos complejos y condiciones del flujo también complejas, flujos descendentes de la chimenea y edificios altos, esta puede ser la mejor opción.

La selección de un modelo de calidad del aire depende del tipo de contaminantes emitidos, de la complejidad de la fuente y del tipo de topografía que rodea la instalación. Algunos contaminantes se forman a partir de la combinación de contaminantes precursores. Por ejemplo, el ozono en la superficie (troposfera) se forma cuando los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno (NOx) actúan bajo la acción de la luz solar. Los modelos para predecir las concentraciones de ozono en la superficie emplearían las emisiones de COV y NOx como datos de entrada. Además, algunos contaminantes reaccionan fácilmente una vez que son emitidos en la atmósfera. Estas reacciones reducen las concentraciones y puede ser necesario considerarlas en el modelo. La complejidad de la fuente también desempeña un papel en la selección. Algunos contaminantes y pueden

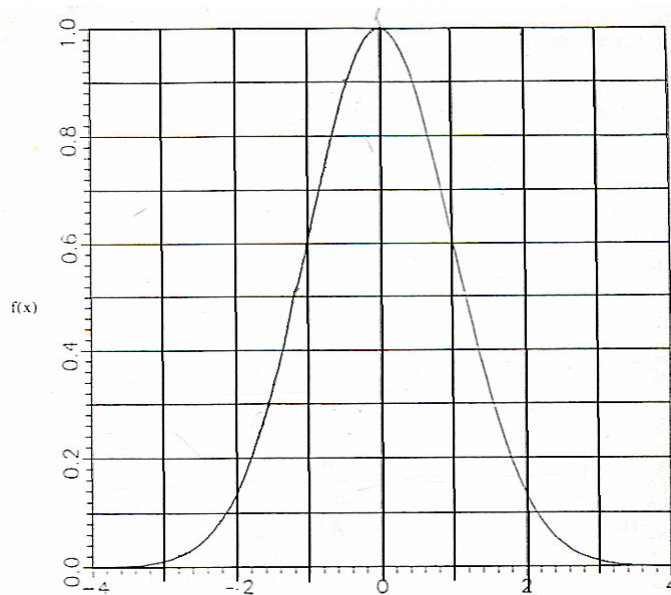
ser emitidos desde chimeneas bajas sujetas a flujos descendentes aerodinámicos. Si este es el caso, se debe emplear un modelo que considere el fenómeno. En la dispersión de las plumas y los contaminantes. La topografía es un factor importante que debe ser considerado al seleccionar un modelo. Las plumas elevadas pueden tener un impacto en áreas de terrenos altos. Las alturas de este tipo de terrenos pueden experimentar mayores concentraciones de contaminantes debido a que se encuentran más cerca de la línea central de la pluma. En el caso que existan terrenos elevados, se debe usar un modelo que considere este hecho **(CEPIS, 2005)**.

3.3 Modelo gaussiano de dispersión.

Modelo Gaussiano

El modelo usa la ecuación de dispersión Gaussiana, la cual se basa en el modelo estadístico de distribución de Gauss, curva de distribución normal o campana de Gauss. Fig 3-1 Esta describe el viento cruzado y la distribución vertical debido a la mezcla turbulenta ocasionando la dispersión (Turner, 1994).

Fig. 3-1 Curva de distribución de Gauss. Fuente: Turner 1970



La ecuación que describe la campana de Gauss es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{ec. 3-1}$$

Donde:

x Corresponde a la posición del pico.

μ Posición al centro del eje de las x y corresponde al valor máximo del pico en f(x).

σ Desviación estándar.

$\frac{1}{(2\pi)^2}$ Magnitud de distribución del pico.

Sistemas de Coordenadas

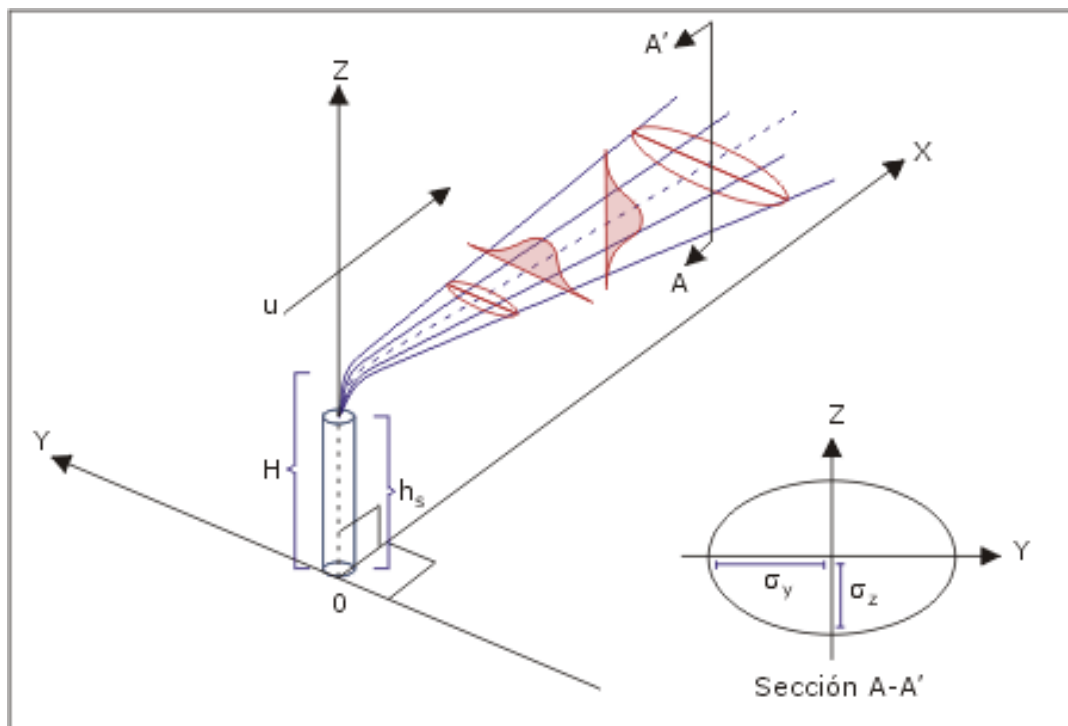
El sistema de coordenadas esta definido por tres ejes ortogonales X, Y y Z. Fig. 3.2. Con el origen del sistema bajo el nivel del punto de emisión (para niveles de emisión bajos), o

directamente debajo del punto de la emisión (para emisiones elevadas). Se asume que el eje X esta orientado en la dirección a la cual se transporta el contaminante, esto es por encima de la superficie de la tierra, directamente debajo de la línea central de la pluma. El eje de la Y representa la dirección horizontal y el eje de la Z la dirección vertical. La orientación del sistema de eje se toma para periodos de tiempo y promedios de dirección del viento, esto se realiza normalmente para una hora.

Variables y ecuaciones básicas de dispersión

La forma más general de la ecuación de dispersión de Gauss, se presenta primero, siguiendo la derivación de la ecuación para las condiciones más especiales. Esta ecuación estima la concentración así como la localización del receptor en X bajo viento, Y horizontal y la altura Z y sobre la superficie de la tierra los resulta de las emisiones tienen una altura efectiva H sobre la superficie.

Fig. 3.2 Sistema de coordenadas para mostrar la distribución de Gauss, horizontal y vertical. Fuente: Turner 1970.



Suposiciones para el uso del modelo de dispersión de Gauss.

- La difusión de la pluma tiene distribución Gaussiana tanto en el plano horizontal como en el vertical σ_y y σ_z respectivamente.
- La velocidad promedio del viento que afecta a la pluma es v .
- La emisión de contaminantes Q es constante por un tiempo
- Una reflexión de la pluma se lleva a cabo en la superficie del terreno, esto es, no hay deposición reacción en la superficie.

- La concentración máxima, para una distancia viento abajo X dada, estará a una distancia de viento transversal Y igual a cero, es decir en el eje X. La distancia a la que se encuentra la máxima concentración se denomina crítica Xc (**Sosa, 1987**).

Las variables aplicadas son:

- χ Concentración del gas (g/m³).
- Q Emisión (g/s).
- v Velocidad del viento (m/s).
- σ_y Coeficiente de dispersión horizontal (m).
- σ_z Coeficiente de dispersión vertical (m).
- π Constante matemática.
- H Altura efectiva de la chimenea (m).
- h Altura física (m).

Ecuación general:

$$\chi(x, y, z: H) = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad \text{ec. 3-2}$$

Donde:

Factor de emisión Q

Velocidad del viento v

Factor horizontal $\frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_y} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]$

Factor vertical $\frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$

(Turner 1994)

3.4 Meteorología

La atmósfera es el medio en el que se liberan los contaminantes, el transporte y la dispersión de estas descargas depende en gran medida de parámetros meteorológicos. Para realizar actividades relativas a la planificación de la calidad del aire es imprescindible comprender la meteorología de la contaminación del aire y su influencia en la dispersión de las sustancias contaminantes. Los planificadores emplean este conocimiento para ayudar a localizar las estaciones de monitoreo de contaminación del aire y para desarrollar planes de implementación orientados al cumplimiento de los estándares de calidad del aire en exteriores. La meteorología se usa para predecir el impacto ambiental de una nueva fuente de contaminación del aire y para determinar el efecto de las modificaciones de las fuentes existentes en la calidad del aire (CEPIS, 2005).

3.4.1 Estabilidad Atmosférica

Clasificación de la estabilidad

La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire que la rodea. Por consiguiente, se pueden producir diferentes niveles de estabilidad según cuán grande o pequeña sea la diferencia de temperatura entre la porción de aire y el aire circundante, la atmósfera puede ser estable, condicionalmente estable, neutra, condicionalmente inestable o inestable. Sin embargo, para estimar la dispersión y los propósitos del modelo, estos niveles de estabilidad se clasifican en seis clases basadas en cinco categorías de velocidad del viento superficial, tres tipos de insolación diurna y dos tipos de nubosidad nocturna. Estos tipos de estabilidad se denominan **clases de estabilidad Pasquill-Gifford**, (cuadro 3-1). Como puede verse en el cuadro, las estabilidades A, B y C representan las horas diurnas con condiciones inestables. La estabilidad D, los días o noches con cielo cubierto con condiciones neutrales. Las estabilidades E y F, las condiciones nocturnas estables, y se basan en la cantidad de cobertura de nubes. Por consiguiente, la clasificación A representa condiciones de gran inestabilidad y la clasificación F, de gran estabilidad.

Tabla 3-1. Clave para las categorías de estabilidad, (Turner, 1970)

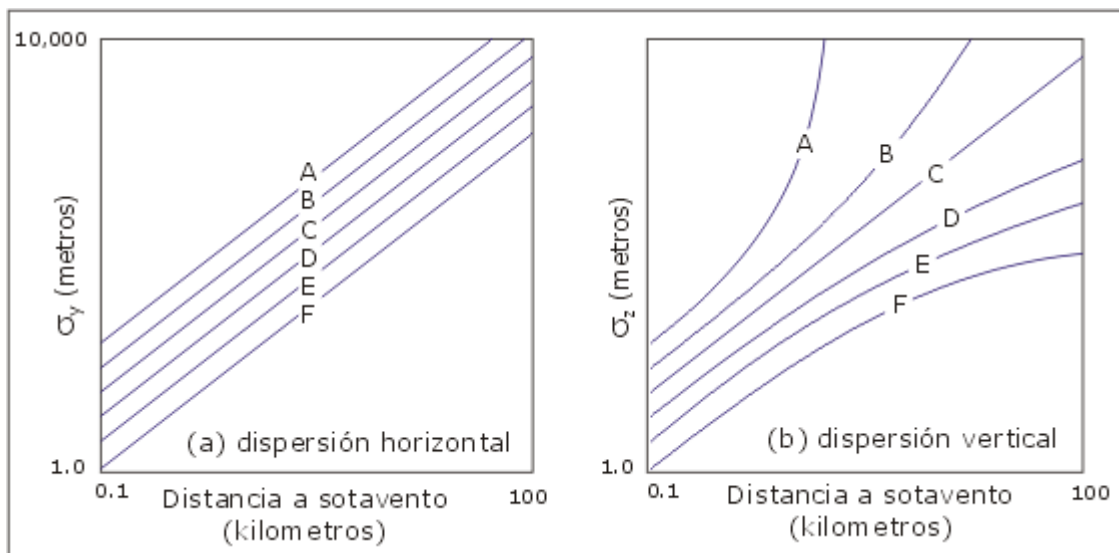
Viento superficial Velocidad (a 10 m) (m/s)	Día			Noche	
		Moderada	Ligera	Cobertura de nubes bajas* ≥4/8	Cobertura de nubes ≥3/8
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

* Ligeramente cubierto

Nota: Se deben asumir clases neutrales D para condiciones de cielo cubierto durante el día o la noche

En los modelos gaussianos, la dispersión de la pluma lejos de la línea central está representada por los coeficientes de dispersión, σ_y (horizontal) y σ_z (vertical). La dispersión de la pluma depende de la clasificación de estabilidad asignada al escenario bajo estudio. La figura 3-3(a) muestra los valores que los modelos gaussianos emplean para la dispersión horizontal según la clasificación de la estabilidad y la distancia a sotavento de la chimenea. Como es de suponer, los coeficientes de dispersión horizontal aumentan a medida que las condiciones atmosféricas se hacen menos estables (van de F a A). De manera similar, la figura 3-3(b) muestra los valores usados por modelos gaussianos para estimar la dispersión vertical. Si se comparan los dos gráficos, se puede observar que la clasificación de la estabilidad afecta la dispersión vertical más radicalmente que la horizontal. Los siguientes gráficos de los coeficientes de dispersión se pueden usar a fin de obtener valores para σ_y y σ_z empleados como datos de alimentación para la ecuación de distribución gaussiana.

Figura 3-3. Coeficientes de dispersión horizontal y vertical (Turner, 1970)



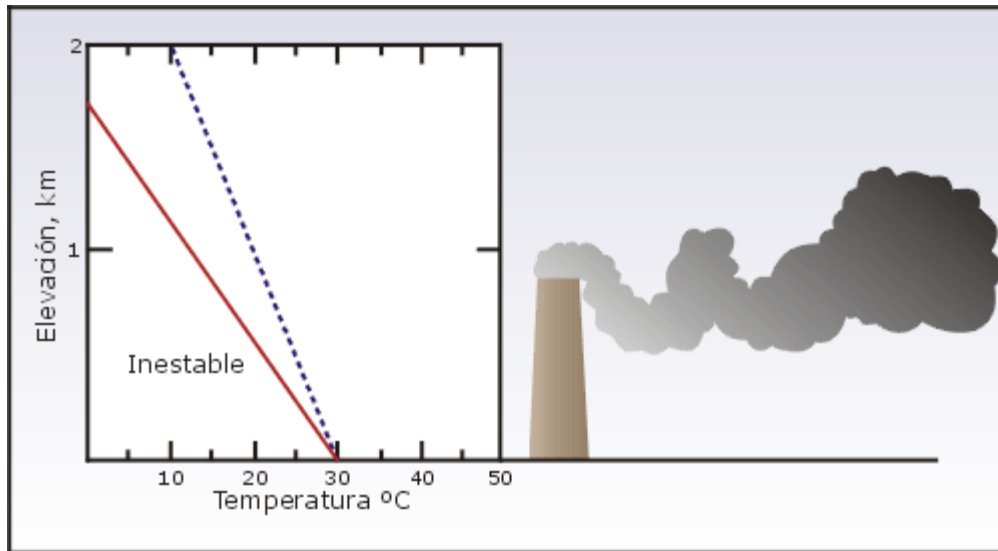
Estabilidad y comportamiento de la pluma

El grado de estabilidad atmosférica y la altura de mezcla resultante tienen un importante efecto en las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental. Ahora bien la mezcla vertical se ve afectada por el movimiento horizontal del viento, es importante saber que este se produce bajo condiciones de inversión. Los contaminantes que no se pueden dispersar hacia arriba lo pueden hacer horizontalmente a través de los vientos superficiales.

La combinación de los movimientos verticales y horizontales del aire influye en el comportamiento de las plumas de fuentes puntuales (chimeneas). Las diferentes tipos de plumas se describen a continuación para las distintas condiciones de estabilidad.

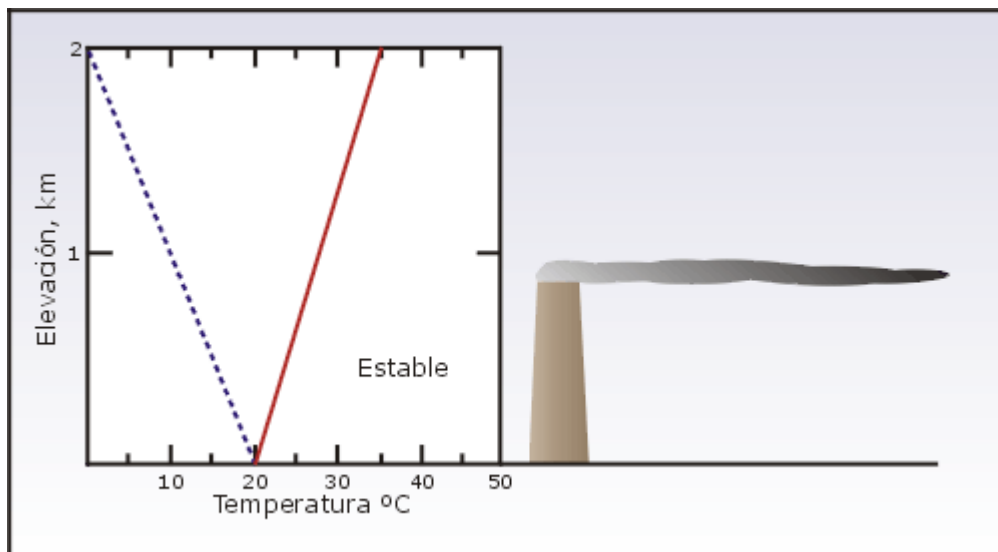
La pluma de espiral de la figura 3-4 se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire. Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.

Figura 3-4. Pluma de espiral, CEPIS 2005



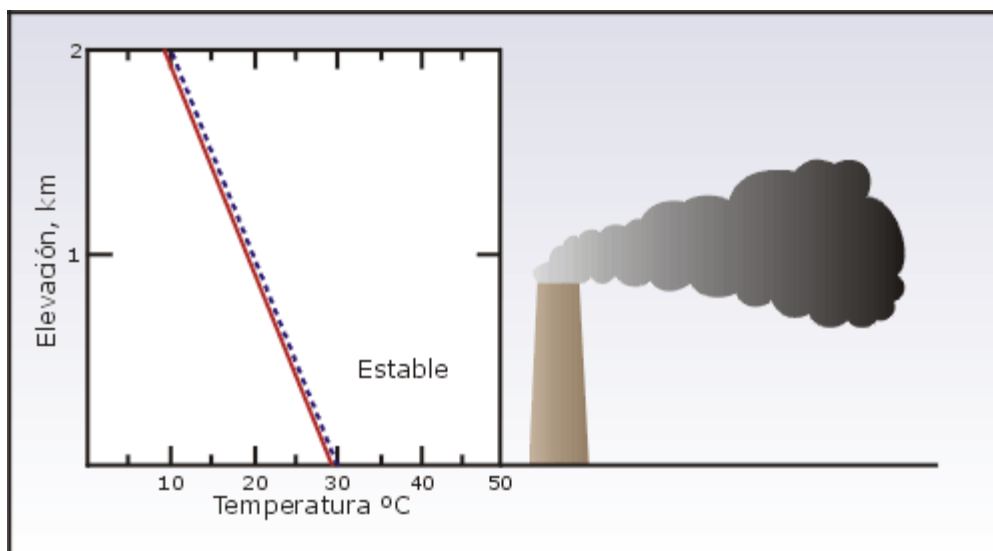
La pluma de abanico (figura 3-5) se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente. Las plumas de abanico ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana durante una inversión por radiación.

Figura 3-5. Pluma de abanico, CEPIS 2005



La pluma de cono (figura 3-6) es característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nublados o soleados, entre la interrupción de una inversión por radiación y el desarrollo de condiciones diurnas inestables.

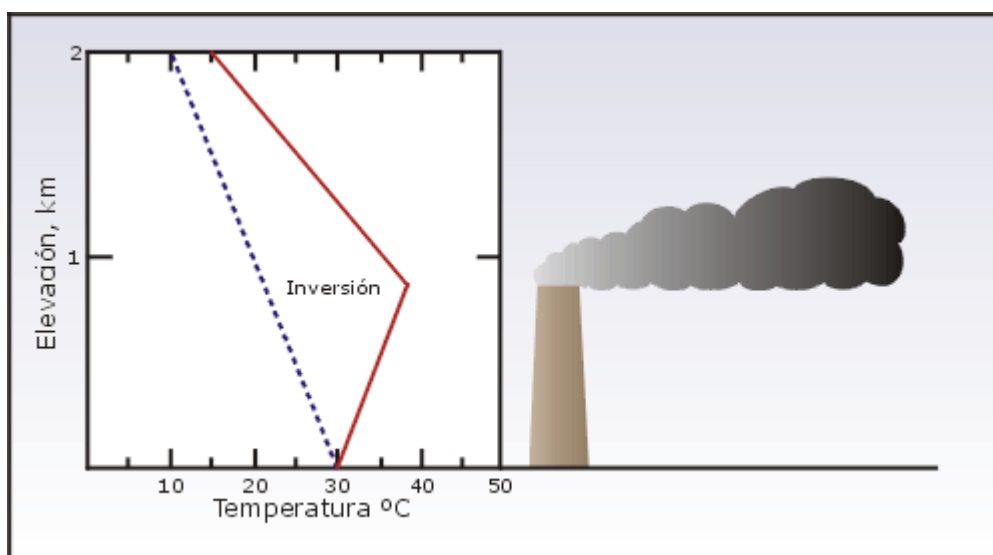
Figura 3-6. Pluma de cono, CEPIS 2005



Obviamente, un problema importante para la dispersión de los contaminantes es la presencia de una capa de inversión, que actúa como una barrera para la mezcla vertical. Durante una inversión, la altura de una chimenea en relación con la de una capa de inversión muchas veces puede influir en la concentración de los contaminantes en el nivel del suelo.

Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión (figura 3-7), la descarga de una pluma sobre esta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente. Esta condición se conoce como flotación.

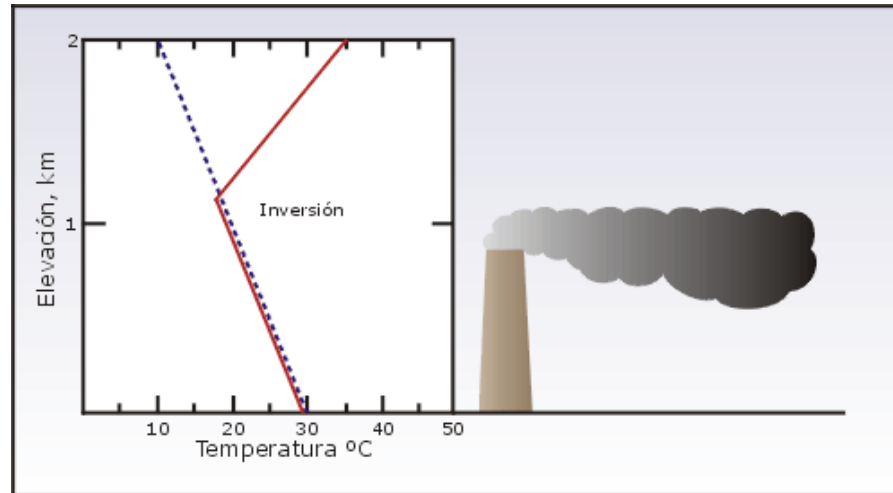
Figura 3-7. Pluma de flotación, CEPIS 2005



Si la pluma se libera justo debajo de una capa de inversión, es probable que se desarrolle una grave situación de contaminación del aire ya que el suelo se calienta durante la mañana, el aire que se encuentra debajo de la mencionada capa se vuelve inestable. Cuando la inestabilidad alcanza el nivel de la pluma entrampada bajo la capa de inversión,

los contaminantes se pueden transportar rápidamente hacia abajo hasta llegar al suelo (figura 3-8). Este fenómeno se conoce como fumigación. Las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo pueden ser muy altas cuando se produce la fumigación. Esta se puede prevenir si las chimeneas son suficientemente altas.

Figura 3-8. Fumigación, CEPIS 2005



3.4.2 Velocidad del viento

El viento es una cantidad vectorial y se puede considerar una variable primaria por naturaleza, por lo general en velocidad (la magnitud del vector) y dirección (la orientación del vector) se consideran variables independientes. La velocidad del viento determina la cantidad de dilución inicial que experimenta una pluma. Por lo tanto, la concentración de contaminantes en una pluma está directamente relacionada con la velocidad del viento. Esta también influye en la altura de la elevación de la pluma después de ser emitida. A medida que la velocidad del viento aumenta, la elevación de la pluma disminuye al ser deformada por el viento. Esto hace que disminuya la altura de la pluma, que se mantiene más cerca del suelo y puede causar un impacto a distancias más cortas a sotavento. Por lo general, la velocidad del viento se usa junto con otras variables para derivar las categorías de la estabilidad atmosférica usadas en las aplicaciones de los modelos de la calidad del aire (CEPIS, 2005).

3.4.3 Dirección del viento

Por lo general, la dirección del viento se define como la orientación del vector del viento en la horizontal. Para propósitos meteorológicos, la dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento, y se mide en grados en la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero. Por ejemplo, un viento del oeste sopla del oeste, a 270° del norte. Un viento del norte sopla desde una dirección de 360°. La dirección del viento determina el transporte de una pluma emitida (CEPIS, 2005).

3.4.4 Temperatura

Para los estudios de contaminación del aire son útiles tanto la temperatura del aire ambiente en un solo nivel (generalmente 1,5 a 2 m sobre el suelo) como la diferencia de temperatura entre dos niveles (generalmente 2 m y 10 m). Estas medidas sirven para

realizar cálculos sobre la elevación de la pluma y para determinar la estabilidad atmosférica.

3.4.5 Altura de capa de mezclado

Altura de mezcla

La profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado se denomina **capa de mezcla**. La parte superior de esta capa se conoce como **altura de mezcla**. Esta determina el alcance vertical del proceso de dispersión de los contaminantes liberados debajo de ella. Se trata de una variable importante para los estudios de calidad del aire ya que limita la dispersión vertical de los contaminantes. Si bien las alturas de mezcla generalmente no se miden directamente, es posible obtener cálculos aproximados a partir de las mediciones meteorológicas rutinarias.

Por lo general, las alturas de mezclado producidas por la mañana y por la tarde se estiman a partir de los perfiles tanto de temperatura vertical tomada a la salida y puesta del sol, como de temperatura superficial. Los perfiles de la temperatura vertical se miden con radiosondas, instrumentos transportados elevados a través de globos más ligeros que el aire (esto es, globos generalmente llenos de hidrógeno o helio, siendo recomendado este último por motivos de seguridad). Para los modelos de la calidad del aire, las alturas de mezcla por hora se pueden estimar a partir de los valores de altura de mezcla tomados dos veces al día (a la salida y la puesta del sol) y las categorías de estabilidad atmosférica de cada hora. **(CEPIS, 2005)**

3.5 Orografía

Orografía: Descripción de las montañas, del griego oros (montaña) y grafos (describir).

Para el estudio de modelado del impacto en la calidad del aire, es necesario conocer las condiciones del terreno, ya que estas pueden afectar la dispersión de los contaminantes. Por ejemplo si se tiene un terreno plano los contaminantes serán arrastrados a distancias mayores en comparación con terreno complejos, que presentan grandes cadenas montañosas impactando los contaminantes en dichas montañas.

4.- REQUERIMIENTOS LEGALES DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN EN MÉXICO

En México los organismos oficiales encargados del estudio de la calidad del aire, son por parte del Gobierno del Distrito Federal (GDF), la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) y por parte del Gobierno Federal la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT a través del Instituto Nacional de Ecología (INE).

La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal se encarga de la aplicación de los modelos de dispersión para la calidad del aire y de la evaluación y control de las emisiones a la atmósfera dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

El Instituto Nacional de Ecología, particularmente en la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA), se han instalado y aplicado modelos de dispersión de contaminantes, los cuales han sido empleados en el diagnóstico de la calidad del aire, en varias regiones de nuestro país.

La misión del INE es realizar investigaciones sobre la calidad del aire en México y sus efectos a nivel regional y mundial, en coordinación con instancias, autoridades, centros de investigación y universidades locales, nacionales e internacionales, para desarrollar un sistema nacional de información de la calidad del aire, definir las tendencias sobre contaminación atmosférica a escala nacional y determinar sus efectos en los ecosistemas y en la salud humana.

Objetivos

- Dirigir estudios para definir las tendencias espaciales y temporales sobre contaminación atmosférica a escala nacional a través de la adaptación y utilización de modelos de simulación y pronóstico de la calidad del aire.
- Diseñar, realizar y evaluar estudios acordados en las instancias de coordinación de las zonas conurbadas, sobre la calidad del aire y sus efectos sobre los ecosistemas y la salud humana en apoyo a la Secretaría de Salud.
- Desarrollar y operar, en colaboración con la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, un sistema nacional de información de la calidad del aire, así como otros sistemas y bases de datos sobre contaminación y deterioro ambiental.
- Participar en representación de la Secretaría en foros, proyectos de investigación, actividades de cooperación internacional sobre calidad del aire y acuerdos internacionales relacionados con la contaminación atmosférica, con la participación de la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales.
- Preparar y publicar libros, catálogos, manuales, artículos e informes técnicos de difusión sobre los estudios y proyectos realizados.

(INE, 2005)

Por otro lado la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Red de Meteorología (REDMET) tiene como objetivo proporcionar información de parámetros meteorológicos para la elaboración del pronóstico de la calidad del aire y su utilización en modelos de dispersión, cuyo fin es analizar el desplazamiento de los

contaminantes a través del tiempo. La Red Meteorológica cumple con funciones específicas como:

1. Vigilancia permanentemente de las condiciones atmosféricas imperantes a nivel de superficie y evaluación de las condiciones de dispersión de los contaminantes en las horas siguientes.
2. Para elaborar el pronóstico de calidad del aire, se obtiene información adicional de servicios meteorológicos en Internet y del Servicio Meteorológico Nacional, obteniéndose la información de los radiosondeos (análisis termodinámico vertical de la atmósfera desde la superficie terrestre hasta aproximadamente 16 kilómetros), **(SMA, 2005)**.

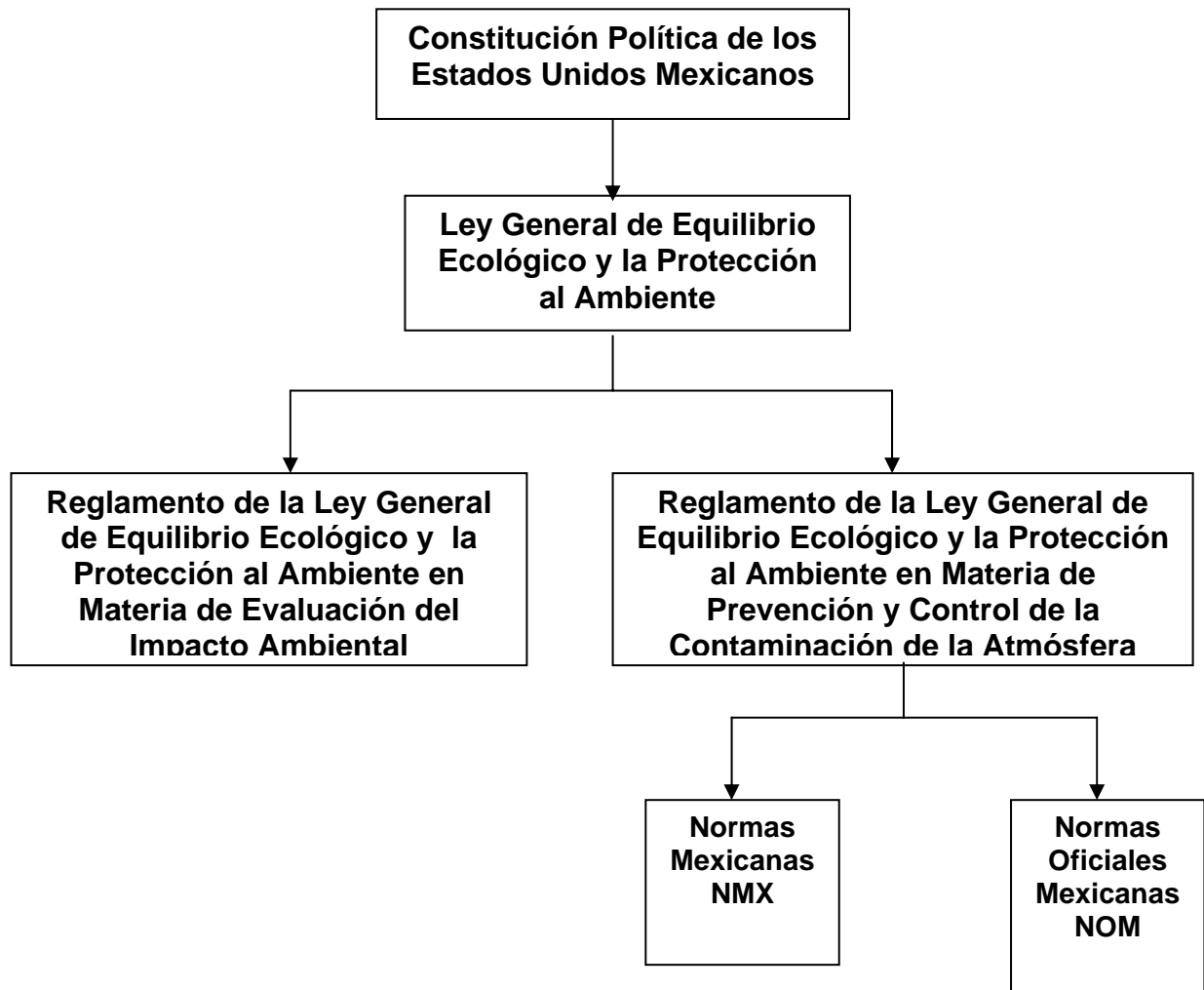
Pero existen organismos no gubernamentales que se encargan de realizar estudios de impacto en la calidad del aire, con el fin de cubrir las necesidades de la industria en cuestión de regulación y gestión ambiental, de tal forma que se lleva a cabo un análisis completo del tipo de industria y de esta forma adecuar el modelo que más se apegue al tipo de industria.

4.1 Legislación en México en materia de aplicación de modelos

En México encontramos dentro del marco jurídico (fig. 4-1), La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que dicta las leyes y normas que rigen nuestro país y quien confiere el poder al congreso para legislar; según lo dicho en el artículo 73 de la misma. Esta a su vez por medio de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), quien conforme a las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección del ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y su jurisdicción, decreta la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), donde se emite el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

La LGEEPA establece los estatutos para crear las normas en cuanto al estudio de impacto en la calidad del aire para fuentes fijas y las fuentes móviles, las normas pueden ser Normas Oficiales Mexicanas (NOM) o Normas Mexicanas (NMX).

Fig. 4-1 Marco Jurídico en Materia Ambiental



Las normas oficiales mexicanas

Las normas oficiales son un instrumento de aplicación obligatoria para todos los agentes normados, Así, se ha pretendido desarrollar límites máximos permisibles generales, para todas las actividades y con independencia de su emisión sin control. También se ha buscado que el desarrollo normativo se inserte en un marco más amplio de regulación, donde se combinen instrumentos de diverso tipo para lograr las metas ambientales de manera eficaz y eficiente, es decir, que efectivamente se logren y que ello se haga al mínimo costo social.

Las normas voluntarias y la autorregulación

Durante mucho tiempo se consideró que la responsabilidad del cuidado del ambiente era exclusivamente del sector público. En la medida en que ha avanzado la conciencia de que la prevención de la contaminación es rentable, el cuidado del ambiente en algunos aspectos se ha vuelto centro de interés del sector privado, y ello ha significado el desarrollo de normas voluntarias y de acuerdos y acciones de autorregulación que van más allá de la normatividad vigente, o abarcan ámbitos que no son de competencia de la autoridad.

Las normas voluntarias tienen varios campos de aplicación posibles. Uno de ellos es el de los sistemas de administración ambiental, que modifican la forma en que la planeación administrativa de los agentes se lleva a cabo, e incorpora explícitamente consideraciones ambientales en la operación cotidiana de las empresas y en la selección de técnicas. Otro campo de aplicación es la difusión de buenas prácticas tecnológicas, que pueden ser llevadas a cabo por las empresas para ahorrar recursos o evitar emisiones de contaminantes. Un tercer campo de aplicación es el de desarrollar métodos alternativos de medición con resultados equivalentes. Para México, en el nuevo esquema regulatorio, las normas voluntarias adquieren una importancia creciente al permitir flexibilizar (sin laxar) el esquema de comando y control, a la vez que induce a los agentes a tomar en cuenta variables ambientales en su proceso de planeación y en su operación diaria. Constituyen así, un campo fértil, que ha tenido un desarrollo menor a lo deseable (**Giner, 2002**).

En cuestión de normatividad México no cuenta con alguna norma que regule el uso de los diferentes modelos existentes para el estudio de impacto ambiental en la calidad del aire por lo cual los usuarios de estos modelos se apegan a la establecido por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) quien se encarga de regular los modelos para su aplicación en dicho país.

La norma mexicana, NMX-AA-107-1988, titulada. “Calidad del Aire-Estimación de la Altura Efectiva de Chimenea y de la Dispersión de Contaminantes-Método de Prueba”. *air quality-effective stack height and pollutants dispersion estimates-test method*, es la única norma que hace mención al estudio de calidad del aire en cuanto a dispersión de contaminantes se refiere. (Anexo)

El objetivo de esta norma mexicana es establecer un procedimiento para estimar la altura efectiva y la dispersión de los contaminantes de una chimenea que emite gases a la atmósfera por un proceso u operación industrial, independientemente de que con ella se cumplan o no las normas de calidad del aire. (NMX-AA 107-1988). Siendo esta la única norma que hace referencia a la dispersión de contaminantes a la atmósfera.

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

- NMX-AA-9 Determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo de pitot.
- NMX-AA10 Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
- NMX-AA-23 Protección al ambiente-Contaminación atmosférica Terminología.
- NMX-Z-1 Sistema Internacional de Unidades (SI)

Para el propósito de este trabajo, en el cual se evaluará el impacto en la calidad del aire por fuentes industriales es importante hacer referencia a la norma oficial mexicana NOM-085-ECOL-1994, contaminación atmosférica-fuentes fijas.- para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión. Dicha norma nos señala los contaminantes cuyas

emisiones deben ser evaluadas con el fin de determinar si se cumple con los límites permisibles de emisión.

Esta norma toma como referencias las siguientes normas:

NMX-AA-01 Determinación de la densidad aparente visual de humo.

NMX-AA-09 Determinación de flujo de gases en un conducto por medio de un tubo pitot.

NMX-AA-10 Determinación de emisión de material particulado contenido en los gases que fluyen por conducto.

NMX-AA-23 Terminología.

NMX-AA-35 Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

NMX-AA-54 Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por conducto.

NMX-AA-55 Determinación de bióxido de azufre en gases que fluyen por un conducto.

Los niveles de concentración en el aire ambiente que no se deben rebasar son precisamente las normas de calidad del aire que a continuación se presentan:

Tabla 4-1, Lista de Normas de Calidad del Aire

Normas Oficiales Mexicanas	Contaminante	Concentración y tiempo
NOM-020-SSA1-1993	O ₃	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)
		0.08 ppm (8 horas)
NOM-021-SSA1-1993	CO	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)
NOM-022-SSA1-1993	SO ₂	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m ³)
NOM-023-SSA1-1993	NO ₂	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)
NOM-024-SSA1-1994	PST	210 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)
NOM-025-SSA1-1993	PM10	120µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)
NOM-025-SSA1-1993	PM2.5	65µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 Horas)
NOM-026-SSA1-1993	Pb	1.5 µg/m ³ - en un periodo de tres meses promedio aritmético

Dichos niveles son los que se deberán de comparar con los resultados de la simulación.

5.- MODELOS RECOMENDADOS POR LA EPA (Environmental Protection Agency)

Este capítulo resume las características de los modelos de calidad del aire recomendados por la EPA. Muchos de estos modelos han sido sujetos a una evaluación de pruebas estadísticas de funcionamiento recomendadas por la Sociedad Meteorológica Americana y a revisiones científicas. Estos modelos se han seleccionado con base en los resultados de las evaluaciones anteriores, a su costo, a su relación con los programas de calidad del aire y a su disponibilidad.

La documentación para los modelos enumerados en este capítulo están disponibles en el sitio web de la EPA, modelos de calidad del aire (SCRAM) en <http://www.epa.gov/scram001>. La documentación está también disponible en el servicio informativo técnico nacional (NTIS), <http://www.ntis.gov> o en el Ministerio de Comercio de ESTADOS UNIDOS, Springfield, VA 22161; teléfono: (800) 553-6847.

Modelos Recomendados por la EPA

1. SCREEN
2. BLP
3. CALPUFF
4. OCD
5. CTDMPPLUS
6. ISC3
7. AERMOD

5.1 SCREEN

El modelo SCREEN fue desarrollado para proporcionar un método fácil de usar para obtener estimaciones de concentración de contaminantes basadas en el documento de procedimientos de barrido. Aprovechando la gran disponibilidad de las computadoras personales (PCs), el modelo SCREEN hace los cálculos de barrido accesibles a una gran variedad de usuarios.

SCREEN es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Cálculos de una sola fuente a corto plazo
- Fuentes industriales complejas.
- Áreas rurales o urbanas
- Terreno plano o complejo
- Distancias de transporte de hasta 100 kilómetros
- promedio por hora, mensual y anual.

Datos de entrada

Datos de la fuente

- Tipo de fuente (punto, área, volumen)
- Emisión (g/s)

- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro interior de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s) o flujo (m³/s)
- Temperatura del gas de la chimenea (K)
- Temperatura ambiente (K) (por predeterminación 203 K si se desconoce)
- Altura del receptor sobre el suelo (puede usarse para definir receptores de asta) (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

Datos meteorológicos.

- Fecha (ddmmaa)
- Dirección del viento (grados)
- Velocidad del viento (m/s)
- Estabilidad
- Temperatura (K)
- Altura de capa de mezcla rural o urbana (m)

Datos del receptor:

La opción de arreglo de distancias de los receptores de SCREEN le permite al usuario usar un arreglo de 50 distancias preseleccionadas que van desde 100 m a 50 km. Se usan incrementos de 100 m hasta 3,000 m, con incrementos de 500 m desde los 3,000 m hasta los 10 km, incrementos de 5 km desde los 10 km hasta los 30 km e incrementos de 10 km hasta los 50 km. Cuando se usa el arreglo de distancias automático, SCREEN le pregunta al usuario las distancias mínima y máxima, las cuales deben escribirse en formato libre, i.e., separados por una coma o espacio. SCREEN luego calcula las concentraciones máximas en un rango de condiciones meteorológicas para la distancia mínima dada (mayor o igual a 1 metro), y luego para cada distancia en el arreglo mayor que el mínimo y menor o igual que el máximo. Por tanto, el usuario puede proporcionar la distancia mínima para el lugar límite como la distancia mínima para los cálculos y obtener una estimación de la concentración en el lugar límite y más allá, mientras que ignora las distancias menores al lugar límite.

Datos de Salida.

Las opciones impresas de la salida incluyen:

- Datos de fuente,
- Datos del receptor
- Concentración máxima y distancia del receptor.
- Concentración calculada para la fuente deseada en cada receptor especificado para cualquier período o día del año,
- Tablas de valores de concentración o de la deposición máxima, calculados para cualquier combinación deseada de la fuente para cada período especificado.

Tipo de modelo.

SCREEN es un modelo de pluma gaussiano

Tipos de contaminantes.

SCREEN se puede utilizar para modelar emisiones continuas de contaminantes primarios, tóxicos y peligrosos, deposición seca y húmeda.

Transformación química.

Se tratan las transformaciones químicas usando decaimiento exponencial. La constante del tiempo es introducida por el usuario.

Disponibilidad

Pueden obtenerse copias del modelo SCREEN3 en el Servicio Nacional de Información Técnica (NTIS), Springfield, VA 22161, teléfono (703) 487-4650, o pueden obtenerse del BBS del Centro de Apoyo para Modelos Regulatorios del Aire (SCRAM). El BBS de SCRAM puede accederse en el teléfono (919) 541-5742 (**U.S. EPA OAQPSE, Monitoring, and Analysis Division Research, 1995**).

5.2 BUOYANT LINE AND POINT SOURCE DISPERSION MODEL (BLP)

BLP es un modelo de dispersión de pluma gaussiano. Diseñado para manejar problemas asociados a la industria del aluminio, y otras fuentes industriales donde los efectos de la pluma y la cavitación (downwash) son importantes en fuentes de línea de estado estacionario.

El modelo de BLP es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Industria con fuentes de línea elevadas
- Áreas rurales
- Distancias de transporte menores a 50 kilómetros
- Terreno simple
- Promedios por hora o anuales

Datos de entrada:

Datos de la fuente:

- Tipo de fuente (punto, área, volumen)
- Localización de la chimenea (x,y)
- Elevación de la chimenea (m)
- Diámetro interior de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas (m/s)
- Temperatura de salida del gas (K)
- Tipo de contaminante
- Emisión (g/s)

Datos meteorológicos:

Datos de superficie procesados por el programa PCRAMMET que provee los siguientes datos.

- Estabilidad
- Dirección del viento (grados)
- Velocidad del viento (m/s)
- Temperatura (K)
- Altura de capa de mezcla (m)

Datos de los receptores:

- Localización (m)
- Elevación (m)
- Tamaño de la malla (m)

Datos de salida:

La salida impresa incluye:

- Análisis total de la contribución de concentraciones de la fuente
- Distribuciones de frecuencia mensuales y anuales
- Concentraciones medias de 24 horas;
- Concentraciones medias de 24 horas en cada receptor
- Concentraciones medias anuales en cada receptor
- Máximos de concentraciones medias en 24 horas en cada receptor
- Cincuenta máximos de concentraciones en 24 horas sobre el campo receptor.

Tipo de modelo:

Modelo gaussiano.

Tipo de contaminantes:

BLP sirve para modelar contaminantes primarios y no trata la deposición.

Relación fuente receptor:

BLP trata hasta 50 fuentes puntuales, 10 fuentes lineales y hasta 100 receptores localizados arbitrariamente.

Transformación química:

La transformación química es tratada usando un coeficiente de decaimiento lineal.

Disponibilidad.

El código de computadora está disponible en el sitio web de la EPA SCRAM y también en el diskette (como PB 2002-500051) del servicio informativo técnico nacional (NTIS), (véase la sección A.0 de Environmental Protection Agency, Appendix A to Appendix W of 40 CFR Part 51 Guideline on Air Quality Models)

(EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.).

5.3 CALPUFF

CALPUFF es un modelo multi- etapa, multi-especie, de estado no estacionario, que simula los efectos en el tiempo y espacio de la variación de las condiciones meteorológicas, transporte, transformación y remoción de contaminantes. CALPUFF se diseño para su uso en distancias de diez metros a cientos de kilómetros de la fuente. Incluye los algoritmos para los efectos de campo cercanos tales como cavitación (downwash), transición boyante y momentum de la traza de la pluma, penetración parcial de la pluma, tamaño de la malla, los efectos por las interacciones costeras y lo accidentado del terreno, así como una gama de efectos más amplia tales como la remoción del contaminante debido al barrido por humedad, deposición seca, transformación química, cizalla vertical del viento horizontal, transporte sobre el agua, fumigación de la pluma, y los efectos de la visibilidad en las concentraciones de partículas.

CALPUFF es apropiado para los siguientes usos.

- Transporte a largas distancias (distancias fuente-receptor de 50 a cientos kilómetros) de emisiones provenientes de fuentes de punto, de área, de línea y de volumen
- Los datos meteorológicos de entrada se deben caracterizar completamente con la variación en el tiempo del viento en espacio tridimensional así como las condiciones meteorológicas usando el procesador CALMET.
- El propósito de elegir un sistema que se modele con CALPUFF es tratar completamente el estancamiento, cambios del viento, variaciones del tiempo y del espacio así como los efectos de la meteorología sobre el transporte y la dispersión.

Datos de entrada

Datos de la Fuente:

1. Fuentes de punto:

- Localización de la fuente (m).
- Altura de la chimenea (m).
- Diámetro (m).
- Velocidad de salida del gas (m/s).
- Temperatura de salida del gas (K).
- Elevación desde la base (m)
- Dimensiones específicas del edificio y la dirección del viento (para los cálculos del downwash),
- Emisión para cada contaminante (g/s).
- Las distribuciones de tamaño de partícula se pueden incorporar para las partículas.
- Factores temporales de la emisión (ciclo diurno, ciclo mensual, hora/sesión, velocidad de viento/clase de estabilidad o factores de temperatura dependientes de la emisión) pueden también ser incorporados.
- Los parámetros de la fuente de punto de variación arbitraria se pueden incorporar de un archivo externo.

2. Fuentes de área:

- Localización y forma de la fuente,
- Altura de lanzamiento (m)
- Elevación desde la base (m)
- Distribución vertical inicial (σ_z) y
- Emisión para cada contaminante (g/s).
- Las distribuciones de tamaño de partícula se pueden incorporar para las partículas.
- Los factores temporales de la emisión (ciclo diurno, ciclo mensual, hora/sesión, velocidad de viento / clase de estabilidad, factores temperatura-dependientes de la emisión) pueden también ser incorporados.
- Los parámetros de la fuente del área de variación arbitraria se pueden incorporar de un archivo externo.
- Las fuentes del área especificadas en el archivo externo se permiten ser boyantes y su localización, el tamaño, la forma, y otras características de la fuente se permiten cambiar en el tiempo.

3. Fuentes del volumen:

- Localización de la fuente,
- Altura del lanzamiento (m).
- Elevación desde la base (m).
- Distribuciones horizontales y verticales (σ_y , σ_z)
- Emisión para cada contaminante (g/s).
- Las distribuciones de tamaño de partícula se pueden incorporar para las partículas.
- Los factores temporales de la emisión (ciclo diurno, ciclo mensual, hora/sesión, velocidad de viento/clase de estabilidad, o factores temperatura-dependientes de la emisión) también pueden ser incorporados.
- los parámetros de la fuente del volumen de variación arbitraria pueden incorporar de un archivo externo.
- Las fuentes de volumen con flotabilidad pueden ser simuladas tratando la fuente como fuente de punto e incorporando el tamaño inicial de la pluma en (σ_y , σ_z), para definir el tamaño inicial de la fuente del volumen.

4. Fuente de línea:

- Localización de la fuente,
- Altura del lanzamiento (m)
- Elevación desde la base (m)
- Parámetro medio de la flotabilidad
- Emisión para cada contaminante (g/s).
- Los datos del edificio se pueden incorporar para las fuentes de línea (para los cálculos del downwash)
- Las distribuciones de tamaño de partícula se pueden incorporar para las partículas.
- Los factores temporales de la emisión (ciclo diurno, ciclo mensual, hora/sesión, velocidad de viento/clase de estabilidad o factores temperatura-dependientes de la emisión) pueden también ser incorporados.
- Los parámetros de variación arbitraria de la fuente de línea se puede incorporar de un archivo externo.

Datos meteorológicos (para CALPUFF se pueden utilizar diversas formas de entrada para la meteorología):

1. Los datos meteorológicos necesarios para que el modelo CALPUFF funciona son generados en forma tridimensional el procesador CALMET. Las entradas en CALMET incluyen las observaciones superficiales, la velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, nubosidad, altura de capa de mezcla, humedad relativa, la presión superficial, y precipitación (tipo y cantidad), y los datos en la capa superior (velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, y altura).

2. Una sola estación en la superficie genera los datos meteorológicos de la capa superior y con el procesador CTDMPLUS se ajusta con el formato adecuado para altura y superficie (SURFACE.DAT y PROFILE.DAT). Esto permite una variación vertical en los parámetros meteorológicos pero ninguna variabilidad espacial.

3. Los datos meteorológicos de una sola estación se ajustaron a un archivo con formato para aplicarse en ISCST3. Esta opción no explica la variabilidad de los parámetros meteorológicos en el eje horizontal o vertical, a menos que en la manera prevista para el uso de los exponentes estabilidad-dependientes del viento y de los promedios de la temperatura.

Los datos de la malla del terreno y del suelo se requieren como entrada para CALMET cuando se utiliza la opción 1. Los programas geofísicos del procesador son a condición del sistema que modela la base de datos estándar del terreno y es proporcionado por la U.S. Geological Survey (USGS).

Datos del Receptor:

CALPUFF incluye las opciones para de los receptores como malla o diferente a la malla estos son nombrados como receptores discretos. Algunos receptores para terrenos complejos utilizan archivos especiales.

DATOS DE SALIDA

- CALPUFF muestra archivos de concentraciones para cada hora de cada especie modelada,
- Deposición húmeda,
- Deposición seca,
- Aplicaciones de la visibilidad,
- coeficientes de extinción.
- Los procesadores (PRTMET y CALPOST) proporcionan opciones para el análisis y la presentación de los resultados modelados.

Tipo de modelo

CALPUFF es un modelo de estado no estacionario y un modelo gaussiano de bocanada (PUFF) que depende del espacio y del tiempo.

Tipo de Contaminante

Calpuff puede ser usado para contaminantes gaseoso así como para partículas inertes o que presentan reacción química, por ejemplo SO₂, SO₄, NO, NO₂, HNO₃, NH₃, PM-10 y contaminantes tóxicos.

Relación Fuente-Receptor

CALPUFF no contiene ninguna limitación fundamental en el número de fuentes o de receptores. Los archivos del parámetro son a condición del usuario, que especifique el número máximo de fuentes, de receptores, de bocanadas, de especie, de los nodos de la malla, de capas verticales y de otros parámetros del modelo. Sus algoritmos se diseñan para ser convenientes para las distancias del fuente-receptor de diez de metros a cientos de kilómetros.

Transformación Química

La transformación química de la fase gas es tratada usando parámetros dados por el modelo, convirtiendo de SO_2 , SO_4 , NO , NO_2 , HNO_3 , NO_3 , aerosoles orgánicos.

Disponibilidad.

El código del modelo y la documentación esta disponible sin ningún costo en el sitio web: <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>, o entrar en contacto con Joseph Scire, Earth Tech, Inc., 196 Baker Avenue, Concord, MA 01742; Teléfono: (978) 371-4200, Fax: (978) 371-2468, email: jss@src.com.

(EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.)

1.4 OFFSHORE AND COASTAL DISPERSION MODEL (OCD)

OCD es un modelo gaussiano desarrollado para determinar el impacto en la calidad del aire en regiones costeras, tanto en el litoral considerando la capa limite en mar adentro, tomando en cuenta el efecto de fumigación.

OCD es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Para emisiones localizadas fuera de la plataforma continental.
- Aplicable para receptores que se encuentran por debajo de la fuente.
- Para dispersión costa afuera.
- Fuentes de área, de punto y lineales.

Datos de entrada

Datos de la fuente

- Localización de la fuente .
- Emisión (g/s).
- Altura de la chimenea (m).
- Diámetro de la chimenea (m).
- Temperatura de salida del gas (K).
- Elevación desde la base de la chimenea (m).
- Datos de superficie.
- Datos de terreno (malla) (m).

Datos meteorológicos (sobre agua).

- Dirección de viento (grados).
- Velocidad del viento (m/s).
- Altura de capa de mezcla (m).
- Humedad relativa.
- Turbulencia.
- Temperatura del aire (K).
- Temperatura sobre la superficie del agua (K).
- Gradiente de temperatura vertical (opcional) (K).

Datos meteorológicos (sobre tierra).

- Dirección de viento (grados).
- Velocidad del viento (m/s).
- Estabilidad.
- Altura de capa de mezcla (m).
- Temperatura (K).

Datos del receptor

- Localización.
- Elevación sobre la superficie de la tierra (m).
- Elevación sobre la superficie del el agua (m).

Datos de salida

- Tabla de resultados de las concentraciones para cada receptor.
- Datos de entrada especificando la localización de la fuente, así como de los receptores.
- Mapas.

Tipo de modelo

OCD es un modelo de tipo gaussiano.

Tipo de contaminante

Contaminantes primarios.

Transformación química

Se trata el decaimiento exponencial, las emisiones se pueden especificar por mes o día.

Disponibilidad.

El código de computadora está disponible en el sitio web de la EPA SCRAM y también en el diskette (PB 91-505230) del servicio informativo técnico nacional (NTIS), (véase la sección A.0 de Environmental Protection Agency, Appendix A to Appendix W of 40 CFR Part 51 Guideline on Air Quality Models). O en Official contact at Minerals Management Service: Mr. Dirk Herkhof, Parkway Atrium Building, 381 Elden Street, Herndon, VA 20170, telefono: (703) 787-1735.

(EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.)

5.5 COMPLEX TERRAIN DISPERSIÓN MODEL PLUS ALGORITHMS FOR UNSTABLE SITUATIONS (CTDMPLUS)

CTDMPLUS es un modelo refinado para estudios de calidad del aire, usado en la mayoría de las condiciones de estabilidad para aplicar a terrenos de tipo complejo.

CTDMPLUS es apropiado para los siguientes usos:

- Fuentes de punto elevadas
- Elevaciones de terreno por encima de la chimenea
- Áreas rurales o urbanas
- Transporte de la emisión a distancias menores a 50 kilómetros
- Promedios horarios o anuales usando un procesador CHAVG.

DATOS DE ENTRADA

Datos de la fuente

- Localización de la fuente (m)
- Elevaciones del terreno (m)
- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas (m/s)
- Temperatura de salida del gas (K)
- Emisión (g/s)

Datos Meteorológicos

- Dirección del viento (grados)
- Velocidad del viento (m/s)
- Temperatura (K)
- Archivo de perfiles de altura (m)
- Archivo de superficie (m)

Datos de receptor

El usuario puede crear un archivo del terreno digitalizado.

Datos de salida

La salida es impresa e incluye:

- Resultados de las concentraciones
- Datos del terreno
- Datos de meteorología
- Datos Receptores
- Datos fuentes

Tipo de modelo

Modelo de estado estacionario refinado para fuentes puntuales y terrenos complejos.

Tipo de contaminante

Contaminantes primarios no reactivos.

Transformación química

No se trata.

Disponibilidad

El código del modelo está disponible en el Internet en el sitio de Web de EPA SCRAM y también en el diskette (como PB 90-504119) del servicio informativo técnico nacional (**EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.**).

5.6 INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3)

El modelo ISC3 es un modelo de pluma gaussiano de estado estacionario, aplicado para determinar concentraciones de contaminantes emitidos a la atmósfera por fuentes industriales.

ISC3 es apropiado para los siguientes usos:

- Fuentes industriales complejas.
- Áreas rurales o urbanas
- Terreno plano o complejo
- Distancias del transporte menores de 50 kilómetros;
- promedio por hora, mensual y anual.
- Emisiones tóxicas continuas al aire.

DATOS ENTRADA

Datos de fuente:

- Localización de la fuente (m)

- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas (m/s)
- Temperatura de salida del gas (K)
- Emisión (g/s)

Datos meteorológicos:

ISCST3 requiere datos meteorológicos cada hora procesado por el programa RAMMET.

- Fecha (ddmmaa)
- Dirección del viento (grados)
- Velocidad del viento (m/s)
- Estabilidad
- Temperatura (K)
- Altura de capa de mezcla rural y urbana (m)

Datos del receptor:

El usuario puede crear un archivo del terreno digitalizado con coordenadas y elevación del terreno, para los receptores.

Datos de Salida.

Las opciones impresas de la salida incluyen:

- Parámetros del control de programa,
- Datos de fuente,
- Datos del receptor
- Tablas de datos meteorológicos cada hora para cada día especificado
- Concentración o deposición media de los días corridos en cada receptor y total para cualquier combinación deseada de la fuente
- Los valores de la concentración o de la deposición calculada para cualquier combinación deseada de la fuente en todos los receptores para cualquier periodo o día del año
- Las tablas los valores de los máximos de concentración o de la deposición calculada para la combinación deseada de la fuente en cada receptor especificado para cualquier período o día del año.
- Tablas de los 50 valores de concentración o de la deposición máxima, calculados para cualquier combinación deseada de la fuente para cada período especificado.

Tipo de modelo.

ISC3 es un modelo de pluma gaussiano

Tipos de contaminantes.

ISC3 se puede utilizar para modelar emisiones continuas de contaminantes primarios, tóxicos y peligrosos, deposición seca y húmeda.

Transformación química.

Se tratan las transformaciones químicas usando decaimiento exponencial. La constante del tiempo es introducida por el usuario.

Disponibilidad

El código del modelo ISC3 está disponible en Internet en el sitio del Web de EPA SCRAM y también en el diskette (como 2002-500055) del servicio informativo técnico nacional (sección A.0) (**EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.**).

5.7 AERMOD AMS/EPA Regulatory Model-AERMOD

AERMOD es un modelo de dispersión de estado estacionario aplicado para determinar las concentraciones de contaminantes provenientes de una variedad de fuentes. AERMOD simula el transporte y dispersión de contaminantes provenientes de fuentes múltiples de punto, de área y de volumen. Basadas en el estudio de la capa límite atmosférica. Las fuentes pueden localizarse en áreas rurales o urbanas, y los receptores pueden estar localizados en terreno simple o complejo. Así como el efecto de la pluma debido a la interacción con edificios cercanos. El modelo emplea datos meteorológicos secuenciales horarios para estimar las concentraciones promedio desde una hora hasta un año. AERMOD fue diseñado para operar con dos procesadores. AERMET para los datos meteorológicos, y AERMAP par el terreno, ambos usados como datos de entrada al modelo.

AERMOD es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Fuentes de punto, área, y volumen.
- Emisiones en la superficie, cerca de la superficie y elevadas.
- Áreas rurales o urbanas.
- Terreno simple o complejo.
- Transporte a distancias mayores de 50 km.
- Promedios de concentración horarios o anuales
- Emisiones toxicas continuas.

DATOS DE ENTRADA

Datos de la fuente.

- Tipo de fuente (punto, área, volumen).

- Localización (m).
- Emisión (g/s).
- Altura de la chimenea (m).
- Diámetro interior de la chimenea (m).
- Velocidad de salida del gas (m/s).
- Temperatura del gas (K).
- Dimensiones de la fuente (m).
- Elevación de la fuente (m).

DATOS METEOROLOGICOS

AERMOD requiere de dos bases de datos meteorológicos, de superficie y altura.

Datos de superficie:

- Año.
- Mes (1-12).
- Día (1-31).
- Día Juliano (1-366).
- Hora (1-24).
- El flujo del calor sensible (W/m²) [no usado por AERMOD, pero leída para propósitos de información solamente].
- Velocidad superficial de fricción (m/s).
- Escala convectiva de velocidad (m/s).
- Potencial vertical del Gradiente de temperatura en la capa de 500 m sobre la capa límite.
- Altura de la capa de límite convectiva (m).
- Altura de la capa de límite mecánica (m).
- Longitud de Monin-Obukhov (m).
- Longitud superficial de la rugosidad (m).
- Cociente de Bowen [no usado por AERMOD, pero leída para propósitos de información solamente].
- Albedo [no usado por AERMOD, pero leída para los propósitos de información solamente].
- Velocidad del viento (m/s) usada en los cálculos.
- Dirección del viento (grados) que corresponde a la velocidad de viento arriba.
- Altura a la cual el viento arriba es medido (m).
- Temperatura (k) usada en los cálculos.
- Altura en la cual la temperatura arriba es medida (m).

Datos de altura:

- Año.
- Mes (1 - 12).
- Día (1 -31).
- Hora (1 - 24).
- Altura de medición (m).
- Bandera superior = 1, si éste es el nivel (más alto) pasado para esta hora, o 0, si no.
- Dirección del viento para el nivel actual (grados).
- Velocidad del viento para el nivel actual (m/s).
- Temperatura en el nivel actual (k).
- Desviación de estándar de la dirección del viento (grados).
- Desviación de estándar de la velocidad del viento vertical (m/s).

DATOS DEL RECEPTOR:

- Los datos generados para el receptor son procesados por AERMET
- Coordenadas del receptor
- Elevaciones.
- Altura sobre la tierra

DATOS DE SALIDAS

La información de salida que es presentada de forma impresa es la siguiente:

- Tabla de promedio de concentraciones por receptor para promedios especificados.
- Tablas de concentraciones máximas.
- Graficas de las zonas de impacto.

TIPO DE MODELO

AERMOD es un modelo de estado estacionario, que usa en la vertical distribución gaussiana para condiciones estables, y en la horizontal condiciones convectivas.

TIPO DE CONTAMINANTES

AERMOD es aplicado a contaminantes primarios y emisiones continuas de contaminantes peligrosos.

RELACION FUENTE RECEPTOR.

El usuario de AERMOD puede especificar la localización de la fuente y del receptor. Los datos de elevación de ambos se incorporan en los datos de entrada al modelo, apoyado por el procesador AERMET y utilizando mapas digitales del terreno.

TRANSFORMACION QUIMICA

La transformación química es tratada con un exponencial de decaimiento. Este coeficiente de decaimiento es ingresado al modelo por el usuario.

(EPA, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51.)

6.- MODELOS RECOMENDADOS PARA FUENTES INDUSTRIALES.

El modelo de dispersión recomendado para estudios de impacto en la calidad del aire por fuentes industriales, es el ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term 3), debido a la sencillez del manejo de datos y aplicación, ya que el usuario no requiere de gran experiencia como modelador para su uso. Por lo tanto se eligió este modelo para fines del presente trabajo de tesis.

Existen en el mercado empresas que ofrecen los modelos de dispersión de la EPA, manejados en un ambiente más amigable y con mayores alcances. Entre las compañías más importantes se encuentra: Lake's Environmental, Trinity Consultant's, Beeline Software, Air Dispersión Model, Global Enviro Software (GES), etc

ISC-AERMOD View, es un modelo de dispersión refinado generado por Lake's Environmental. Compañía dedicada a crear software para el estudio del impacto en la calidad del aire por diferentes tipos de fuentes y para diferentes casos que se puedan presentar. Estos modelos, están basados principalmente en los modelos desarrollados por EPA, quien se encarga de los lineamientos en materia de regulación en modelos de dispersión de calidad del aire, que se encuentran en la Guía sobre Modelos de Calidad del Aire (Guideline on Air Quality Models) disponible en su sitio Web.

ISC-AERMOD View fue desarrollado especialmente para usar como herramienta Microsoft Windows en sus versiones Windows 95, Windows 98 o Windows NT. Las opciones para modelar disponibles por el programa son:

ISCST3 (Industrial Source Complex – Short Term Model)
AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model)
ISC-PRIME (Industrial Source Complex – Plume Rise Model Enhancement)

6.1 ISCST3 (Industrial Source Complex – Short Term Model).

El modelo de dispersión ISCST3 es un modelo de estado estacionario de pluma Gaussina, que se puede utilizar para determinar concentraciones de contaminantes y/o deposición, provenientes de una variedad de fuentes asociadas a fuentes industriales complejas.

ISCST3 es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Fuentes industriales complejas.
- Áreas urbanas o rurales.
- Terrenos planos o complejos.
- Transporte de contaminantes a distancias menores a 50 kilómetros.
- Puede ser usado para modelar contaminantes primarios y emisiones continuas de contaminantes tóxicos y peligrosos.
- Manejo de fuentes múltiples incluyendo (punto, área, volumen y áreas abiertas)
- La emisión puede ser constante o variar por mes, sesión, hora el día u otro periodo de variación. Estos factores variables de la emisión se pueden especificar para una sola fuente o para un grupo de fuentes.

El modelo puede explicar el efecto aerodinámico debido a la cavitación (downwash) provocado por los edificios próximos a la fuente en emisión.

El modelo contiene algoritmos para modelar los efectos de deposición húmeda y seca de partículas grandes y modelar los efectos de barrido de la precipitación de los gases o las partículas.

La localización de los receptores en una rejilla o como receptores discretos en un sistema cartesiano o un sistema polar.

ISCST3 incorpora el algoritmo COMPLEX1 de investigación del modelo de dispersión para receptores en terreno complejo.

Los datos meteorológicos en tiempo real usados en el modelo, explican las condiciones atmosféricas que afectan la distribución de los contaminantes y el impacto en el área.

Los resultados pueden ser en concentración, deposición total deposición seca o deposición húmeda.

6.1.1 Entradas (Input).

Los datos de entrada que requiere ISC –AERMOD para su ejecución son cinco:

1.-Control Pathway (CO): donde se especifica el escenario a modelar y control total para el funcionamiento del modelo.

2.- Source Pathway (SO): donde se define las fuentes de emisión del contaminante.

3.- Receptor Pathway (RE): donde se define los receptores para determinar la localización del impacto en la calidad del aire.

4.- Meteorology Pathway (ME): donde se define las condiciones atmosféricas del área a modelar, ya que estas determinan la distribución en el área de impacto.

5.- Terrain Grid Pathway (TG): donde se tiene la opción de especificar el tamaño de la malla del terreno usada para calcular la depleción en terrenos complejos o elevados.

6.1.2 Salidas (Output).

Los datos de salida del ISC –AERMOD son:

1.- Output Pathway (OU): donde se define cuales de los datos son necesarios reunir para su análisis en el impacto en la calidad del aire (**Jesse L. 1992-2000**).

Las salidas también pueden ser pueden ver en forma grafica donde se muestran las isolíneas de concentración. El programa da la opción de anexar un mapa de la zona de estudio con la finalidad de hacer mas clara la visualización de la zona de afectación o de impacto.

7.- CASO EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MODELO ISCST3.

7.1 CFE, Industria de Generación de Energía Eléctrica.

En el país existen dos industrias importantes para el desarrollo sustentable del mismo. Petróleos Mexicanos (PEMEX), y La Comisión Federal de Electricidad (CFE), dada la importancia de la CFE en la generación eléctrica realizada en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nuclear; la tomaremos como caso ejemplo para el presente trabajo de tesis, enfocándonos en la central termoeléctrica, considerando el uso de combustóleo y gas natural en ciclo combinado CC como combustibles.

La capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica es de 45,575.92* Megawatts (MW), de los cuales: 8,250.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 10,269.58 MW son de hidroeléctricas; 22,128.89 MW corresponden a las termoeléctricas de CFE; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoelectrica, y 2.18 MW a la eoloeléctrica.

Fig. 7.1 Capacidad efectiva instalada de generación * CFE 2006

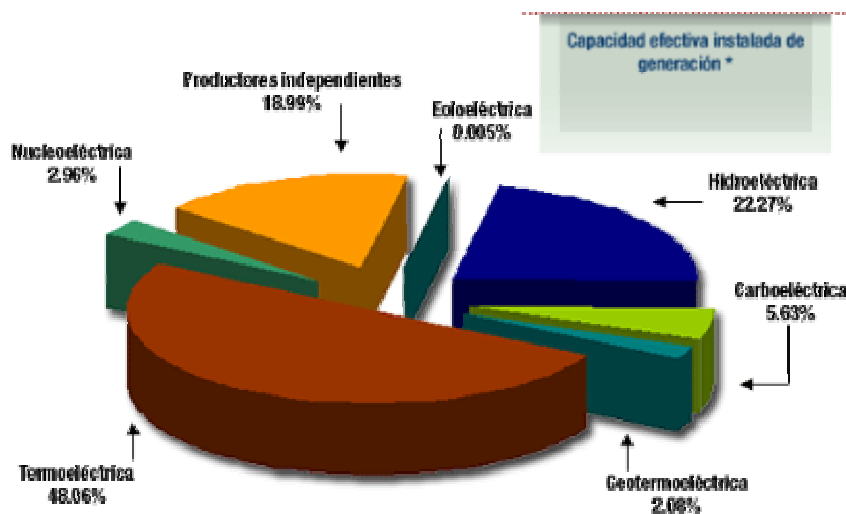
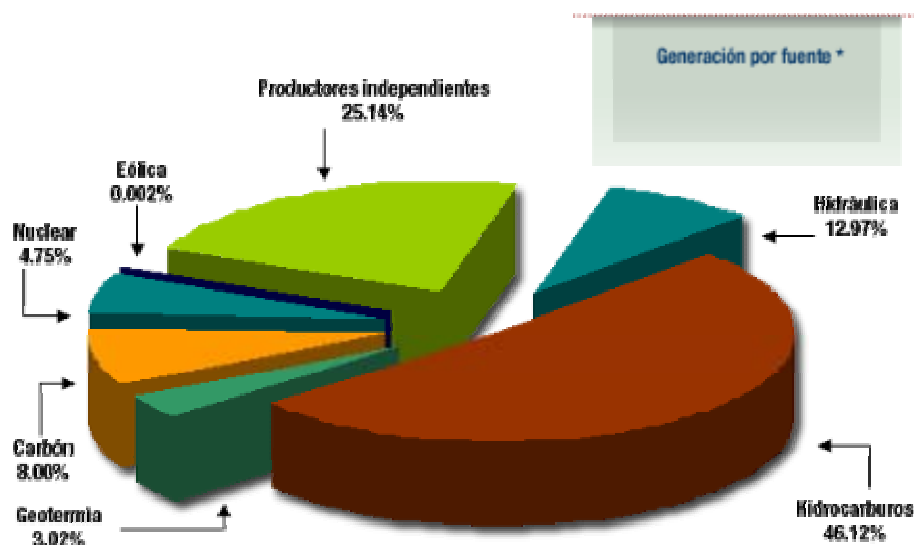


Fig. 7.2 Generación por fuente * CFE 2006



Desarrollo de la capacidad instalada y de la generación

Para cumplir el objetivo de CFE de cubrir las necesidades de energía eléctrica de la población, de la industria, la agricultura, el comercio y los servicios en México, la generación de electricidad ha ido en aumento, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 7-1 Capacidad instalada y Generación (* Incluye 18 centrales de productores independientes) CFE, Información a junio de 2006.

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006*
Capacidad (MW)	CFE	33,920	33,944	34,384	34,839	34,901	36,236	36,855	36,971	38,422	37,325	37,406
	PIE'S	-	-	-	-	484	1,455	3,495	6,756	7,265	8,251	8,771
	Total	33,920	33,944	34,384	34,839	35,385	37,691	40,350	43,727	45,687	45,576	46,177
Generación (TWh)	CFE	149.97	159.83	168.98	179.07	188.79	190.88	177.05	169.32	159.53	170.07	81.63
	PIE'S	-	-	-	-	1.20	4.04	21.83	31.62	45.85	45.56	27.41
	Total	149.97	159.83	168.98	179.07	190.00	194.92	198.88	200.94	205.39	215.63	109.05

Centrales en construcción

Tabla 7-2 Centrales en construcción. CFE junio 2005

Proyectos en construcción	Consortio	Tipo	Modalidad	CNG (MW)	Operación comercial
Baja California Sur I	Solucionera ingeniería S.A. de C.V.	CD	OPF	41.3	20-May-05
Hermosillo (conv. TG/CC)	Abener Hermosillo	CC	OPF	88	16-May-05
El Cajón U1 y 2	Constructora internacional de infraestructura S.A. de C.V.	CH	OPF	746	31-May-07
El Encino (conv. TG/TC)	Dragados proyectos industriales de México, S.A. de C.V./Dragados industrial S.A.	CC	OPF	65.3	06-Ago-06
Altamira V	Energía Altamira S.A. de C.V. (iberdrola)	CC	PEE	1121	01-Nov-06
Tuxpan V	Electricidad sol de Tuxpan S. de R.L. de C.V. (Mitsubishi)	CC	PEE	495	01-Sep-06
Baja California Sur II	Abener México S.A. de C.V./Abener energía S.A	CD	OPF	42.8	15-Ene-07
Valladolid	Cía. de generación Valladolid S. de R.L. de C.V.	CC	PEE	525	01-Jun-06
Tamazunchale	Iberdrola energía Tamazunchale S.A. de C.V.	CC	PEE	1135	01-Jun-07

TG: Turbogas, CC: Ciclo combinado, CD: Central Diesel, CH: Central Hidroeléctrica, OPF: Obra Publica Financiada y PEE: Productor Externo de Energía

GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA

En el proceso termoeléctrico existe una clasificación de tipos de generación, según la tecnología utilizada para hacer girar los generadores eléctricos, denominándoseles como sigue:

- Vapor
Con vapor de agua se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Turbogás
Con los gases de combustión se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Combustión Interna
Con un motor de combustión interna se produce el movimiento del generador eléctrico.

- Ciclo Combinado (CC)
Combinación de las tecnologías de turbogás y vapor. Constan de una o más turbogás y una de vapor, cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico.
- Otra clasificación de las centrales termoeléctricas corresponde al combustible primario para la producción de vapor, según:
 - Vapor (combustóleo, gas natural y diesel)
 - Carboeléctrica (carbón)
 - Dual (combustóleo y carbón)
 - Geotermoeléctrica (vapor extraído del subsuelo)
 - Nucleoeléctrica (uranio enriquecido)

Para el cierre de septiembre de 2006, la capacidad efectiva instalada y la generación de cada una de estos tipos de generación termoeléctrica, es la siguiente:

Tabla 7-3 Centrales Termoeléctricas.

Tipo	Capacidad en MW	Generación GWh
Vapor	12,710.50	64,512
Dual	2,100.00	14,275
Carboeléctrica	2,600.00	18,380
Ciclo Combinado (CFE)	4,780.22	26,011
Ciclo Combinado (*productores independientes de energía)	8,250.90	45,559
Geotermoeléctrica	959.50	7,299
Turbogás	2,356.48	1,155
Combustión interna	181.69	780
Nucleoeléctrica	1,364.88	10,805
Total	35,304.17	188,775

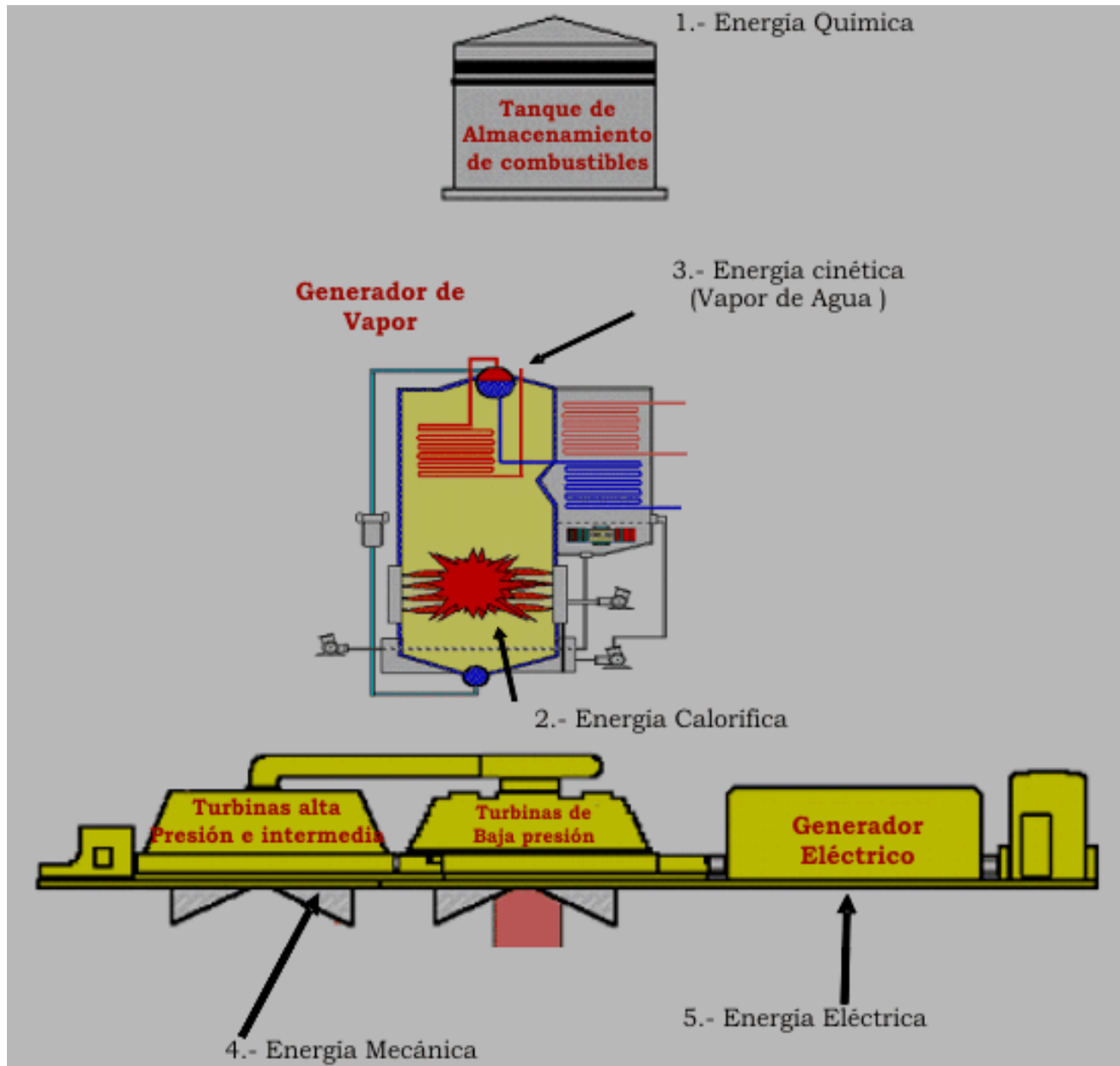
* Centrales de ciclo combinado: Mérida III, Hermosillo, Saltillo, Tuxpan II, Río Bravo II, Bajío (El Sáuz), Monterrey III, Altamira II, Tuxpan III y IV, Campeche, Mexicali, Chihuahua III, Naco Nogales, Altamira III y IV, Río Bravo III, La Laguna II y Río Bravo IV.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR

Una central termoeléctrica de tipo vapor es una instalación industrial en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica para producir vapor, este se conduce a la turbina donde su energía cinética se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador, para producir energía eléctrica. Fig. 7-3

Secuencia de transformaciones de energía

Fig 7.3 Transformación de la energía (CFE junio 2005).

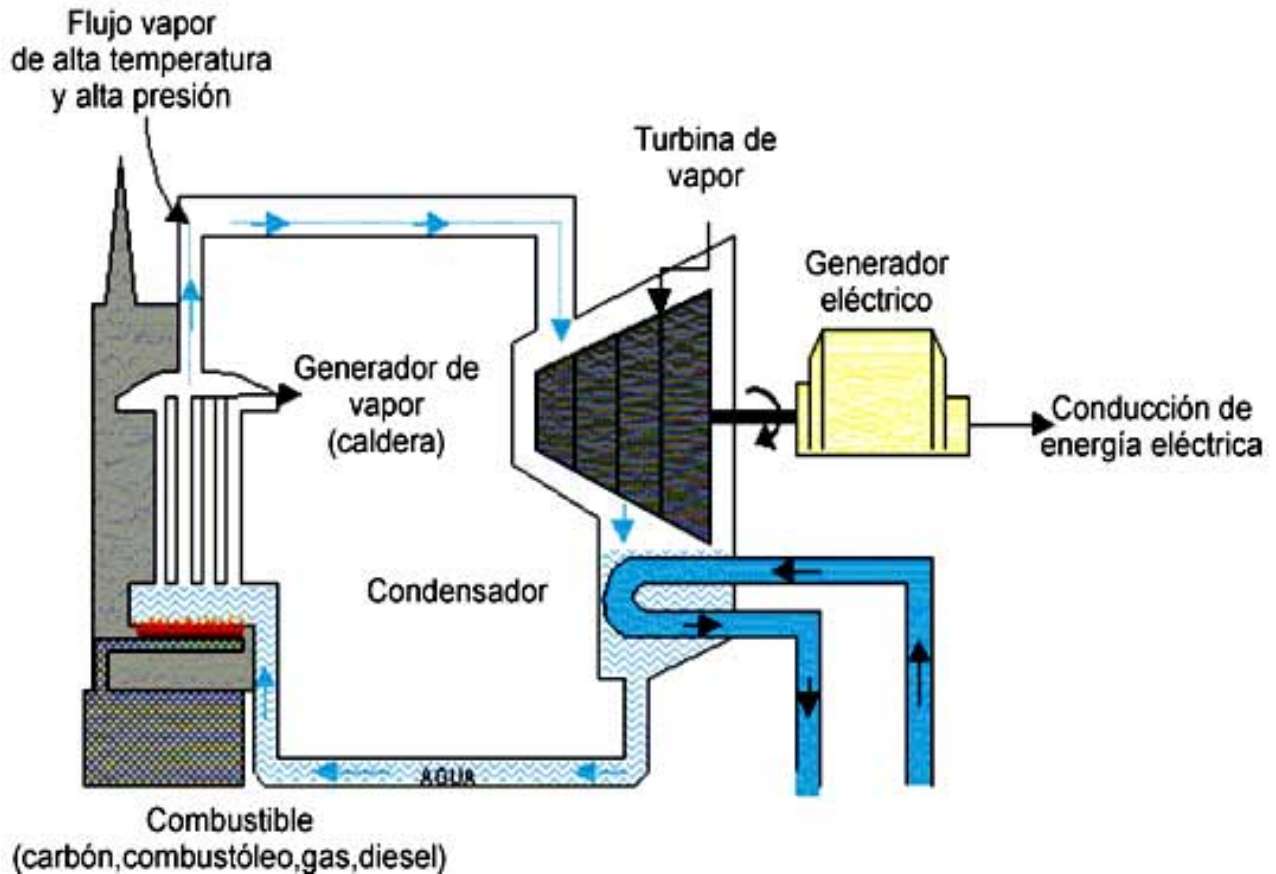


CENTRALES TERMOELÉCTRICA TIPO VAPOR

Estas centrales utilizan el poder calorífico de combustibles derivados del petróleo (combustóleo, diesel y gas natural), para calentar agua y producir vapor con temperaturas del orden de los 520°C y presiones entre 120 y 170 kg/cm², para impulsar las turbinas que giran a 3600 r.p.m. Fig 7-4

Esquema de una central termoeléctrica tipo vapor:

Fig. 7.4 Esquema de una central termoeléctrica tipo vapor, (CFE junio 2005).



7.2 Proceso de combustión para la generación de energía eléctrica, Caso 1: Combustóleo.

La tecnología más empleada en México es la generación termoeléctrica. El generador de vapor transforma la energía térmica, la cual es aprovechada para llevar el agua a la fase de vapor. Este vapor, ya sobrecalentado, se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en mecánica, misma que se transmite al generador para producir energía eléctrica. Este tipo de centrales puede utilizar como fuente de energía primaria combustóleo o gas natural. En la actualidad en el país se utiliza básicamente combustóleo **(CONAE 2006)**.

El equipo principal para la generación eléctrica de una termoeléctrica que usa combustóleo como combustible está constituido principalmente por: generador de vapor, turbina de vapor, condensador y generador eléctrico.

Si es una central termoeléctrica de combustóleo, éste es precalentado para que fluidifique, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible.

Una vez en la caldera, los quemadores provocan la combustión del combustóleo, generando energía calorífica. Esta convierte a su vez, en vapor a alta temperatura el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera. Este vapor entra a gran presión en la turbina de la central, la cual consta de tres cuerpos -de alta, media y baja presión, respectivamente- unidos por un mismo eje.

En el primer cuerpo (alta presión) hay centenares de álabes o paletas de pequeño tamaño. El cuerpo a media presión posee asimismo centenares de álabes pero de mayor tamaño que los anteriores. El de baja presión, por último, tiene álabes aún más grandes que los precedentes. El objetivo de esta triple disposición es aprovechar al máximo la fuerza del vapor, ya que este va perdiendo presión progresivamente, por lo cual los álabes de la turbina se hacen de mayor tamaño cuando se pasa de un cuerpo a otro de la misma. Hay que advertir, por otro lado, que este vapor, antes de entrar en la turbina, ha de ser cuidadosamente deshumidificado. En caso contrario, las pequeñísimas gotas de agua en suspensión que transportaría serían lanzadas a gran velocidad contra los álabes, actuando como si fueran proyectiles y erosionando las paletas hasta dejarlas inservibles.

El vapor de agua a presión, por lo tanto, hace girar los álabes de la turbina generando energía mecánica. A su vez, el eje que une a los tres cuerpos de la turbina (de alta, media y baja presión) hace girar al mismo tiempo a un alternador unido a ella, produciendo así energía eléctrica. Esta es vertida a la red de transporte a alta tensión mediante la acción de un transformador.

Por su parte, el vapor -debilitado ya su presión- es enviado a unos condensadores. Allí es enfriado y convertido de nuevo en agua. Esta es conducida otra vez a los tubos que tapizan las paredes de la caldera, con lo cual el ciclo productivo puede volver a iniciarse.

Dentro de la caldera se produce el vapor que acciona los álabes de los cuerpos de las turbinas de alta presión, media presión y baja presión, haciendo girar el rotor de la turbina que se mueve solidariamente con el rotor del generador, donde se produce energía eléctrica, la cual es transportada mediante líneas de transporte a alta tensión a los centros de consumo.

Después de accionar las turbinas, el vapor pasa a la fase líquida en el condensador. El agua obtenida por la condensación del vapor se somete a diversas etapas de calentamiento y se inyecta de nuevo en la caldera en las condiciones de presión y temperatura más adecuadas para obtener el máximo rendimiento del ciclo.

El sistema de agua de circulación que refrigera el condensador puede operarse en circuito cerrado, trasladando el calor extraído del condensador a la atmósfera mediante torres de refrigeración, o descargando dicho calor directamente al mar o al río.

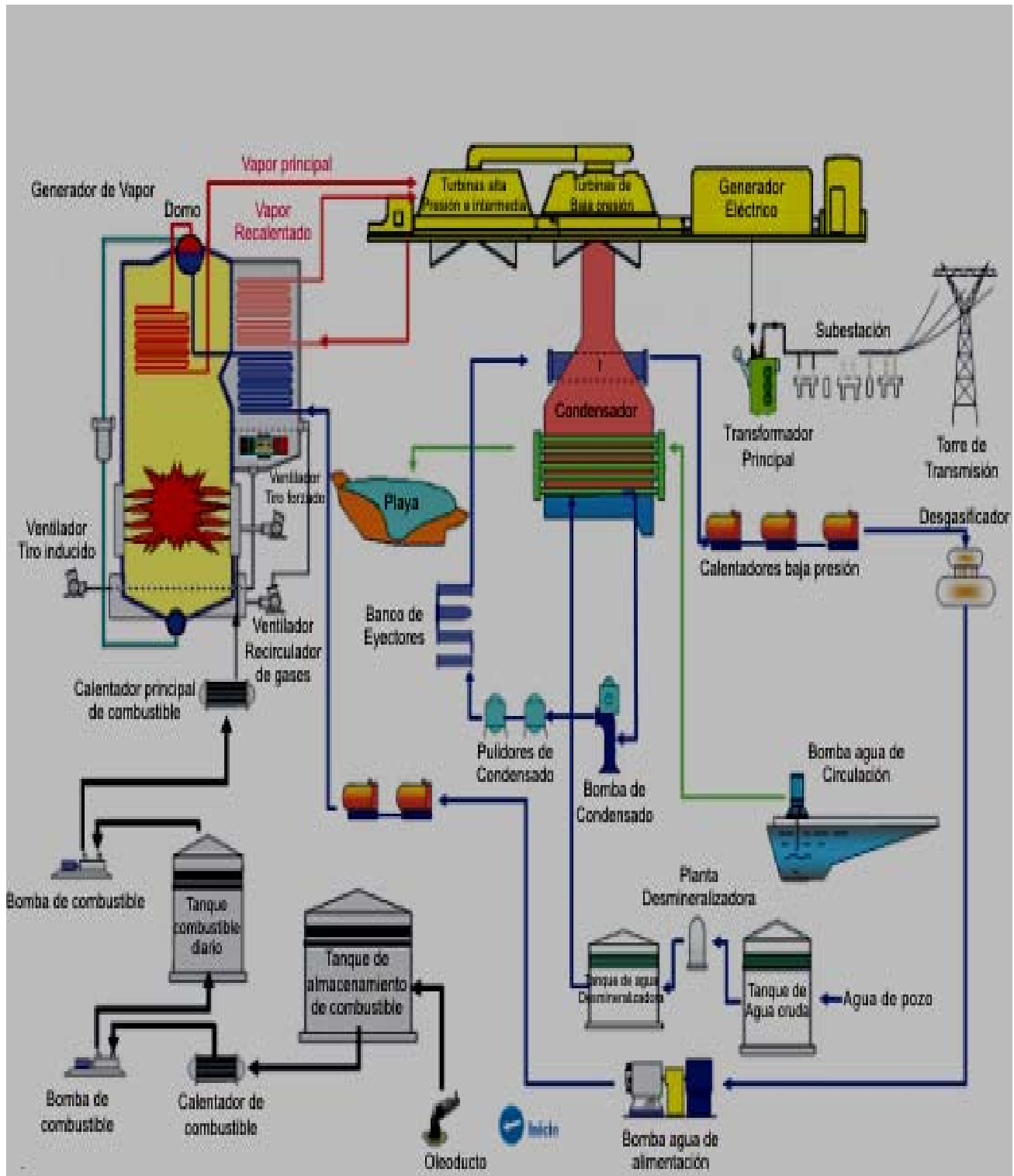
Durante la combustión del combustóleo se emiten a la atmósfera distintos contaminantes entre los que se encuentran contaminantes criterio y contaminantes peligrosos, tanto orgánicos como inorgánicos (**USEPA, 2005**).

Las emisiones por consumo de combustóleo son las siguientes:

Tabla 7-4 Emisiones del Combustóleo. AP-42,2005

CONTAMINANTES CRITERIO	COMPUESTOS ORGANICOS	METALES
SO ₂	BENZENO	ANTIMONIO
	ETILBENZENO	ARSENICO
	FORMALDEHIDO	BARIO
SO ₃	NAFTALENO	BERILIO
	1,1,1-TRICLOROETANO	CADMIO
	TOLUENO	CORO
NO _x	o-XILENO	CROMO
	ACENAFPENTANO	CROMO VI
	ACENAFPENTILENO	COBALTO
CO	ANTRACENO	COBRE
	BENZOANTRACENO	FLUORIDIO
	BENZOFLUORANTENO	PLOMO
PARTICULAS	BENZOPIRYLENO	MANGANESO
	CHRYSENO	MERCURIO
	DIBENZOANTRACENO	MOLIBDENO
COV	FLUORANTENO	NICKEL
	FLUORENO	FOSFORO
	INDO(1,2,3-cd)PYRENO	SELENIO
COT	PENANTRENO	VANADIO
	PIRENO	ZINC
	OCTACLORO DIBENZODIOXINA	
METANO		

Fig. 7.5 Esquema para combustóleo (CFE, 2005).
Información actualizada al 31 de diciembre de 2005.



7.3 Proceso de combustión para la generación de energía eléctrica, Caso 2: Gas natural.

Descripción del proceso de las centrales de ciclo combinado CC

Las centrales de ciclo combinado CC están integradas por dos tipos diferentes de unidades generadoras: turbogás y vapor. Una vez terminado el ciclo de generación de la energía eléctrica en las unidades turbogás, los gases desechados con una alta temperatura, se utilizan para calentar agua llevándola a la fase de vapor, que se aprovecha para generar energía eléctrica adicional.

La combinación de estos dos tipos de generación, permiten el máximo aprovechamiento de los combustibles utilizados, dando la mejor eficiencia térmica de todos los tipos de generación termoeléctrica. Figura 7.6.

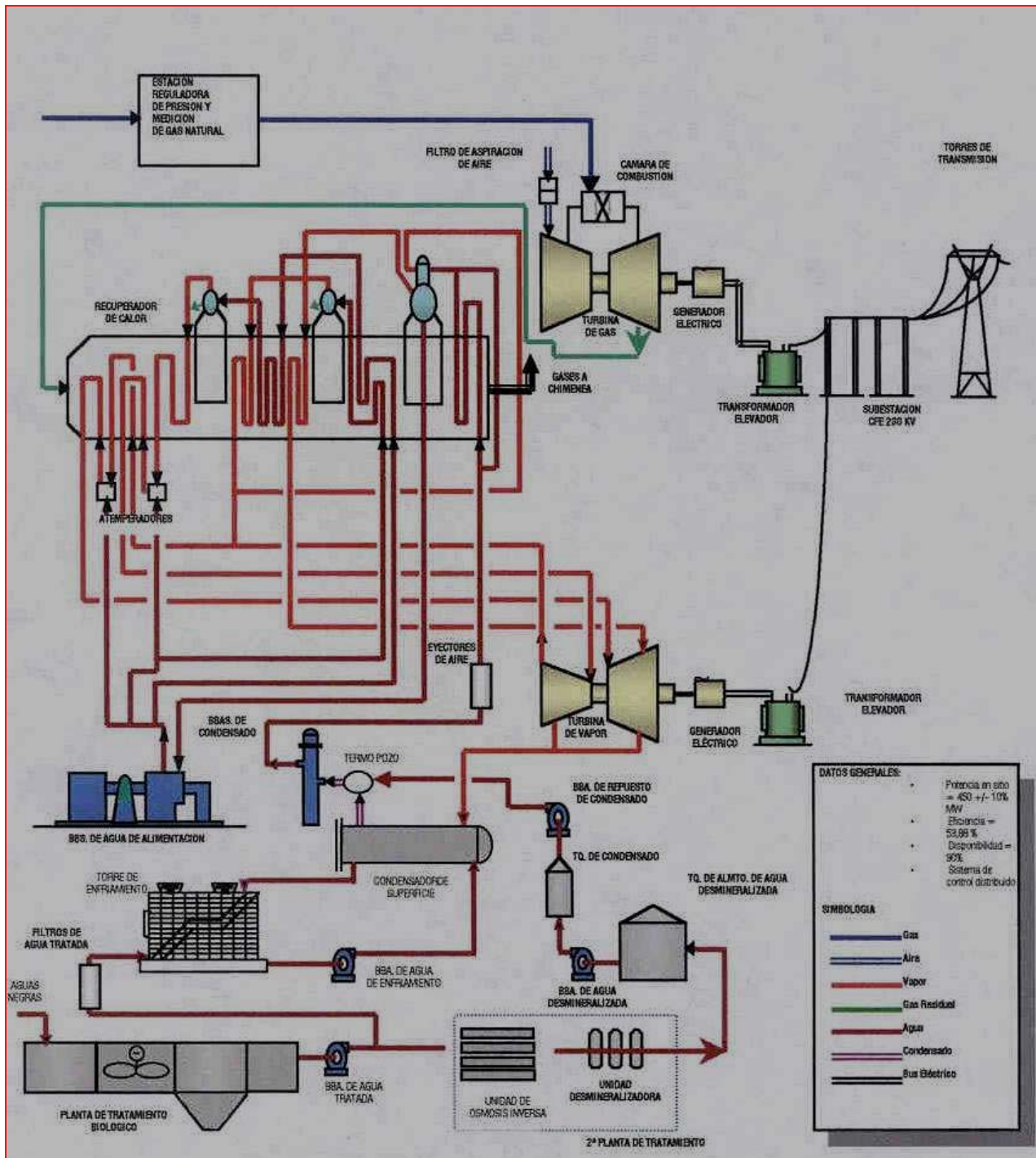
Durante la combustión del combustóleo se emiten a la atmósfera distintos contaminantes entre los que se encuentran contaminantes criterio y contaminantes peligrosos, tanto orgánicos como inorgánicos (**USEPA, 2005**).

Las emisiones por consumo de Gas Natural son las siguientes:

Tabla 7-5 Emisiones del Gas Natural. AP-42,2005

CONTAMINANTES CRITERIO	PELIGROSOS	METALES
NO2	1,3 BUTADIENO	ARSENICO
PLOMO	ACETALDEHIDO	BERILIO
	ACROLEIN	CADMIO
SO2	BENZENO	CROMO
METANO	ETILBENZENO	PLOMO
	FORMALDEHIDO	MANGANESO
COV	NAFTALENO	MERCURIO
COT	PAH	NICKEL
	OXIDO DE PROPILENO	
PARTICULAS	TOLUENO	SELENIO
	XILENO	

FIG. 7.6 Esquema del proceso de ciclo combinado (CC), (CFE, 2005).



El paquete o arreglo general de una planta de ciclo combinado CC se puede esquematizar de acuerdo con diversas posibilidades. El número de unidades turbogás por unidad de vapor varía desde uno a uno hasta cuatro a uno. En cuanto al criterio de diseño de la fase de vapor existen tres variantes:

Sin quemado adicional de combustible.

Con quemado adicional de combustible para control de la temperatura.

Con quemado adicional de combustible para aumentar la temperatura y presión del vapor.

Una ventaja de este tipo de plantas es la posibilidad de construirlas en dos etapas. La primera, turbogas, puede ser terminada en un plazo breve e inmediatamente iniciar su operación; posteriormente, se puede terminar la construcción de la unidad de vapor, y completarse así el ciclo combinado.

Etapa de operación y mantenimiento

Proceso de generación de energía eléctrica

El proceso de generación de energía eléctrica de una Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado consta de módulos tipo multiflecha, con turbinas de gas y de vapor que operan en ciclo combinado (Ciclo Brayton y Rankine). En las Figuras 7.7 y 7.8 se muestran estos ciclos.

La Figura 7.7 muestra esquemáticamente el funcionamiento del ciclo Brayton. Los gases de combustión, después de mover la turbina, pueden ser descargados directamente a la atmósfera o reutilizados para el siguiente ciclo.

El generador de vapor transforma el poder calorífico de los gases de desecho en energía térmica, la cual es aprovechada para llevar el agua a la fase de vapor. Este vapor, ya sobrecalentado, es conducido a la turbina de vapor donde su energía cinética es convertida en trabajo mecánico, mismo que es transmitido al generador para producir energía eléctrica (El ciclo térmico de esta etapa es el denominado "Rankine"). El arreglo de este ciclo de generación se muestra en la Figura 7.8.

Fig. 7.7 Ciclo Brayton (CFE, 2004).

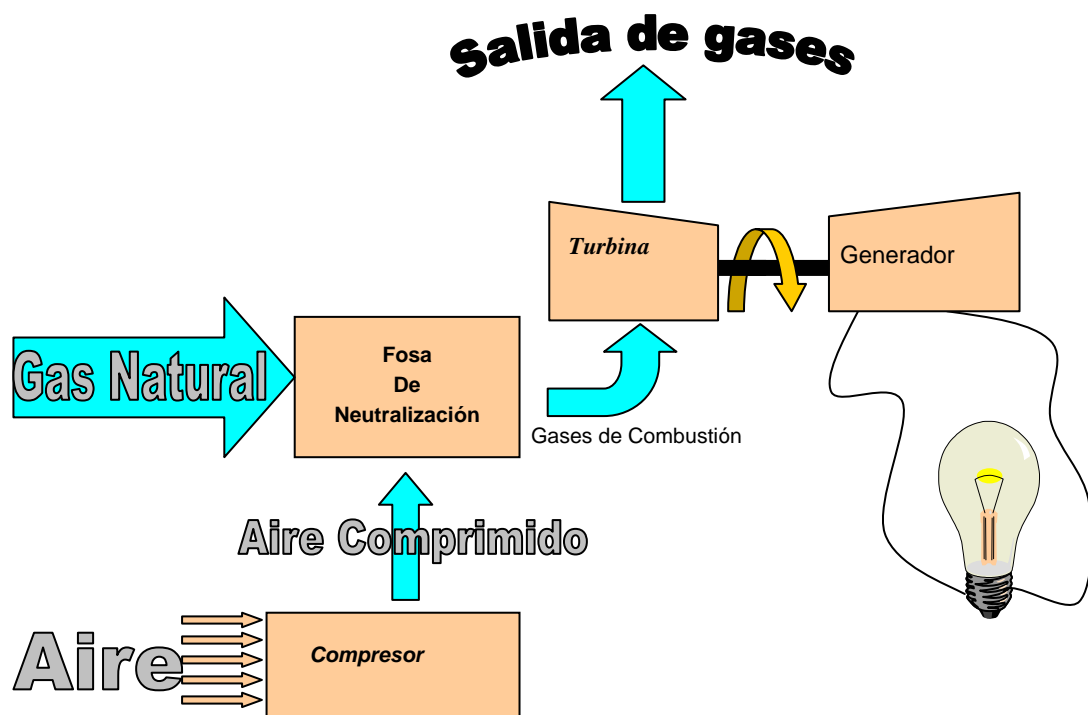
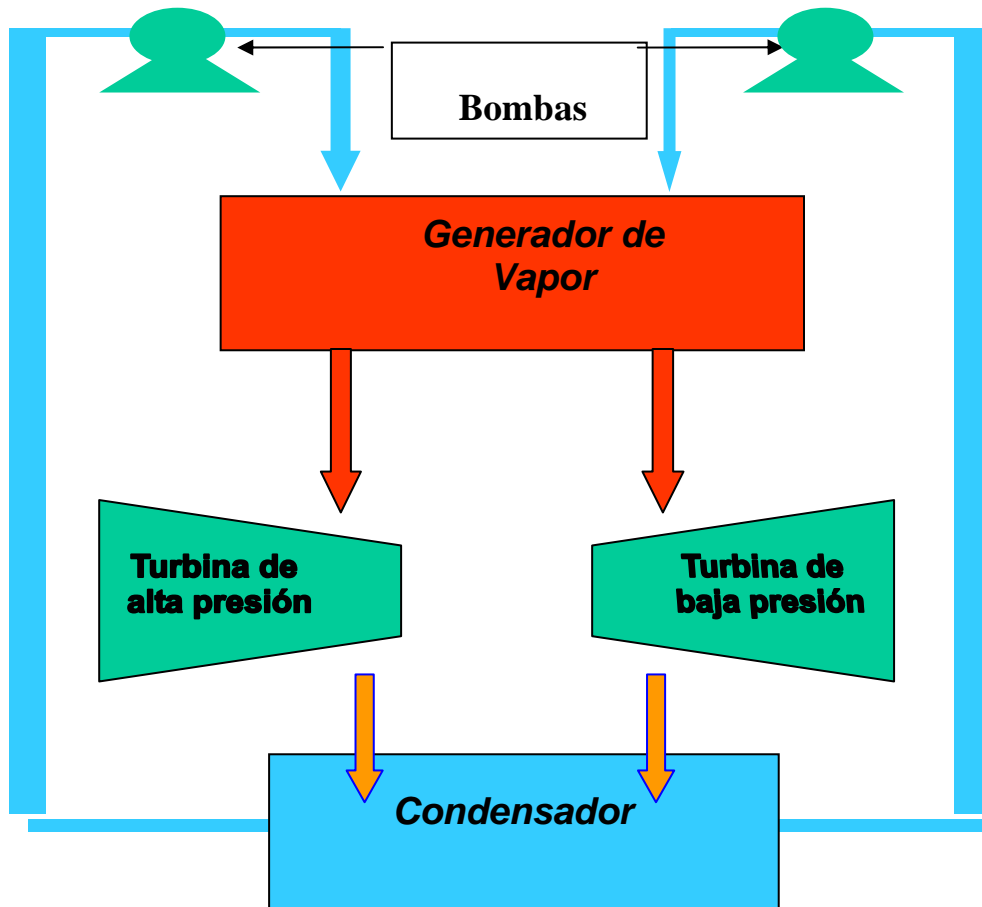


Fig. 7.8 Ciclo Rankine (CFE, 2005).



El proceso de operación de la Central, inicia con la combustión de gas en la Turbina de gas, la cual está acoplada a un generador eléctrico; la energía generada se envía al transformador principal, donde se eleva la tensión para entregar la energía a la subestación eléctrica y al sistema eléctrico nacional.

El combustible (gas natural) se alimentará a una cámara de combustión, los gases que se generan en esta cámara se introducen en una turbina de gas que se encuentra acoplada a un generador eléctrico; los gases de combustión hacen girar los álabes de la turbina, la cual, por estar acoplada a la misma flecha del generador eléctrico, lo hace girar produciendo energía eléctrica.

Una vez que los gases de combustión han realizado su trabajo en la turbina de gas, se alimentan a un equipo llamado recuperador de calor, el cual está integrado por tubos que en su interior llevan agua previamente tratada. Los gases de combustión incrementan la temperatura del agua de los tubos convirtiéndola en vapor. El generador de vapor por recuperación de calor genera vapor a una presión de 10,212 KPa y una temperatura de 540 ° C. El agua necesaria para la generación de vapor proviene de un río y es tratada en una planta de tratamiento de agua con el fin de eliminar la mayor cantidad de impurezas y sales.

El vapor generado en el recuperador de calor es conducido a una turbina de vapor, la cual, al igual que la turbina de gas, se encuentra acoplada a un generador. La turbina de vapor cuenta con tres secciones: de alta, media y baja presión, el vapor de escape de la sección

de alta presión es recalentado en el generador de vapor y usado en la sección de media y baja presión. El vapor de escape de la sección de baja presión se condensa en el condensador, que funciona como un intercambiador de calor de circuito cerrado (empleando agua fría). Mediante la utilización de este condensador se garantiza un bajo consumo de agua de repuesto al ciclo; ya que el agua obtenida en el condensador es nuevamente utilizada en el proceso.

Por otra parte, los gases de combustión después de haber pasado por el recuperador de calor, son emitidos a la atmósfera a través de una chimenea. La energía eléctrica generada por los turbogeneradores (gas y vapor), se enviará a través de un bus que la conducirá a los transformadores principales, en donde se elevará su tensión para enviarla a la subestación y posteriormente distribuirla a la red eléctrica por medio de las líneas de transmisión.

La Central estará diseñada para operar en forma continua las 24 hrs. del día los 365 días del año en carga base, esto es, en un régimen de carga entre 85% a 100% de su capacidad todo el tiempo que esté disponible, durante toda la vida útil de la Central que es de por lo menos 25 años.

Dentro del proceso de generación, las principales fuentes emisoras de contaminantes serán las siguientes:

Las chimeneas de los recuperadores de calor que emitirán gases de combustión cuyo contaminante principal será el NO_x, dicha emisión tendrán una concentración inferior a la establecida en la NOM-085-SEMARNAT-1994.

La descarga de la purga de la torre de enfriamiento que será un efluente con alta conductividad, pero que cumplirá con la NOM-001-SEMARNAT-1994 en todos sus parámetros.

7.4.- Características generales del proceso

Para el caso ejemplo a modelar se considero las siguientes características de la central termoeléctrica; una planta que consta de 6 unidades generadoras, de vapor con una capacidad instalada total de 2,100 MW, con una producción de alrededor de 15,000 GWh anual, consumiendo mas de 3.7 Mm³ de combustóleo.

El arreglo de las chimeneas esta distribuido en 2 unidades; la primera unidad consta de 2 chimeneas y la segunda unidad se compone de 4 chimeneas.

7.4.1 Características físicas

Los siguientes datos aplican para las 6 chimeneas, y servirán como datos de entrada al modelo.

Elevación desde la base	100 m.
Altura de la chimenea	60 m.
Temperatura del gas	386 °K.
Velocidad de salida de los gases	19.6 m/s.
Diámetro de la chimenea	5.20 m.

7.5.- Modelación ISCST3

La modelación del caso ejemplo se realizará con el software adquirido a la compañía Lake's Environmental, Lic. ISCAY0001606-ver.3.01d y con las facilidades prestadas por la Sección de Contaminación Ambiental (SCA), del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

COMBUSTÓLEO

Existen dos principales categorías de combustibles para ser quemados en fuentes de combustión: el diesel y combustóleo. Estos combustibles se distinguen por el número de grado, en el diesel encontramos No 1 y No 2; el No 5 y el No 6 pertenecen al combustóleo; y el No 4 es una mezcla de diesel y de combustóleo (**EPA, AP-42, 2005.**). Dadas las características del combustóleo producido en México, el fuel oil No 6 es el equivalente a éste (**SEMARNAT, 2001**).

Emisiones

Las emisiones provenientes de la combustión del combustóleo dependen: del grado y la composición del combustible, tipo y tamaño del quemador, las prácticas de quemado, y el nivel de mantenimiento del equipo. Las emisiones a la atmósfera por el uso de combustóleo como combustible son: Partículas (PST), SO₂, NO₂, CO (en mínimas cantidades), COT (compuestos orgánicos totales en mínimas cantidades) tabla 8-2 (**EPA, AP-42, 2005**).

GAS NATURAL CC (Ciclo Combinado)

El gas natural esta considerado como uno de los combustibles más usados, principalmente en la industria de la generación eléctrica, y en la industria como generador de vapor y para calentar espacios comerciales. El gas natural consiste en un alto porcentaje de de metano (aproximadamente 85%) y varia en la cantidad de etano, propano, butano, y gases inertes (generalmente nitrógeno, dióxido de carbono y helio).

En promedio del poder calorífico del gas natural es aproximadamente de 1,020 Btu/scf, pero puede variar de 950 a 1,050 Btu/scf.

En la generación de energía eléctrica por ciclo combinado, la turbina de gas también llamada "turbina de combustión". Tienen una potencia que va desde 300 hp a 268,000 hp con un tamaño promedio de 40,200 hp. Los principales combustibles en esto equipos son el gas natural o el diesel (**EPA, AP-42, 2005**).

ESCENARIOS A MODELAR.

Los escenarios considerados para realizar las simulaciones se muestran en la tabla 7-6

Tabla 7-6 Escenarios a modelar.

Combustóleo CT		Gas Natural CC	
Escenario I Terreno Complejo No de chimeneas	Escenario II Terreno Plano No de chimeneas	Escenario III Terreno Complejo No de chimeneas	Escenario IV Terreno Plano No de chimeneas
2	2	2	2
4	4	4	4
6	6	6	6

Emisiones

Las principales emisiones provenientes de la turbina de gas, son: NO₂, CO y en cantidades menores compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas y SO₂ relacionándose directamente con la cantidad de azufre contenida en el combustible. En México existen normas que regulan las concentraciones de los contaminantes emitidos por el uso de combustibles; como lo es la NOM-085-ECOL-1994 para procesos de combustión interna para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones. Los combustibles sólidos se refieren a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% hasta 90% en peso y al coque de petróleo, Los combustibles líquidos o gaseosos son los derivados del petróleo y gas natural tales como petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

Tabla: 7-7 Principales contaminantes emitidos a la atmósfera producto de la combustión de dos tipos de combustible

COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL
NO ₂	NO ₂
SO ₂	
Partículas	

Para los casos en estudio se evaluarán las concentraciones de las emisiones ya mencionadas en la tabla 7-7, derivadas del proceso de generación eléctrica. Apoyados por el modelo de dispersión ISCST3, considerando el uso de ambos combustibles y variando la orografía del sitio. Figura 7-6

La termoeléctrica que se tomó como ejemplo cuenta con 6 unidades generadoras de vapor con una capacidad instalada 2100 MW al año, con un consumo de 3.7 millones de combustóleo anual (**SENER, 2001**).

CALCULO DE EMISIONES

Cálculos:

Para calcular las emisiones de combustóleo se consideró una planta que consta de 6 unidades generadoras de vapor con una capacidad instalada total de 2,100 MW, con una producción de alrededor de 15,000 GWh anual, consumiendo mas de 3.7 Mm³ de combustóleo al año, lo que equivale a 414.7 Toneladas por hora.

El método de estimación de las emisiones se realizó mediante el uso de factores de emisión (**USEPA, 2005**), donde la emisión es determinada por la siguiente ecuación:

$$E = Fe \times C \quad \text{Ec. 8.1 AP-42}$$

$$E = \frac{g}{s} \quad \text{Emisión del contaminante}$$

$$Fe = \frac{kg_de_Contami.nante}{m^3_de_Combustible} \quad \text{Factor de Emisión}$$

$$C = \frac{m^3_de_Combustible}{año} \quad \text{Consumo}$$

Emisiones de combustóleo:

$$C = 3.7 Mm^3 \text{ Para 6 Unidades al año.}$$

$$C = 6.17 \times 10^5 \frac{m^3}{año} \text{ Por 1 unidad}$$

Emisión de SO₂:

$$E_{SO_2} = Fe_{SO_2} \times C$$

$$Fe_{SO_2} = 19(\%S) \frac{kg}{m^3} \quad \%S = 4$$

$$Fe_{SO_2} = 19(4) \frac{kg}{m^3}$$

$$Fe_{SO_2} = 76 \frac{kg}{m^3}$$

$$E_{SO_2} = \left(76 \frac{kg}{m^3} \right) \times \left(6.17 \times 10^5 \frac{m^3}{año} \right)$$

$$E_{SO_2} = 46892000 \frac{kg}{año} \text{ Multiplicar por } 3.171 \times 10^{-5} \frac{añog}{kgs} \text{ para convertir a } \frac{g}{s}$$

$$E_{SO_2} = 1487 \frac{g}{s}$$

Emisión de NO₂:

$$E_{NO_2} = Fe_{NO_2} \times C$$

$$Fe_{NO_2} = 6.6 \frac{kg}{m^3}$$

$$E_{NO_2} = \left(6.6 \frac{kg}{m^3} \right) \times \left(6.17 \times 10^5 \frac{m^3}{año} \right)$$

$$E_{NO_2} = 4072200 \frac{kg}{año} \text{ Multiplicar por } 3.171 \times 10^{-5} \frac{añog}{kgs} \text{ para convertir a } \frac{g}{s}$$

$$E_{NO_2} = 129 \frac{g}{s}$$

Emisión de Partículas:

$$E_{PM} = Fe_{PM} \times C$$

$$Fe_{PM} = 1.25(\%S) \frac{kg}{m^3} \quad \%S = 4$$

$$Fe_{PM} = 1.25(4) \frac{kg}{m^3}$$

$$Fe_{PM} = 5.38 \frac{kg}{m^3}$$

$$E_{PM} = \left(5.38 \frac{kg}{m^3} \right) \times \left(6.17 \times 10^5 \frac{m^3}{año} \right)$$

$$E_{PM} = 3319460 \frac{kg}{año} \text{ Multiplicar por } 3.171 \times 10^{-5} \frac{añog}{kgs} \text{ para convertir a } \frac{g}{s}$$

$$E_{PM} = 105.3 \frac{g}{s}$$

Emisiones de Gas Natural:

Considerando la misma capacidad instalada que para el caso anterior (combustóleo), se calcula el consumo del gas natural a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{gas} \times Pc_{gas} = C_{comb} \times Pc_{comb}$$

$$C_{gas} = C_{comb} \times \left(\frac{Pc_{comb}}{Pc_{gas}} \right)$$

Donde:

C_{Gas} = Consumo de Gas Natural

C_{comb} = Consumo de combustóleo

Pc_{Gas} = Poder Calorífico del Gas Natural

Pc_{comb} = Poder Calorífico de combustóleo

$$Pc_{gas} = 34352.7 \frac{KJ}{m^3}$$

$$Pc_{comb} = 39399902.2 \frac{KJ}{m^3}$$

$$C_{comb} = 70.43 \frac{m^3}{hr}$$

$$C_{gas} = 70.43 \frac{m^3}{hr} \times \left(\frac{39399902.2 \frac{KJ}{m^3}}{34352.7 \frac{KJ}{m^3}} \right)$$

$$C_{gas} = 80777.8 \frac{m^3}{hr} \text{ Multiplicar por } 8760 \frac{hr}{año} \text{ para convertir a } \frac{m^3}{año}$$

$$C_{gas} = 707613528 \frac{m^3}{año}$$

Emisión de NO_2 :

$$E_{NO_2} = Fe_{NO_2} \times C$$

$$Fe_{NO_2} = 5.23 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$$

$$E_{NO_2} = \left(5.23 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^3} \right) \times \left(707613528 \frac{m^3}{año} \right)$$

$$E_{NO_2} = 3700818.7 \frac{kg}{año} \text{ Multiplicar por } 3.171 \times 10^{-5} \frac{año \cdot g}{kgs} \text{ para convertir a } \frac{g}{s}$$

$$E_{NO_2} = 117.3 \frac{g}{s}$$

Tabla 7-8, Emisiones

EMISIONES g/s		
CONTAMINANTE	COMBUSTÓLEO	GAS NATURAL
NO ₂	129	117.3
SO ₂	1487	-----
PARTÍCULAS	105.3	-----

7.5.1 Datos alimentados al modelo

Los siguientes datos aplican para las 6 chimeneas, y servirán como datos de entrada al modelo.

7.5.1.1 Datos de control

- El sitio se encuentra en un área rural.
- Para el tipo de orografía se considerara tanto terreno plano como complejo.
- El tipo de contaminante dependerá del combustible que se use.
- La emisión dependerá del tipo de combustible, así como del contaminante de estudio.
- Los promedios de las concentraciones dependerán de las Normas de calidad del aire.

7.5.1.2 Datos de la fuente

- Localización de la fuente
- Elevación desde la base 100 m.
- Altura de la chimenea 120 m.
- Temperatura del gas 425 °K.
- Velocidad de salida 22 m/s.
- Diámetro de la chimenea 5.5 m.

7.5.1.3 Meteorología

Los datos meteorológicos se ingresan en un archivo con datos del año 1988.

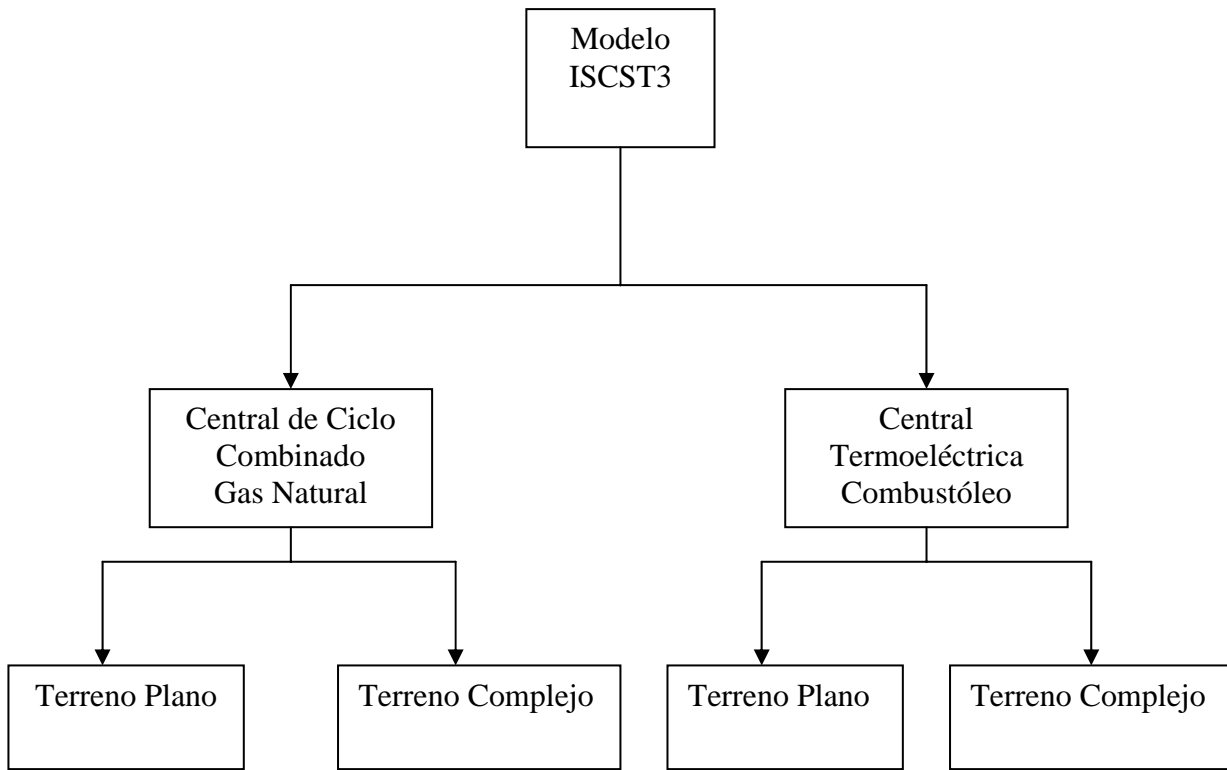
7.5.1.4 Receptores

Los datos de los receptores de igual manera son ingresados en un archivo de terreno, el programa de la opción de acotar la malla para determinar el número de receptores.

7.6 Diagrama de flujo para la aplicación del modelo en el caso ejemplo

Basado en el diagrama de flujo. Primeramente se eligió el modelo adecuado para nuestro ejemplo. Después se tomaron como opciones el uso de dos tipos de combustibles; en ambos casos se considerara tanto terreno plano como terreno complejo. Con el fin de ver como afecta el tipo de terreno en la dispersión de los contaminantes. Así como las concentraciones de los contaminantes, con el uso de diferentes combustibles en la industria de la generación eléctrica. **Fig. 7-9**

Fig. 7-9 Diagrama de Flujo de Trabajo



8.-RESULTADOS

Como se pudo observar el uso de combustóleo representa un problema importante de impacto en la calidad del aire por partículas y bióxido de azufre principalmente, además de tener en nuestro país un total de 27 termoeléctricas que lo siguen usando, correspondiendo a una generación del 48 % de energía eléctrica en México.

La tendencia en nuestro país es hacia el uso de centrales de ciclo combinado (CCC) que consumen gas natural, representando actualmente el 30.7% de la generación total de energía eléctrica y se espera que para el 2014 represente el 52.8% de la generación eléctrica en nuestro país.

Por lo anteriormente expuesto se consideraron en la simulación dos situaciones extremas, centrales termoeléctricas que consumen combustóleo y centrales de ciclo combinado que utilizan gas natural.

Las diferentes simulaciones consisten en:

Tabla 8-1. Escenarios Simulados.

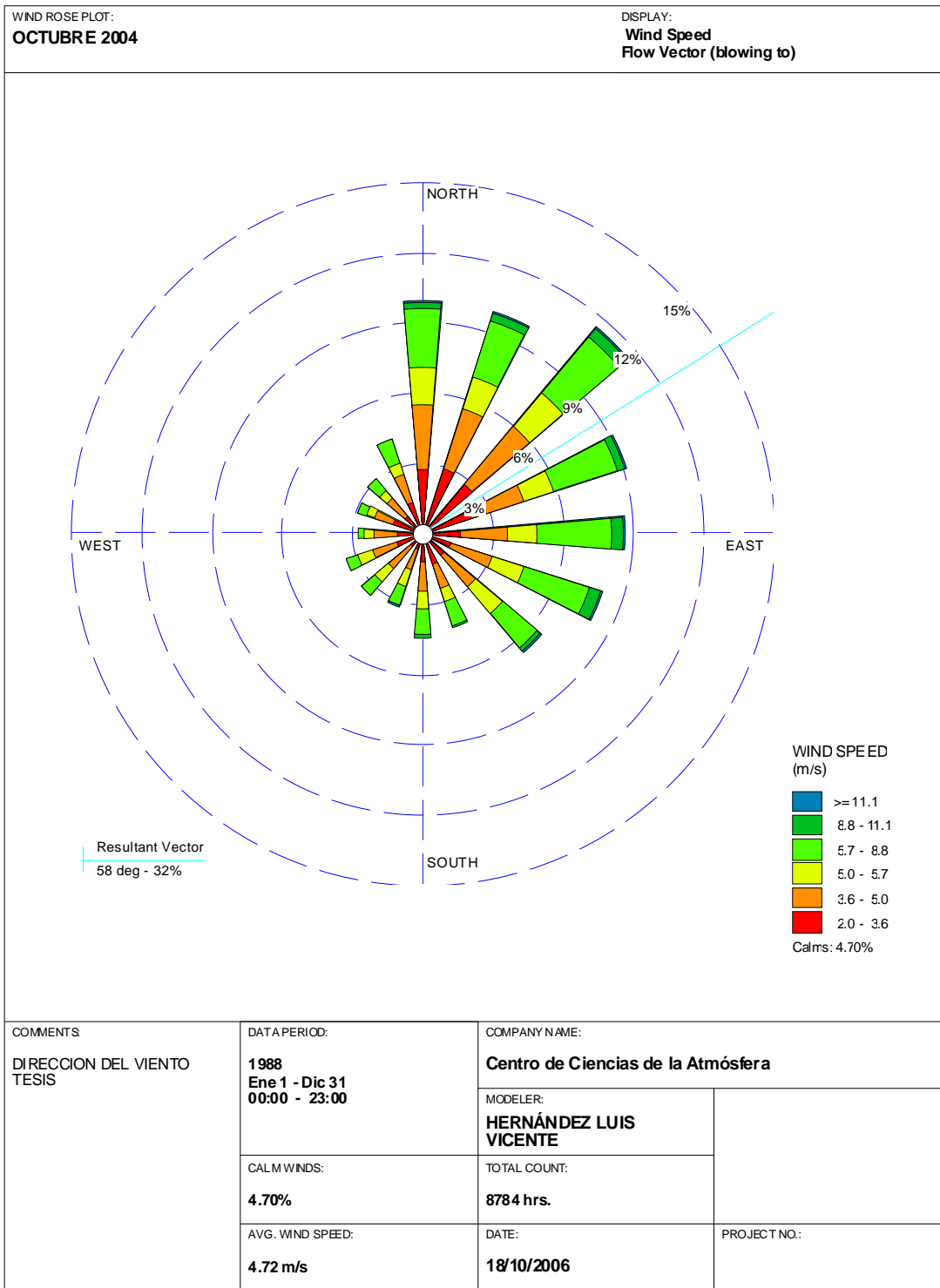
Combustóleo CT		Gas Natural CC	
Escenario I Terreno Complejo No de chimeneas	Escenario II Terreno Plano No de chimeneas	Escenario III Terreno Complejo No de chimeneas	Escenario IV Terreno Plano No de chimeneas
2	2	2	2
4	4	4	4
6	6	6	6

Para los siguientes escenarios se ha considerado las mismas condiciones físicas de las chimeneas, con una altura de 120 metros, diámetro de 5.5 metros, una velocidad de salida del gas de 22 m/s y una temperatura de 425 °K.

La meteorología usada presenta en promedio condiciones de estabilidad neutra, velocidades de viento promedio de 4 m/s y dirección de viento dominante hacia el noreste (fig. 8-1).

La orografía del sitio, para el caso en el que se realizó la simulación considerando terreno complejo, presenta diversas elevaciones que afectan la dispersión de los contaminantes, más no así en el caso en el cual se llevo a cabo la simulación considerando la orografía sin elevaciones, llamando a esté terreno plano.

Fig. 8-1 ROSA DE VIENTOS



8.1 Combustóleo

8.1.1 Combustóleo terreno complejo, NO₂

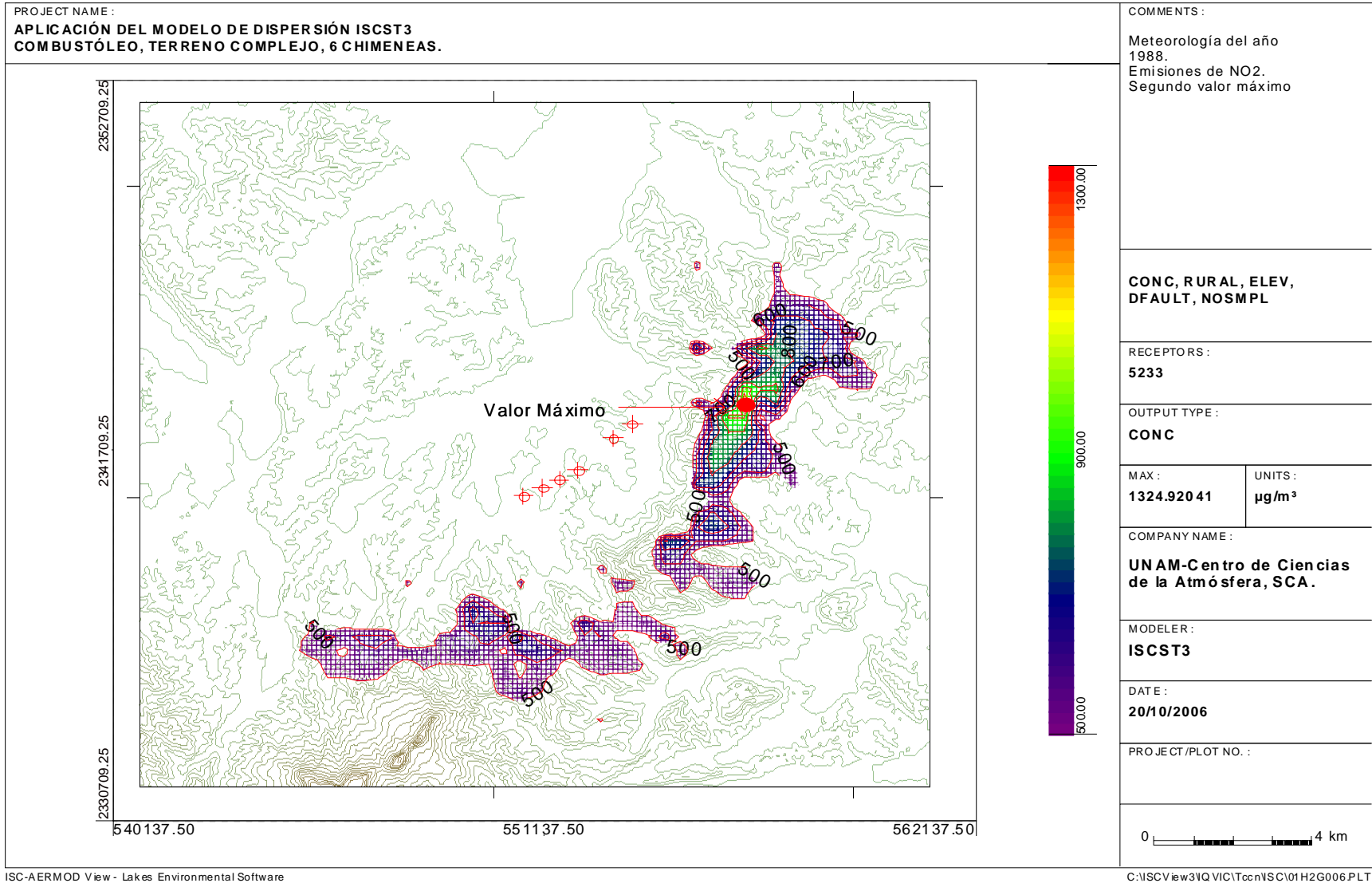


Fig. 8-2, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO₂, producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo, Terreno Complejo, NO₂

```
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tccn\CNO.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
```

CO STARTING

```
TITLEONE Combustóleo Tesis
TITLETWO NO2, Terreno Complejo
MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
AVERTIME 1
POLLUTID NOX
TERRHGTS ELEV
RUNORNOT RUN
ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tccn\CNO.err
```

CO FINISHED

```
*****
** ISC Source Pathway
*****
```

SO STARTING

** Source Location **

```
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
```

** Source Parameters **

```
SRCPARAM STCK1 129 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 129 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 129 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 129 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 129 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 129 120.000 425.000 22.000 5.500
```

** Source Group **

```
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
```

SO FINISHED

**

8.1.2 COMBUSTÓLEO TERRENO COMPLEJO, SO₂, 24 HORAS

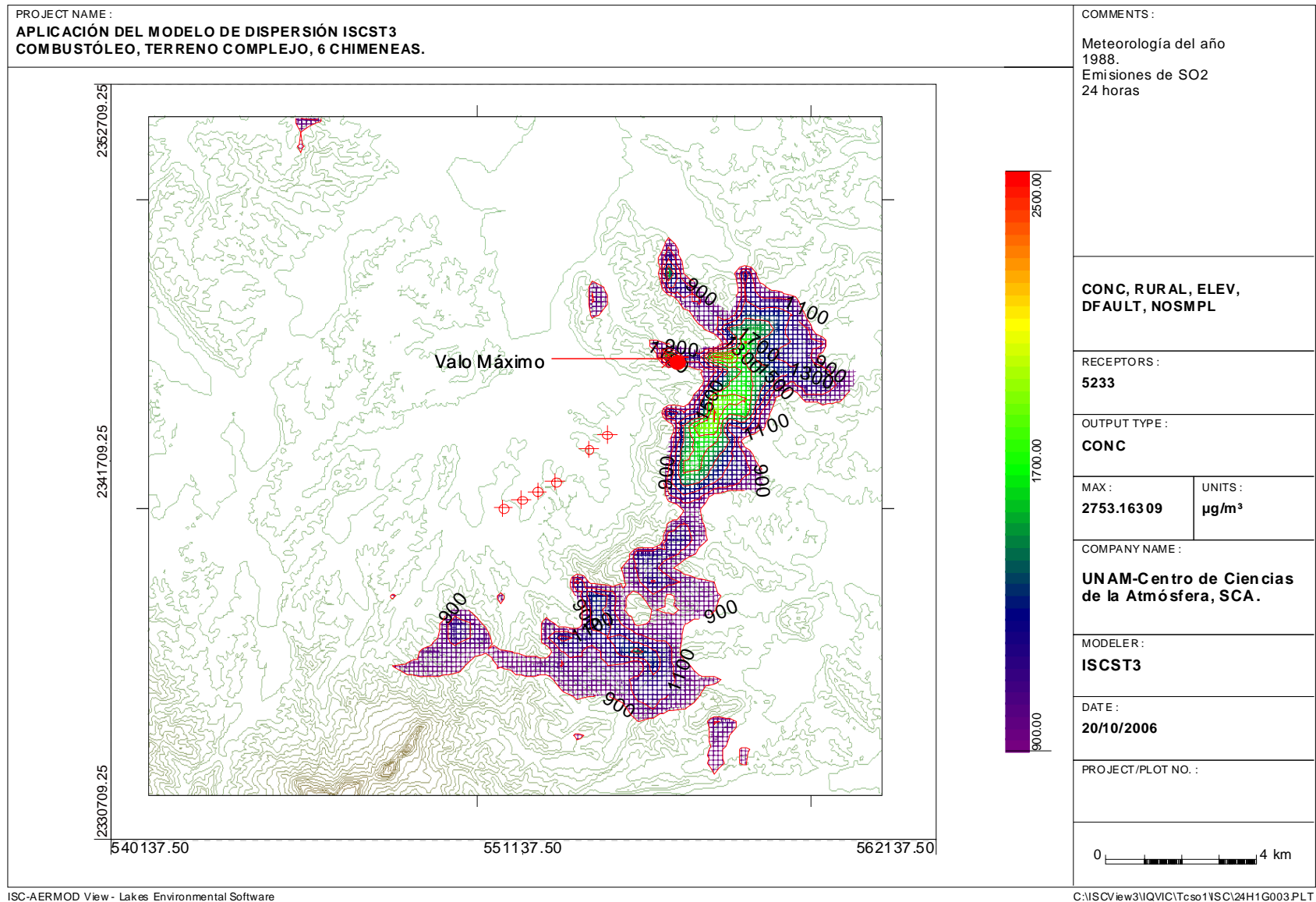


Fig. 8-3, 1° Máximo de las concentraciones horario de SO₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo, Terreno complejo, SO₂, 24 horas

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcsol\SO_1.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Tesis, Combustóleo
  TITLETWO SO2, Terreno Complejo
  MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
  AVERTIME 24
  POLLUTID SO2
  TERRHGT5 ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcsol\SO_1.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
  LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
  LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
  LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
  LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
  LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
  LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
  SRCPARAM STCK1 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK2 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK3 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK4 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK5 1487 120.000 425.000 22.000 5.200
  SRCPARAM STCK6 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
  SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
  SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
  SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID ID	AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-
SRCGP1	HIGH 1ST HIGH VALUE IS 1735.02075	ON 88121124	AT (554637.50, 2339709.25, 324.00, 0.00)	DC	NA
SRCGP2	HIGH 1ST HIGH VALUE IS 1934.01306c	ON 88070724	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00, 0.00)	DC	NA
SRCGP3	HIGH 1ST HIGH VALUE IS 2753.16309c	ON 88070724	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00, 0.00)	DC	NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 ***
 *** Tesis, Combustóleo
 *** SO2, Terreno Complejo

*** 10/18
 *** 19:51:02
 PAGE 264
 NOSMPL

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.1.3 COMBUSTÓLEO TERRENO COMPLEJO, SO₂, ANUAL

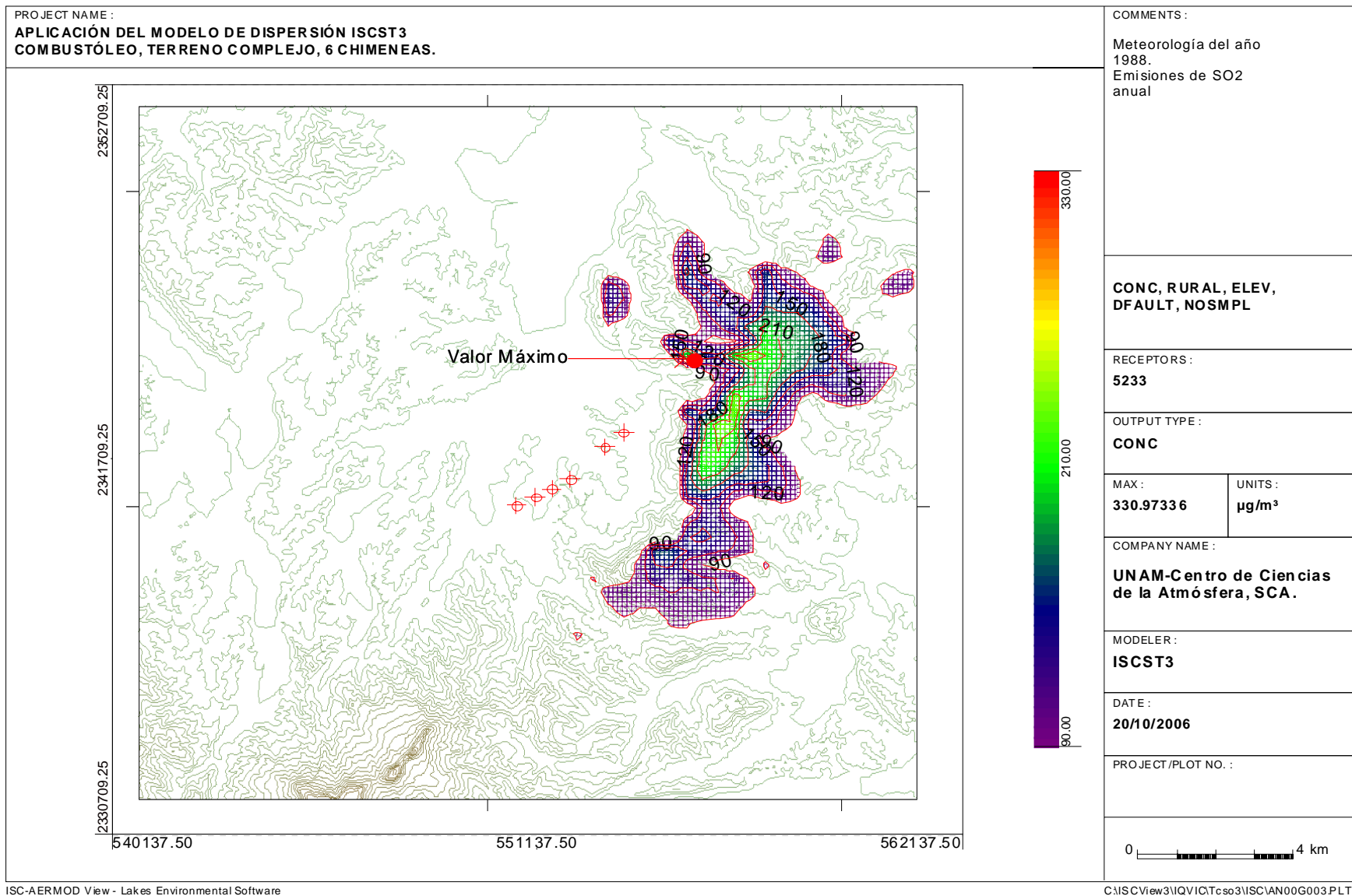


Fig. 8-4, 1º Máximo de la concentración anual de SO₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo, Terreno complejo, SO₂, anual

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcso3\SO_3.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
CO STARTING
  TITLEONE Tesis Combustóleo
  TITLETWO SO2, Terreno Complejo
  MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
  AVERTIME ANNUAL
  POLLUTID SO2
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcso3\SO_3.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 1487 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```


*** THE SUMMARY OF MAXIMUM ANNUAL (1 YRS) RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
SRCGP1	1ST HIGHEST VALUE IS 153.34648	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00, 0.00)	DC	NA
SRCGP2	1ST HIGHEST VALUE IS 232.35548	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00, 0.00)	DC	NA
SRCGP3	1ST HIGHEST VALUE IS 330.97336	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00, 0.00)	DC	NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** ** Tesis Combustóleo ***
 10/18/06

*** SO2, Terreno Complejo ***

19:54:03

**MODELOPTs:

264

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

PAGE

NOSMPL

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)

A Total of 0 Warning Message(s)

A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.1.4 COMBUSTÓLEO TERRENO COMPLEJO PARTÍCULAS, 24 HORAS

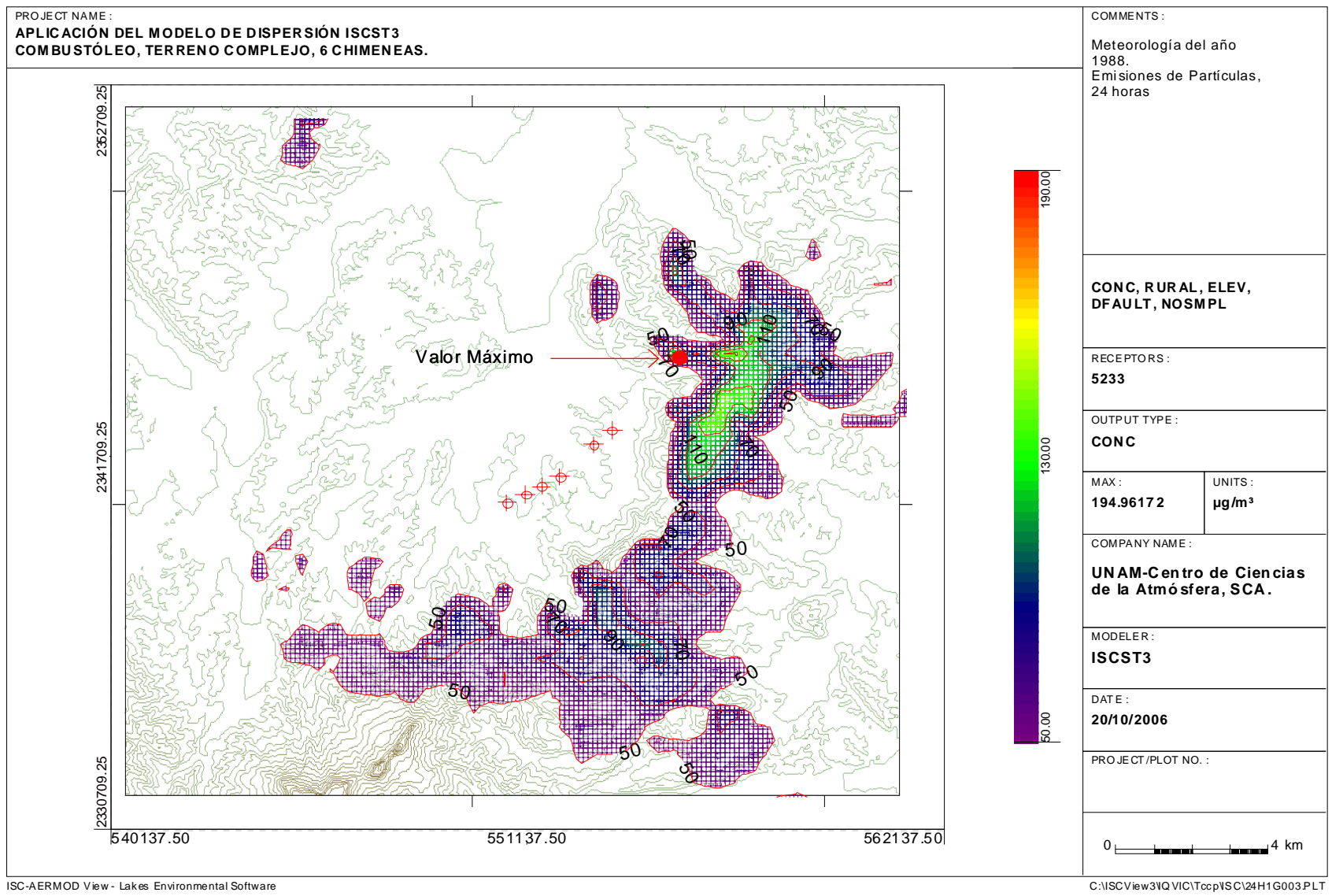


Fig. 8-5, 1º Máximo de las concentraciones horario de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo, Terreno complejo, partículas 24 horas

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tccp\Cpm.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Combustóleo Tesis
  TITLETWO Particulas, Terreno Complejo
  MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
  AVERTIME 24
  POLLUTID TSP
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tccp\Cpm.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 105.3 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID ID			AVERAGE CONC (YYMMDDHH)	DATE	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-
SRCGP1	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	122.86324	ON 88121124:	AT (554637.50, 2339709.25, 324.00,	0.00)	DC NA
SRCGP2	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	136.95465c	ON 88070724:	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00,	0.00)	DC NA
SRCGP3	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	194.96172c	ON 88070724:	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00,	0.00)	DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** *** Combustóleo Tesis ***
 *** Particulas, Terreno Complejo ***

*** 10/18/06
 *** 19:46:18
 PAGE 264
 NOSMPL

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.1.5 COMBUSTÓLEO TERRENO COMPLEJO PARTÍCULAS, ANUAL

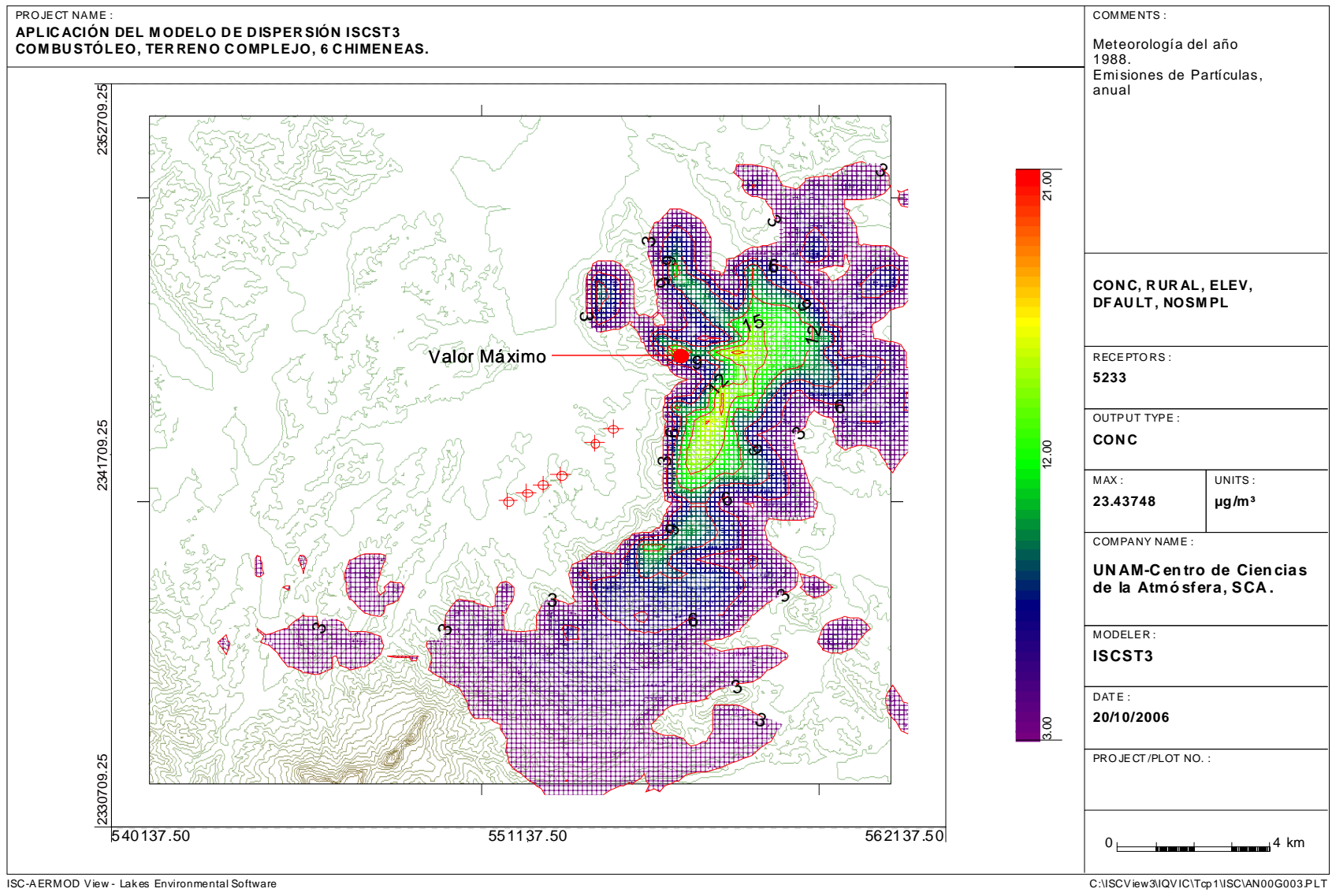


Fig. 8-6, 1° Máximo de la concentración anual de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo, Terreno complejo, partículas, anual

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcpl\cpml.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
**
CO STARTING
  TITLEONE Combustóleo Tesis
  TITLETWO Particulas, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
  AVERTIME ANNUAL
  POLLUTID TSP
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcpl\cpml.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
  LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
  LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
  LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
  LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
  LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
  LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
  SRCPARAM STCK1 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK2 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK3 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK4 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK5 105.3 120.000 425.000 22.000 5.200
  SRCPARAM STCK6 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
  SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
  SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
  SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM ANNUAL (1 YRS) RESULTS ***

** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
SRCGP1	1ST HIGHEST VALUE IS 10.85904	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00,	0.00) DC	NA
SRCGP2	1ST HIGHEST VALUE IS 16.45399	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00,	0.00) DC	NA
SRCGP3	1ST HIGHEST VALUE IS 23.43748	AT (555137.50, 2344709.25, 300.00,	0.00) DC	NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** *** Combustóleo Tesis
 *** Particulas, Terreno Plano

*** 10/18/06
 *** 20:20:21
 PAGE 264

**MODELOPTs:
 CONC

RURAL ELEV DFAULT

NOSMPL

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.2.- COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO

8.2.1- COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO, NO2

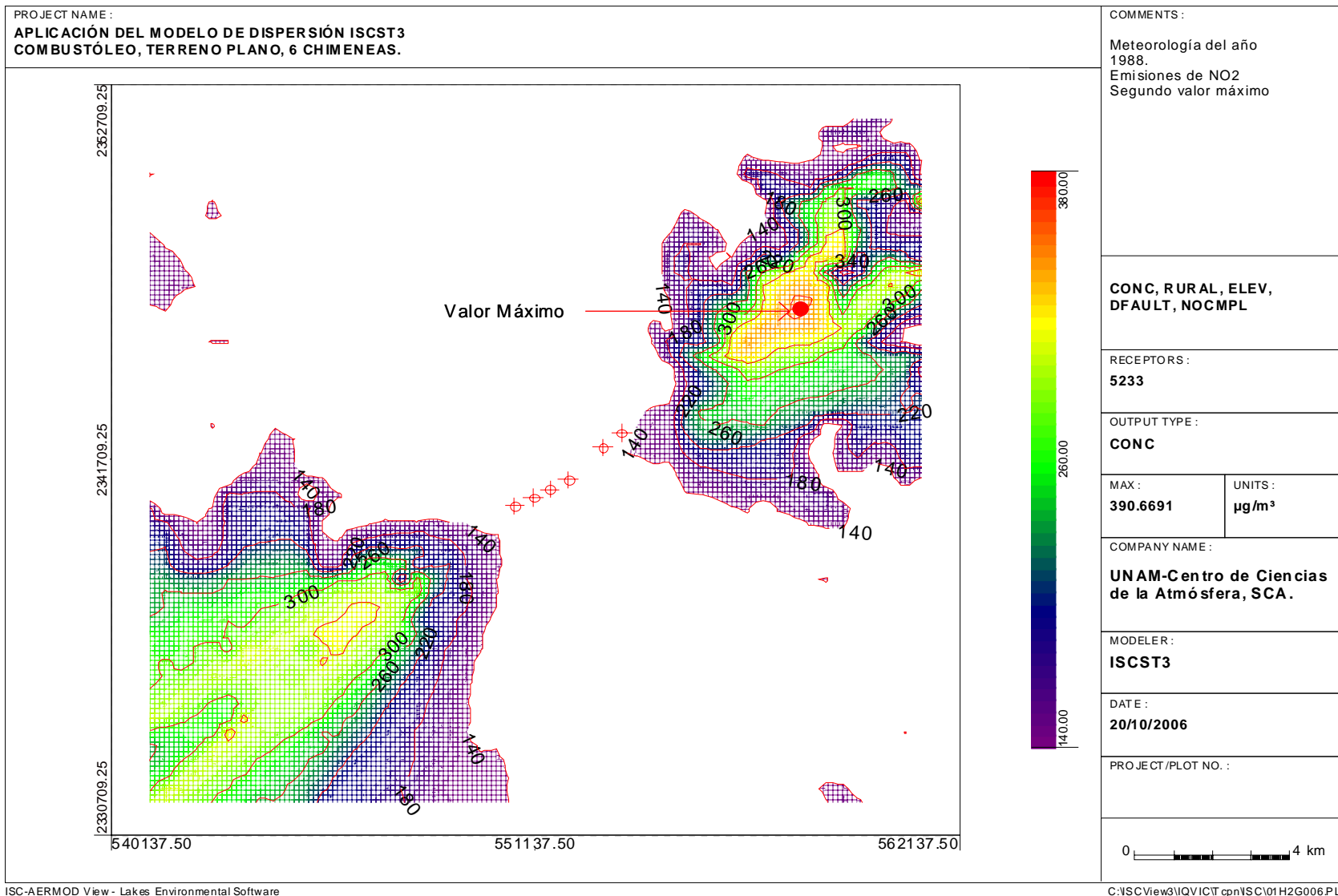


Fig. 8-7, 2° Máximo de las concentraciones horario de NO2, producto de la combustión de combustóleo en terreno plano

Combustóleo, Terreno Plano, NO₂

** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcnp\PNO.INP

** ISC Control Pathway

CO STARTING

TITLEONE Combustóleo Tesis
TITLETWO NO2, Terreno Plano
MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL RURAL
AVERTIME 1
POLLUTID NOX
TERRHGTS ELEV
RUNORNOT RUN
ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcnp\PNO.err

CO FINISHED

** ISC Source Pathway

SO STARTING

** Source Location **

LOCATION	STCK1	POINT	552886.000	2342075.000	100.000
LOCATION	STCK2	POINT	553376.000	2342487.000	100.000
LOCATION	STCK3	POINT	550601.000	2340348.000	100.000
LOCATION	STCK4	POINT	551085.000	2340598.000	100.000
LOCATION	STCK5	POINT	551514.000	2340834.000	100.000
LOCATION	STCK6	POINT	551990.000	2341118.000	100.000

** Source Parameters **

SRCPARAM	STCK1	129	120.000	425.000	22.000	5.500
SRCPARAM	STCK2	129	120.000	425.000	22.000	5.500
SRCPARAM	STCK3	129	120.000	425.000	22.000	5.500
SRCPARAM	STCK4	129	120.000	425.000	22.000	5.500
SRCPARAM	STCK5	129	120.000	425.000	22.000	5.200
SRCPARAM	STCK6	129	120.000	425.000	22.000	5.500

** Source Group **

SRCGROUP	SRCGP1	STCK1	STCK2				
SRCGROUP	SRCGP2	STCK1	STCK2	STCK3	STCK4		
SRCGROUP	SRCGP3	STCK1	STCK2	STCK3	STCK4	STCK5	STCK6

SO FINISHED

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 1-HR RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID ID			AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR	(XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-
SRCGP1	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	141.85651	ON 88080205:	AT (557637.50,	2346209.25,	276.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	137.49014	ON 88081204:	AT (560137.50,	2347209.25,	260.00,	0.00) DC NA
SRCGP2	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	274.14862	ON 88062106:	AT (558637.50,	2346209.25,	237.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	266.84802	ON 88083007:	AT (558137.50,	2346209.25,	313.00,	0.00) DC NA
SRCGP3	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	405.89877	ON 88100319:	AT (559137.50,	2347709.25,	250.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	390.66910	ON 88071921:	AT (558137.50,	2345709.25,	438.00,	0.00) DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDAR

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** *** Combustóleo Tesis
 *** NO2, Terreno Plano

*** 10/18/06
 *** 20:01:27
 PAGE 462

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

NOCMPL

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)

A Total of 0 Warning Message(s)

A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.2.2 COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO, SO₂ 24 HORAS

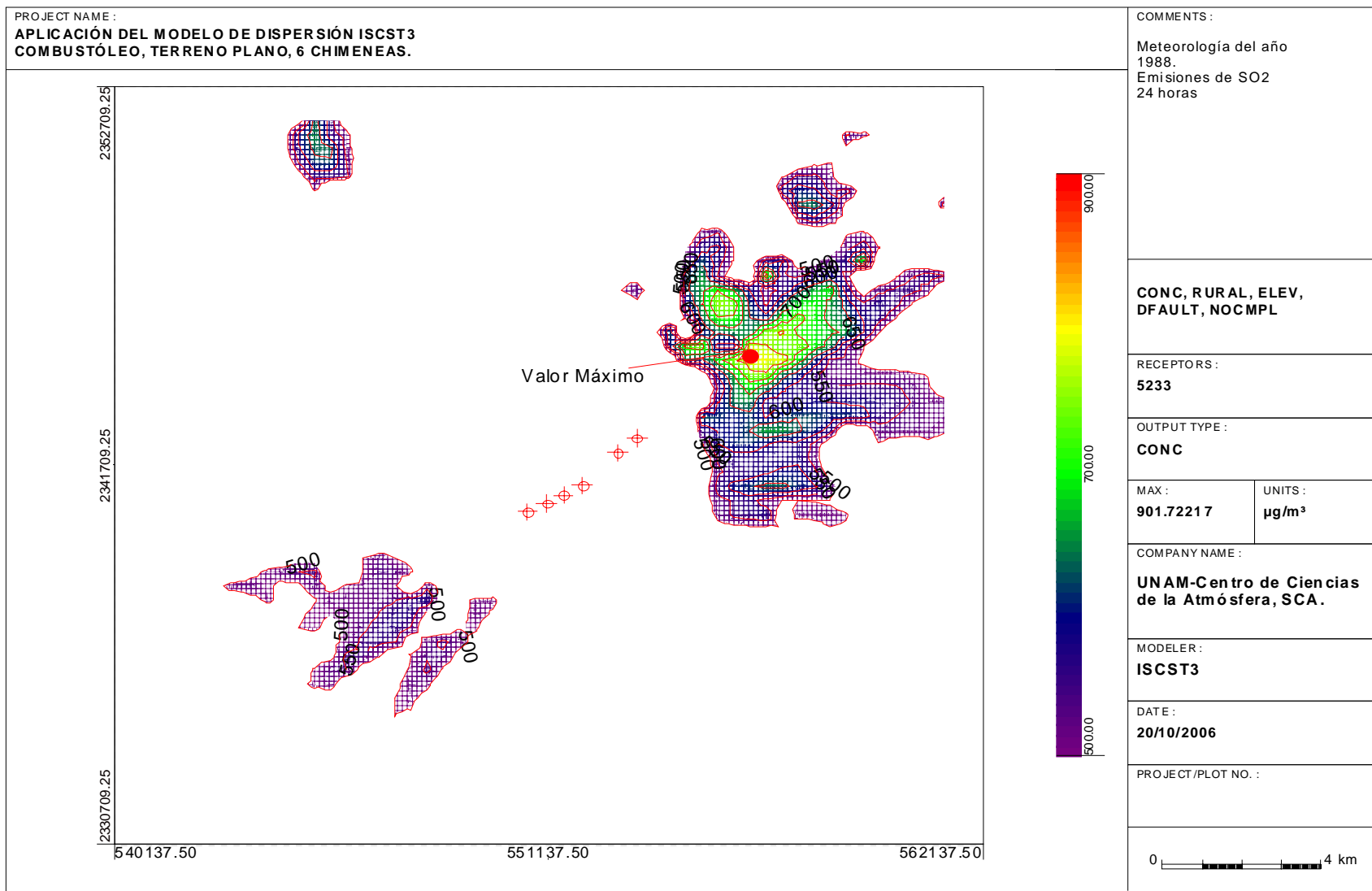


Fig. 8-8, 1° Máximo de las concentraciones horario de SO₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno plano

Combustóleo, Terreno Plano, SO₂, 24 horas

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcso2\SO_2.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
CO STARTING
  TITLEONE Tesis, Combustóleo
  TITLETWO SO2, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL  RURAL
  AVERTIME 24
  POLLUTID SO2
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcso2\SO_2.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 1487 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

NETWORK				** CONC OF SO2		IN MICROGRAMS/M**3				**	
GROUP ID	ID	AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR	(XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-				
SRCGP1	HIGH	417.47546	ON 88100124	AT (555137.50,	2345209.25,	DC	NA				
SRCGP2	HIGH	602.16882	ON 88052624	AT (555637.50,	2344709.25,	DC	NA				
SRCGP3	HIGH	901.72217	ON 88100124	AT (555637.50,	2346209.25,	DC	NA				

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 ***
 *** Tesis, Combustóleo
 *** SO2, Terreno Plano

*** 10/18/06
 *** 19:56:36
 PAGE 264
 NOCMPL

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)
 A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
 *** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
 *** NONE ***

 *** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.2.3 COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO, SO₂ ANUAL

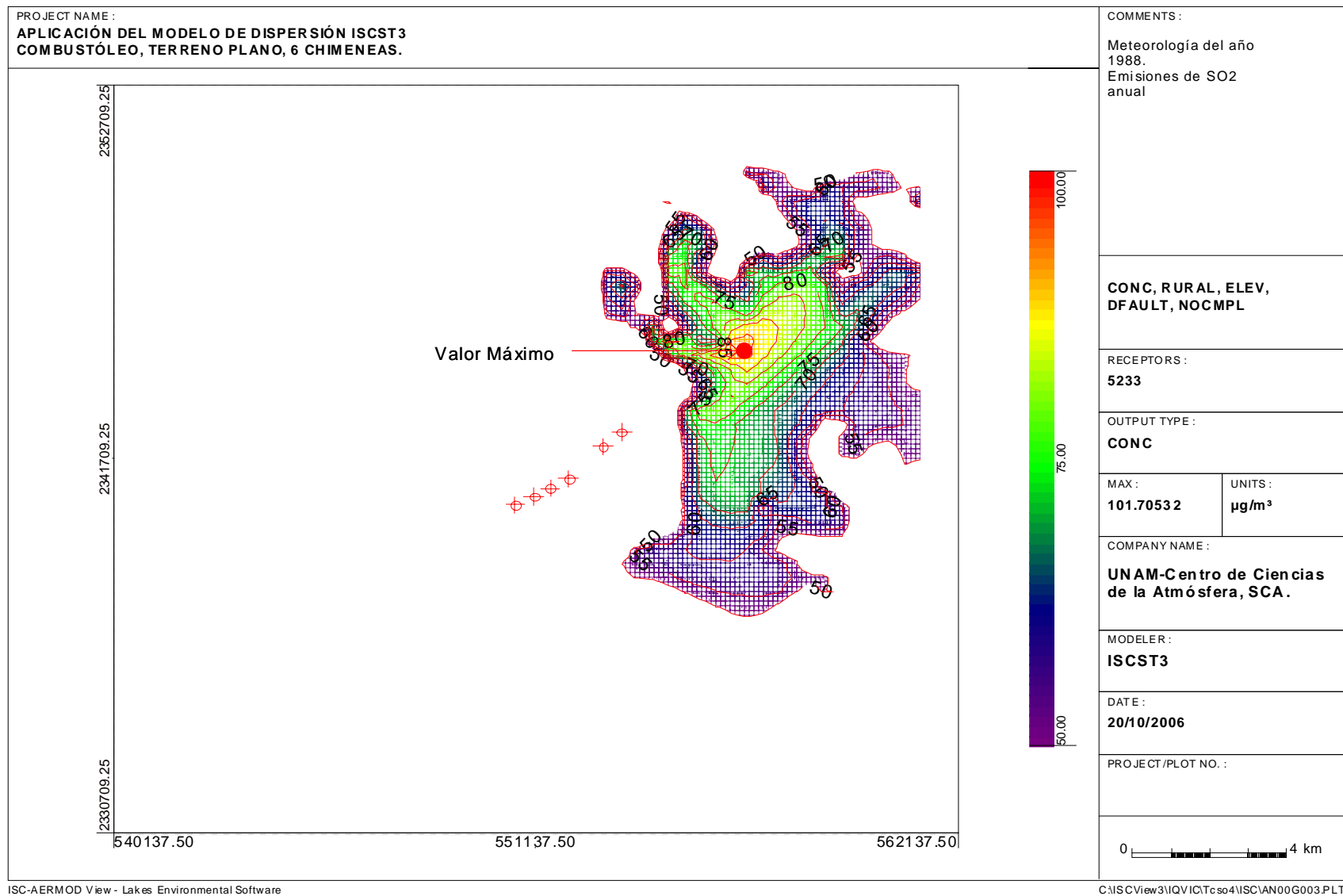


Fig. 8-9, 1° Máximo de la concentración anual de SO₂ producto de la combustión de combustóleo en terreno plano

Combustóleo, Terreno Plano, SO₂, anual

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcso4\SO_4.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Tesis Combustóleo
  TITLETWO SO2, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL  RURAL
  AVERTIME ANNUAL
  POLLUTID SO2
  TERRHGT5 ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcso4\SO_4.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 1487 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 1487 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM ANNUAL (1 YRS) RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
SRCGP1	1ST HIGHEST VALUE IS 35.66465 AT (556137.50,	2344709.25,	300.00, 0.00)	DC NA
SRCGP2	1ST HIGHEST VALUE IS 67.03453 AT (555637.50,	2344709.25,	260.00, 0.00)	DC NA
SRCGP3	1ST HIGHEST VALUE IS 101.70532 AT (555637.50,	2344709.25,	260.00, 0.00)	DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** ** Tesis Combustóleo
 *** SO2, Terreno Plano

*** 10/18/06
 *** 19:58:40
 PAGE 264

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

NOCMPL

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)
 A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
 *** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
 *** NONE ***

 *** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.2.4 COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO PARTÍCULAS, 24 HORAS

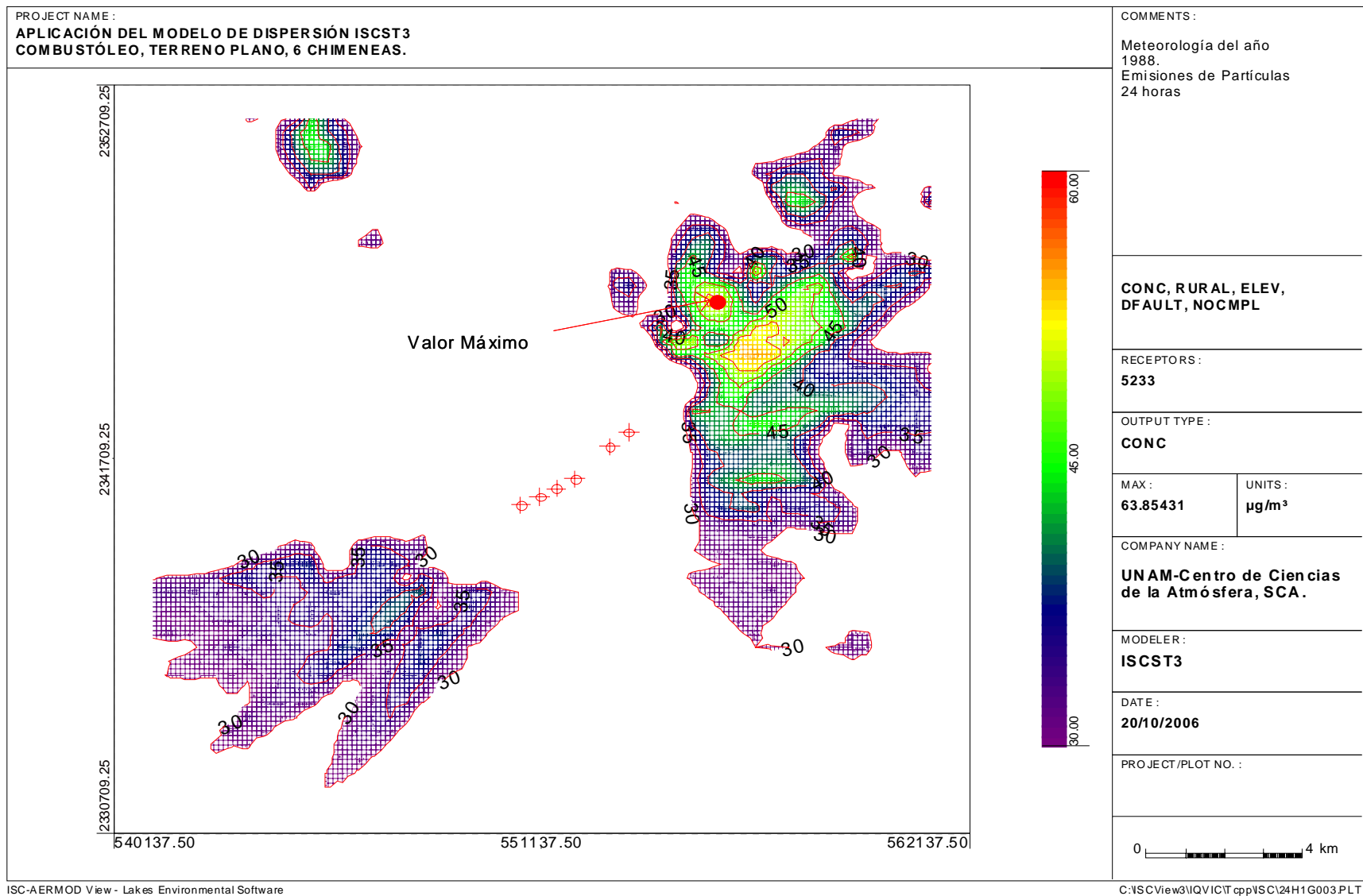


Fig. 8-10, 1° Máximo de las concentraciones horario de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno plano

Combustóleo, Terreno Plano, partículas 24 horas

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcpp\Ppm.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Combustóleo Tesis
  TITLETWO Particulas, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL RURAL
  AVERTIME 24
  POLLUTID TSP
  TERRHGT5 ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcpp\Ppm.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 105.3 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID ID				AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR	(XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-
SRCGP1	HIGH	1ST HIGH VALUE IS		29.56300	ON 88100124:	AT (555137.50,	2345209.25,	241.00,	0.00) DC NA
SRCGP2	HIGH	1ST HIGH VALUE IS		42.64182	ON 88052624:	AT (555637.50,	2344709.25,	260.00,	0.00) DC NA
SRCGP3	HIGH	1ST HIGH VALUE IS		63.85431	ON 88100124:	AT (555637.50,	2346209.25,	282.00,	0.00) DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
GP = GRIDPOLR
DC = DISCCART
DP = DISCPOLR
BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 ***
*** Combustóleo Tesis
*** Particulas, Terreno Plano

*** 10/18/06
*** 20:04:22
PAGE 264
NOCMPL

**MODELOPTs:

CONC RURAL ELEV DFAULT

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)

A Total of 0 Warning Message(s)

A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.2.5 COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO PARTÍCULAS, ANUAL

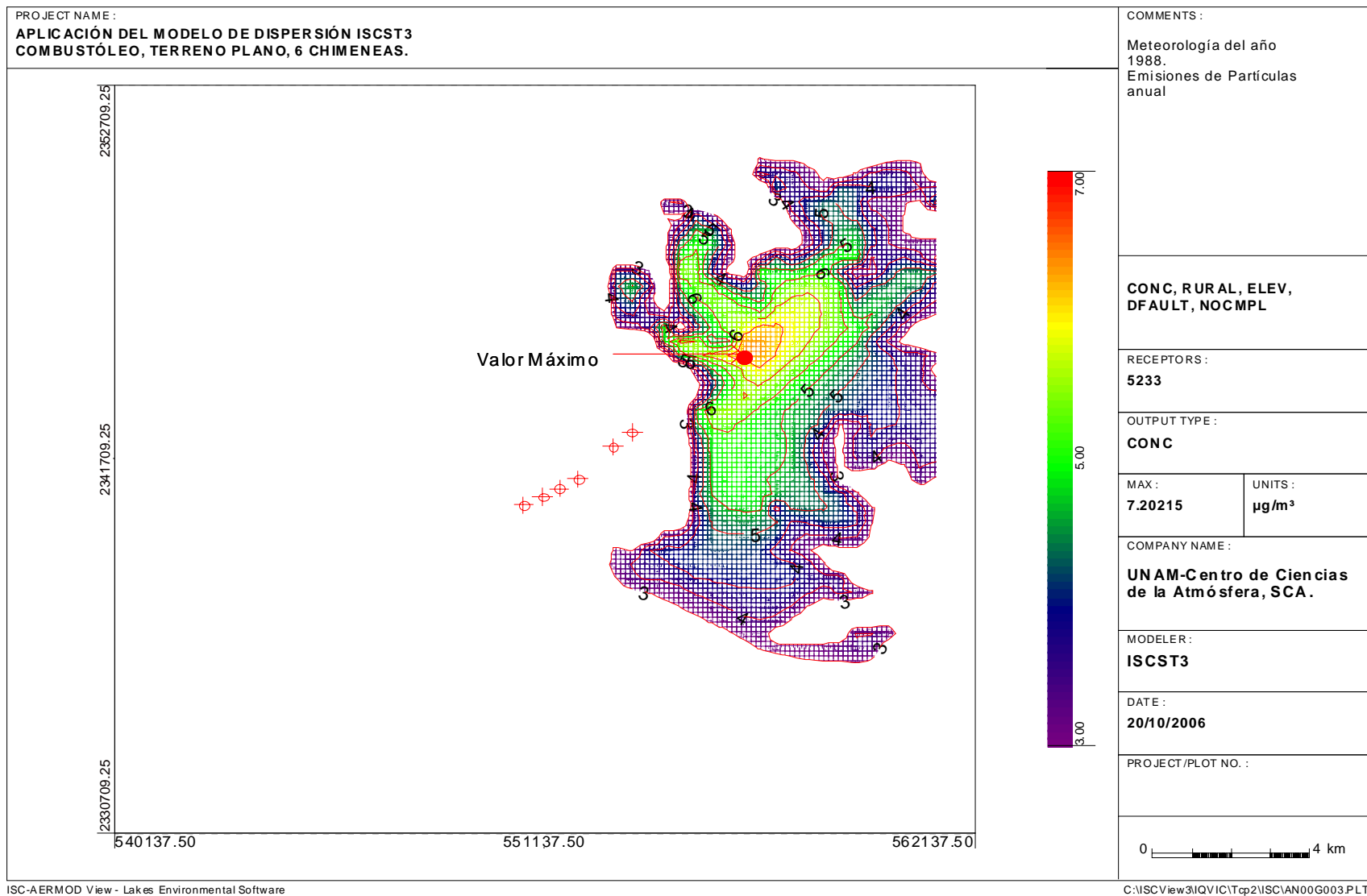


Fig. 8-11, 1° Máximo de la concentración anual de partículas producto de la combustión de combustóleo en terreno plano

Combustóleo, Terreno Plano, partículas, anual.

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tcp2\Ppm2.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Combustóleo Tesis
  TITLETWO Particulas, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL RURAL
  AVERTIME ANNUAL
  POLLUTID TSP
  TERRHGT5 ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tcp2\Ppm2.err
CO FINISHED
**
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
  LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
  LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
  LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
  LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
  LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
  LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
  SRCPARAM STCK1 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK2 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK3 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK4 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK5 105.3 120.000 425.000 22.000 5.200
  SRCPARAM STCK6 105.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
  SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
  SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
  SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
**
```

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM ANNUAL (1 YRS) RESULTS ***

** CONC OF TSP IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
SRCGP1	1ST HIGHEST VALUE IS 2.52555 AT (556137.50,	2344709.25,	300.00, 0.00)	DC NA
SRCGP2	1ST HIGHEST VALUE IS 4.74697 AT (555637.50,	2344709.25,	260.00, 0.00)	DC NA
SRCGP3	1ST HIGHEST VALUE IS 7.20215 AT (555637.50,	2344709.25,	260.00, 0.00)	DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** ** Combustóleo Tesis ***
 10/18/06

*** Particulas, Terreno Plano ***

20:15:17

**MODELOPTs:

264 PAGE

CONC RURAL ELEV DFAULT NOCMPL

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)

A Total of 0 Warning Message(s)

A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.3.- GAS NATURAL TERRENO COMPLEJO, NO2
 8.3.1- GAS NATURAL TERRENO COMPLEJO

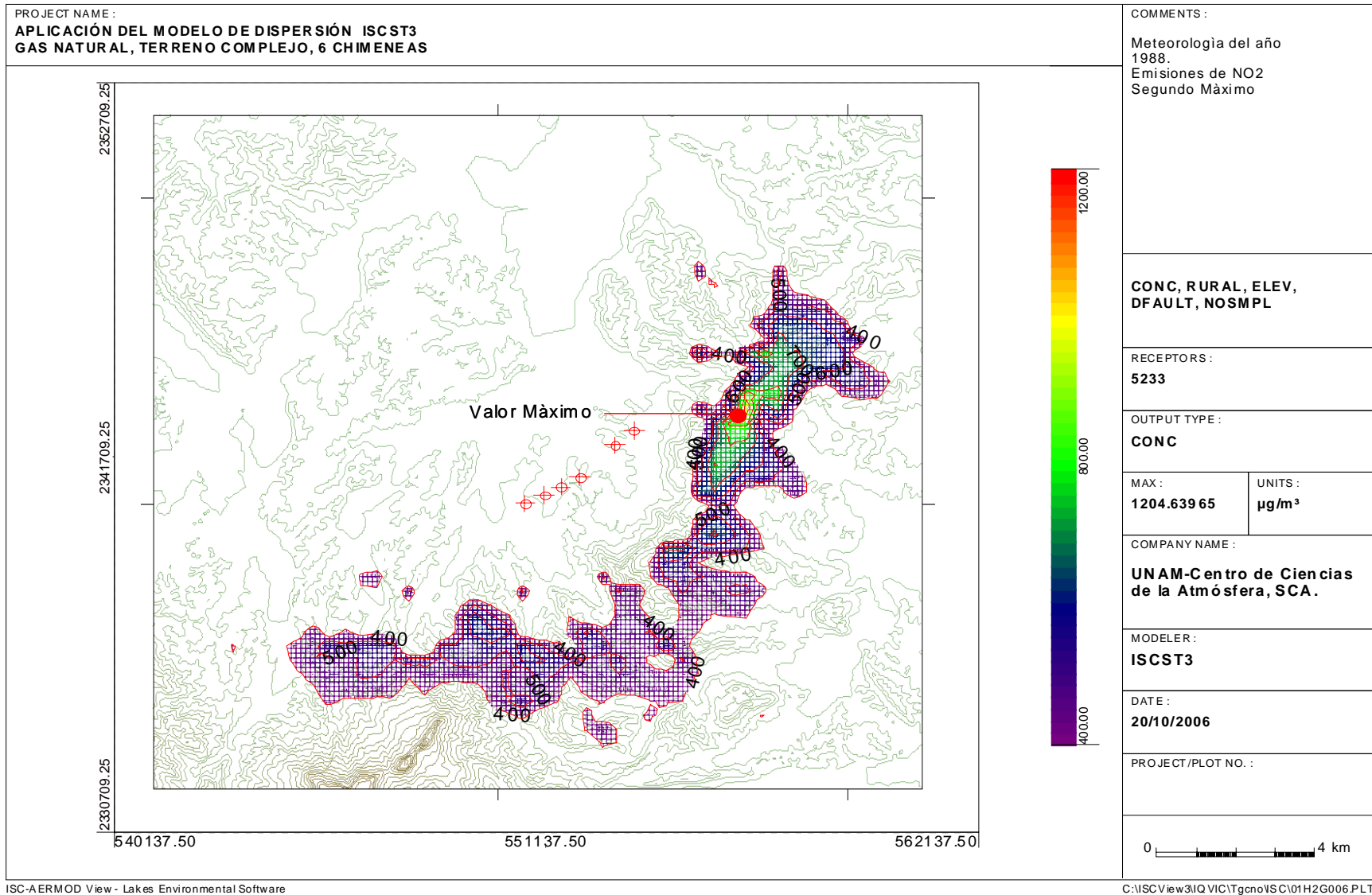


Fig. 8-12, 2º Máximo de las concentraciones horario de NO₂, producto de la combustión de gas natural en terreno complejo

Gas Natural, Terreno Complejo, NO₂

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tgcno\GcNO2.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Tesis Gas Natural
  TITLETWO NO2, Terreno Complejo
  MODELOPT DFAULT CONC NOSMPL RURAL
  AVERTIME 1
  POLLUTID NOX
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tgcno\GcNO2.err
CO FINISHED
*****
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
  LOCATION STCK1 POINT 552886.500 2342075.000 100.000
  LOCATION STCK2 POINT 553376.500 2342487.000 100.000
  LOCATION STCK3 POINT 551990.500 2341118.000 100.000
  LOCATION STCK4 POINT 551514.500 2340834.000 100.000
  LOCATION STCK5 POINT 551085.500 2340598.000 100.000
  LOCATION STCK6 POINT 550601.500 2340348.000 100.000
** Source Parameters **
  SRCPARAM STCK1 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK2 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK3 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK4 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
  SRCPARAM STCK5 117.3 120.000 425.000 22.000 5.200
  SRCPARAM STCK6 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
  SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
  SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
  SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```


*** THE SUMMARY OF HIGHEST 1-HR RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID	DATE		AVERAGE CONC	(YYMMDDHH)	RECEPTOR	(XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-ID
SRCGP1	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	1047.81104	ON 88082006:	AT (555137.50,	2341709.25,	357.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	1046.73132	ON 88111418:	AT (555137.50,	2341709.25,	357.00,	0.00) DC NA
SRCGP2	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	1047.81104	ON 88082006:	AT (555137.50,	2341709.25,	357.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	1046.73132	ON 88111418:	AT (555137.50,	2341709.25,	357.00,	0.00) DC NA
SRCGP3	HIGH	1ST HIGH VALUE IS	1258.29114	ON 88062923:	AT (556137.50,	2342709.25,	325.00,	0.00) DC NA
	HIGH	2ND HIGH VALUE IS	1204.63965	ON 88073105:	AT (556137.50,	2343209.25,	326.00,	0.00) DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** ** Tesis Gas Natural ***
 10/18/06

*** NO2, Terreno Complejo ***

20:07:58

**MODELOPTs:

PAGE

465

CONC RURAL ELEV DFAULT

NOSMPL

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of 0 Fatal Error Message(s)

A Total of 0 Warning Message(s)

A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****

*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****

*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

8.4 GAS NATURAL TERRENO PLANO

8.4.1 GAS NATURAL TERRENO PLANO, NO2

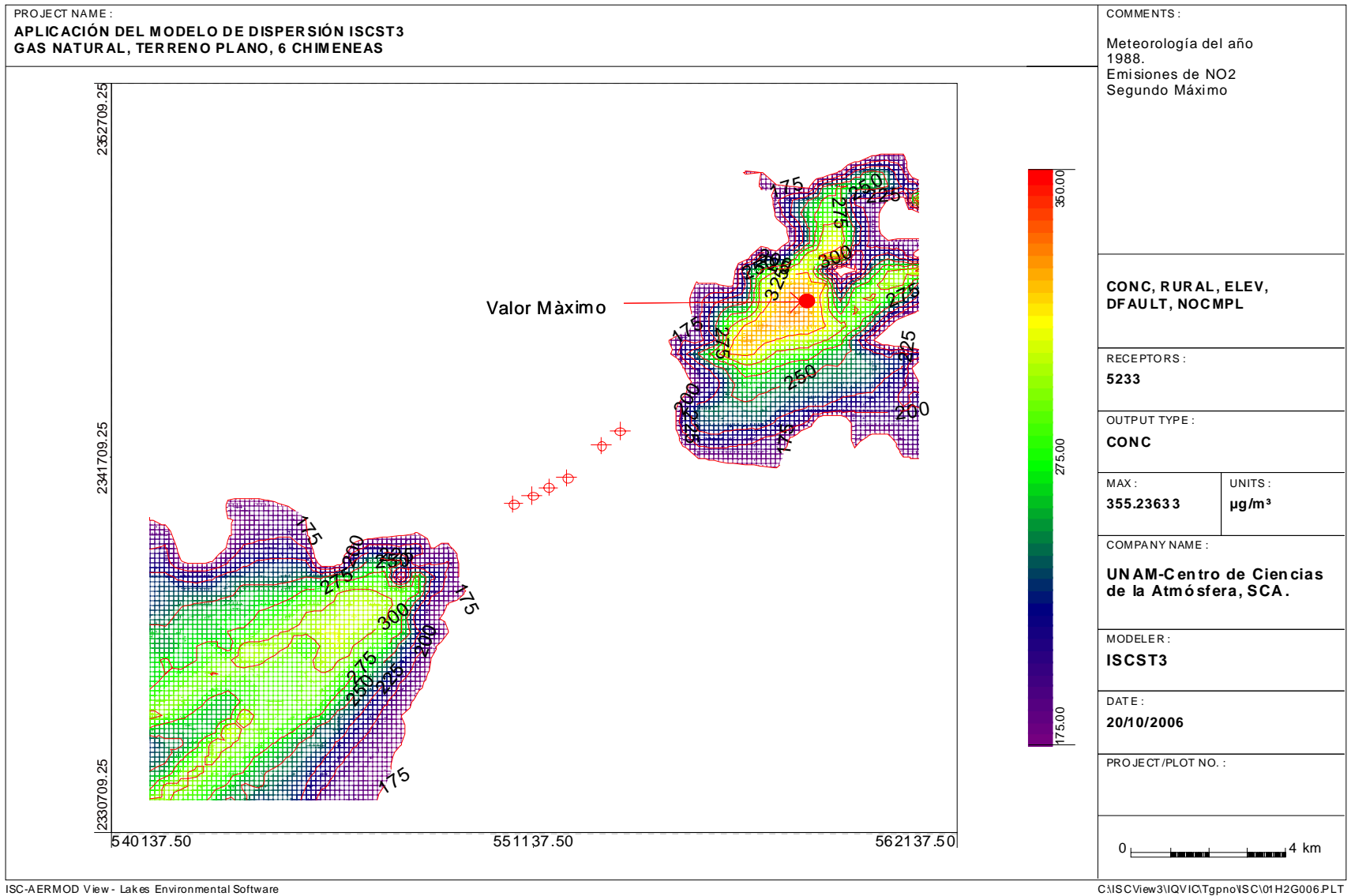


Fig. 8-13, 2º Máximo de las concentraciones horario de NO2, producto de la combustión de gas natural en terreno plano

Gas Natural, Terreno Plano, NO₂

```
*****
** ISCST3 Input Produced by:
** ISC-AERMOD View Ver. 3.01
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 18/10/2006
** File: C:\ISCView3\IQVIC\Tgпно\GcNO2.INP
*****
*****
** ISC Control Pathway
*****
CO STARTING
  TITLEONE Tesis Gas Natural
  TITLETWO NO2, Terreno Plano
  MODELOPT DFAULT CONC NOCMPL  RURAL
  AVERTIME 1
  POLLUTID NOX
  TERRHGT5 ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL C:\ISCView3\IQVIC\Tgпно\GcNO2.err
CO FINISHED
**
** ISC Source Pathway
*****
SO STARTING
** Source Location **
LOCATION STCK1 POINT 552886.000 2342075.000 100.000
LOCATION STCK2 POINT 553376.000 2342487.000 100.000
LOCATION STCK3 POINT 550601.000 2340348.000 100.000
LOCATION STCK4 POINT 551085.000 2340598.000 100.000
LOCATION STCK5 POINT 551514.000 2340834.000 100.000
LOCATION STCK6 POINT 551990.000 2341118.000 100.000
** Source Parameters **
SRCPARAM STCK1 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK2 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK3 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK4 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
SRCPARAM STCK5 117.3 120.000 425.000 22.000 5.200
SRCPARAM STCK6 117.3 120.000 425.000 22.000 5.500
** Source Group **
SRCGROUP SRCGP1 STCK1 STCK2
SRCGROUP SRCGP2 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4
SRCGROUP SRCGP3 STCK1 STCK2 STCK3 STCK4 STCK5 STCK6
SO FINISHED
```

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 1-HR RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

NETWORK GROUP ID				AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR	(XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-ID
SRCGP1	HIGH	1ST	HIGH VALUE IS	128.99045	ON 88080205	AT (	557637.50, 2346209.25, 276.00,	0.00)	DC NA
	HIGH	2ND	HIGH VALUE IS	125.02011	ON 88081204	AT (	560137.50, 2347209.25, 260.00,	0.00)	DC NA
SRCGP2	HIGH	1ST	HIGH VALUE IS	249.28398	ON 88062106	AT (	558637.50, 2346209.25, 237.00,	0.00)	DC NA
	HIGH	2ND	HIGH VALUE IS	242.64554	ON 88083007	AT (	558137.50, 2346209.25, 313.00,	0.00)	DC NA
SRCGP3	HIGH	1ST	HIGH VALUE IS	369.08472	ON 88100319	AT (	559137.50, 2347709.25, 250.00,	0.00)	DC NA
	HIGH	2ND	HIGH VALUE IS	355.23633	ON 88071921	AT (	558137.50, 2345709.25, 438.00,	0.00)	DC NA

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
 GP = GRIDPOLR
 DC = DISCCART
 DP = DISCPOLR
 BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 99155 *** ** Tesis Gas Natural ***
 10/18/06
 20:10:07
 *** NO2, Terreno Plano ***

**MODELOPTs:
 465
 CONC RURAL ELEV DFAULT

PAGE
 NOCMPL

----- Summary of Total Messages -----
 A Total of 0 Fatal Error Message(s)
 A Total of 0 Warning Message(s)
 A Total of 109 Informational Message(s)

A Total of 109 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
 *** NONE ***
 ***** WARNING MESSAGES *****
 *** NONE ***

 *** ISCST3 Finishes Successfully ***

9. - ANALISIS DE RESULTADOS

9.1 Combustóleo

9.1.1 Resultados combustóleo terreno complejo

De la tabla 9-1 a la 9-5, se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas de la simulación realizada con el modelo ISCST3, para una central termoeléctrica que usa combustóleo como combustible en terreno complejo, que corresponde al escenario I.

Tabla 9-1 Concentraciones de SO₂ (24 horas)

Combustóleo terreno complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de SO ₂ μ/m ³
2	1735
4	1934
6	2753.2

Tabla 9-2 Concentraciones de SO₂ (anual)

Combustóleo Terreno Complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de SO ₂ μ/m ³
2	153.34
4	232.35
6	330.97

Tabla 9-3 Concentraciones de Partículas (24 horas)

Combustóleo Terreno Complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de Partículas μ/m ³
2	122.86
4	136.95
6	194.95

Tabla 9-4 Concentraciones de Partículas (anual)

Combustóleo Terreno Complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de Partículas μ/m ³
2	10.85
4	16.45
6	23.43

Tabla 9-5 Concentraciones de NO₂

Combustóleo Terreno Complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de NO ₂ μ/m ³
2	1150.82
4	1150.82
6	1324.92

9.1.2 RESULTADOS COMBUSTÓLEO TERRENO PLANO

En las tablas siguientes de la 9-6 a la 9-10 se presentan las concentraciones, producto de la simulación del combustóleo en el proceso de generación eléctrica, donde el terreno no presenta elevaciones es decir que el terreno es de tipo plano y corresponde al escenario II.

Tabla 9-6 Concentraciones de SO₂ (24 horas)

Combustóleo Terreno Plano	
Número de Chimeneas	Concentración de SO ₂ μ/m ³
2	417.47
4	602.17
6	901.72

Tabla 9-7 Concentraciones de SO₂ (anual)

Combustóleo Terreno Plano	
Número de Chimeneas	Concentración de SO ₂ μ/m ³
2	35.66
4	67.03
6	101.7

Tabla 9-8 Concentraciones de Partículas (24 horas)

Combustóleo Terreno plano	
Número de Chimeneas	Concentración de Partículas μ/m ³
2	29.56
4	42.64
6	63.85

Tabla 9-9 Concentraciones de Partículas (anual)

Combustóleo Terreno plano	
Número de Chimeneas	Concentración de Partículas μ/m^3
2	2.25
4	4.75
6	7.2

Tabla 9-10 Concentraciones de NO₂

Combustóleo Terreno Plano	
Número de Chimeneas	Concentración de NO ₂ μ/m^3
2	137.49
4	266.84
6	390.7

9.2 Gas natural

9.2.1 Resultados gas natural terreno complejo

La siguiente tabla presenta el resultado correspondiente a la simulación del escenario III, que corresponde al proceso de generación eléctrica, usando gas natural en ciclo combinado para terreno complejo.

Tabla 9-11 Concentraciones de NO₂

Gas Natural Terreno Complejo	
Número de Chimeneas	Concentración de NO ₂ μ/m^3
2	1046.73
4	1046.73
6	1204.64

9.2.2 Resultados gas natural terreno plano

A continuación la tabla 9-12 presenta las concentraciones resultado de la simulación del gas natural en terreno plano para el proceso de generación eléctrica por ciclo combinado, correspondiente al escenario IV.

Tabla 9-12 Concentraciones de NO₂

Gas Natural Terreno Plano	
Número de Chimeneas	Concentración de NO ₂ μ/m^3
2	125.02
4	242.64
6	355.23

9.3 Combustóleo terreno complejo vs terreno plano

A continuación de la tabla 9-13 a la tabla 9-17, se muestra la relación que existe al comparar las concentraciones entre terreno plano y terreno complejo usando combustóleo como combustible en el proceso de generación eléctrica.

Tabla 9-13
Terreno complejo vs Terreno plano, SO₂ (24 horas)

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTÓLEO EN TERRENO COMPLEJO	COMBUSTÓLEO EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1735	417.47	0.24
4	1934	602.17	0.31
6	2753.2	901.72	0.33

Tabla 9-14
Terreno complejo vs Terreno plano, SO₂ (anual)

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO COMPLEJO	COMBUSTOLEO EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	153.34	35.66	0.23
4	232.35	67.03	0.29
6	330.97	101.7	0.31

Tabla 9-15
Terreno complejo vs Terreno plano, Partículas (24 horas)

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO COMPLEJO	COMBUSTOLEO EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	122.86	29.56	0.24
4	136.95	42.64	0.31
6	194.95	63.85	0.33

Tabla 9-16
Terreno complejo vs Terreno plano, Partículas (anual)

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO COMPLEJO	COMBUSTOLEO EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	10.85	2.25	0.21
4	16.45	4.75	0.29
6	23.43	7.2	0.31

Tabla 9-17
Terreno complejo vs Terreno plano, NO₂

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO COMPLEJO	COMBUSTOLEO EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1150.82	137.49	0.12
4	1150.82	266.84	0.23
6	1324.92	390.7	0.29

9.4 Gas natural terreno complejo vs terreno plano

La siguiente tabla presenta la relación de las concentraciones comparando terreno plano y terreno complejo usando gas natural como combustible en el proceso de generación eléctrica

Tabla 9-18
Terreno complejo vs Terreno plano, NO_2

NÚMERO DE CHIMENEAS	GAS NATURAL EN TERRENO COMPLEJO	GAS NATURAL EN TERRENO PLANO	RELACIÓN T. Plano/T. Complejo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1046.73	125.02	0.12
4	1046.73	242.64	0.23
6	1204.64	355.23	0.29

9.5 Combustóleo vs gas natural

La comparación de las concentraciones resultado de la simulación del proceso de generación eléctrica para los tres escenarios, aplicando las mismas condiciones de terreno y variando el tipo de combustible usado en el proceso, se muestra en las relaciones obtenidas en la tabla 9-19 para terreno complejo y la tabla 9-20 para terreno plano.

Tabla 9-19
Combustóleo vs Gas natural, NO_2

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO COMPLEJO	GAS NATURAL EN TERRENO COMPLEJO	RELACIÓN Gas Natural/Combustóleo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1150.82	1046.73	0.91
4	1150.82	1046.73	0.91
6	1324.92	1204.64	0.91

Tabla 9-20
Combustóleo vs Gas natural, NO_2

NÚMERO DE CHIMENEAS	COMBUSTOLEO EN TERRENO PLANO	GAS NATURAL EN TERRENO PLANO	RELACIÓN Gas Natural/Combustóleo
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	137.49	125.02	0.91
4	266.84	242.64	0.91
6	390.7	355.23	0.91

9.6 Relación terreno complejo vs terreno plano

Fig. 9-1
TERRENO COMPLEJO vs TERRENO PLANO
2 CHIMENEAS

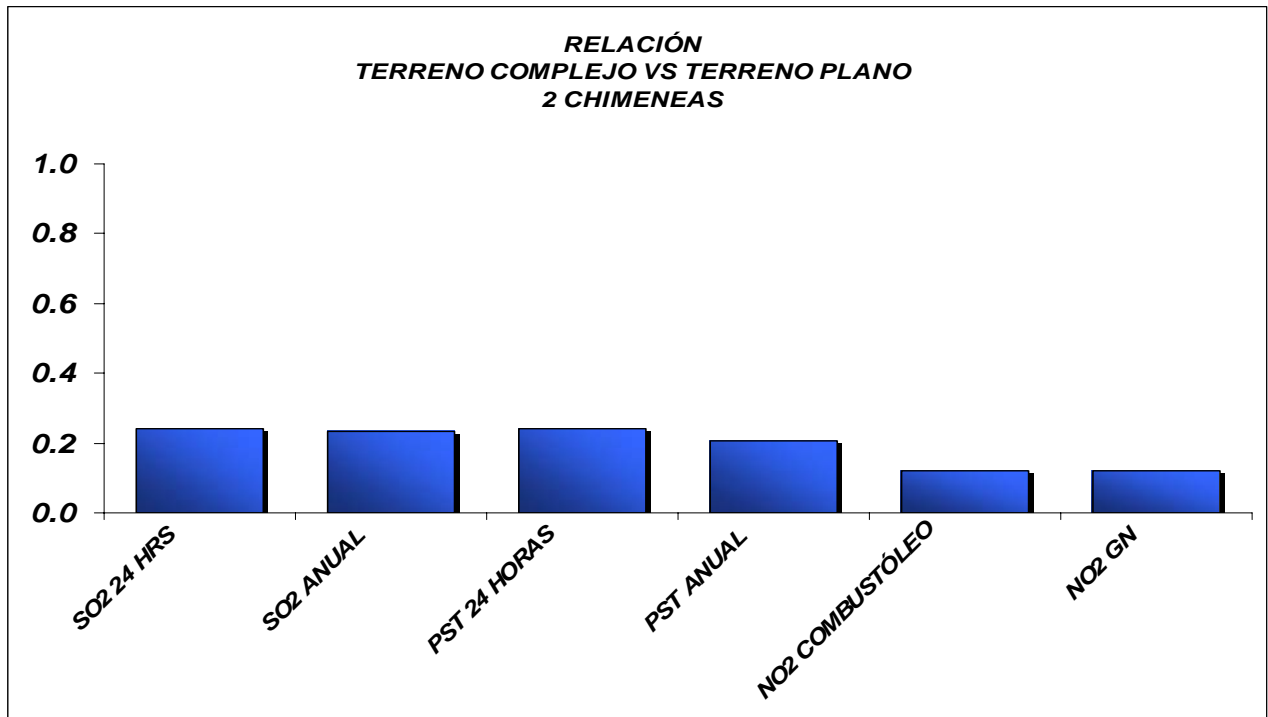


Fig. 9-2
TERRENO COMPLEJO vs TERRENO PLANO
4 CHIMENEAS

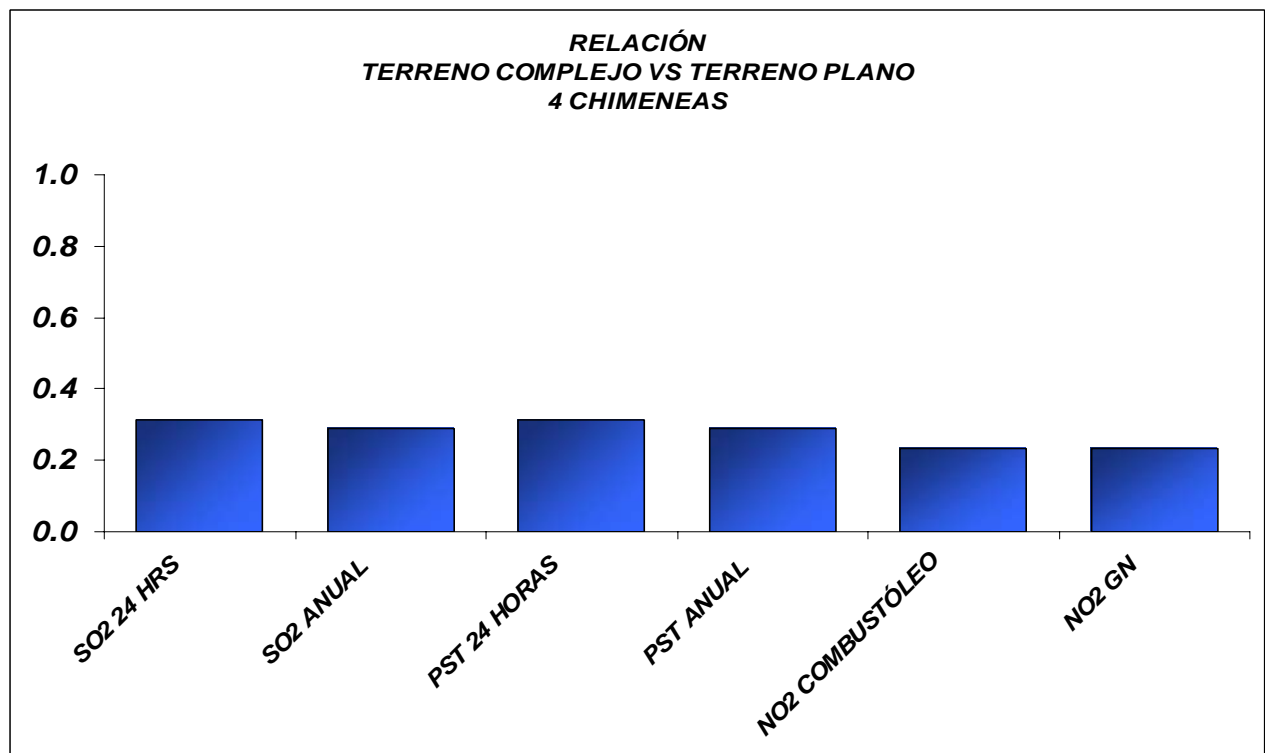
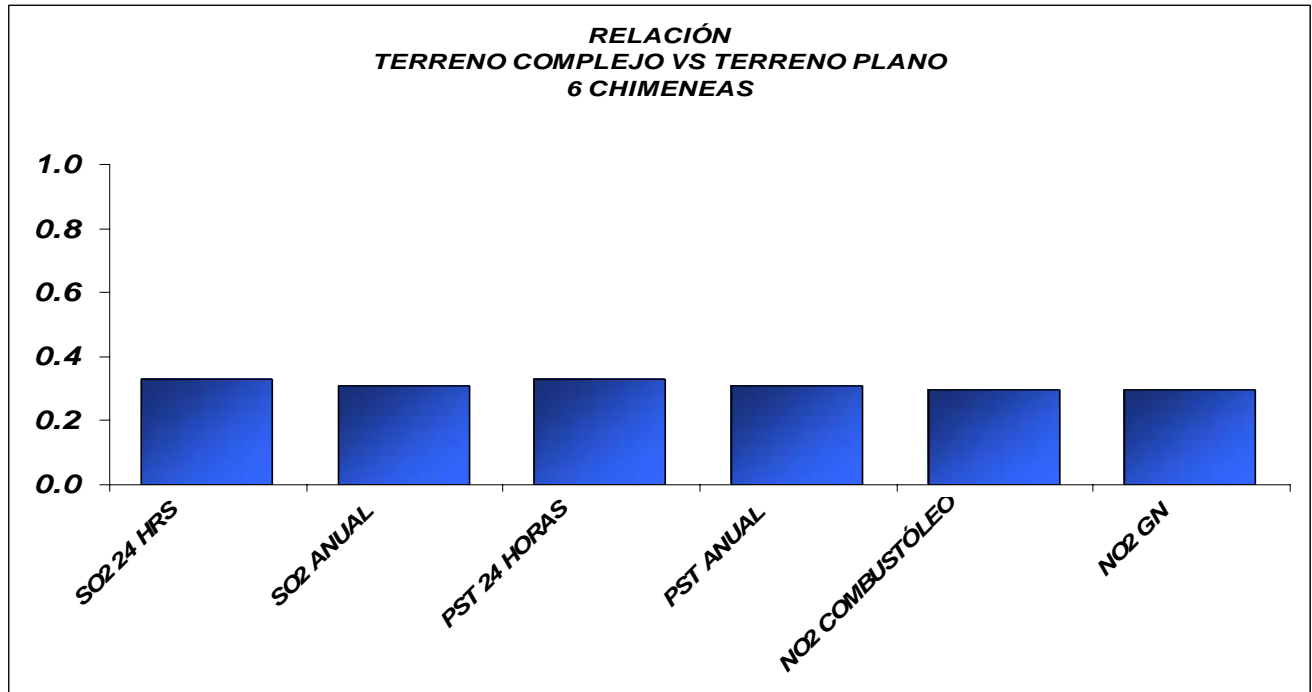


Fig. 9-3
TERRENO COMPLEJO vs TERRENO PLANO
6 CHIMENEAS



9.7 Comparativa de las relaciones entre terreno complejo y terreno plano

Tabla 9-21
Comparativa de las relaciones entre
Terreno complejo y Terreno plano

Numero de Chimeneas	C VS GN TERRENO COMPLEJO	C VS GN TERRENO PLANO
2	0.91	0.91
4	0.91	0.91
6	0.91	0.91

9.8 Relación terreno complejo vs terreno plano y combustóleo vs gas natural de NO₂

Fig. 9-4
COMPARATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE
TERRENO COMPLEJO Y TERRENO PLANO 2 CHIMENEAS

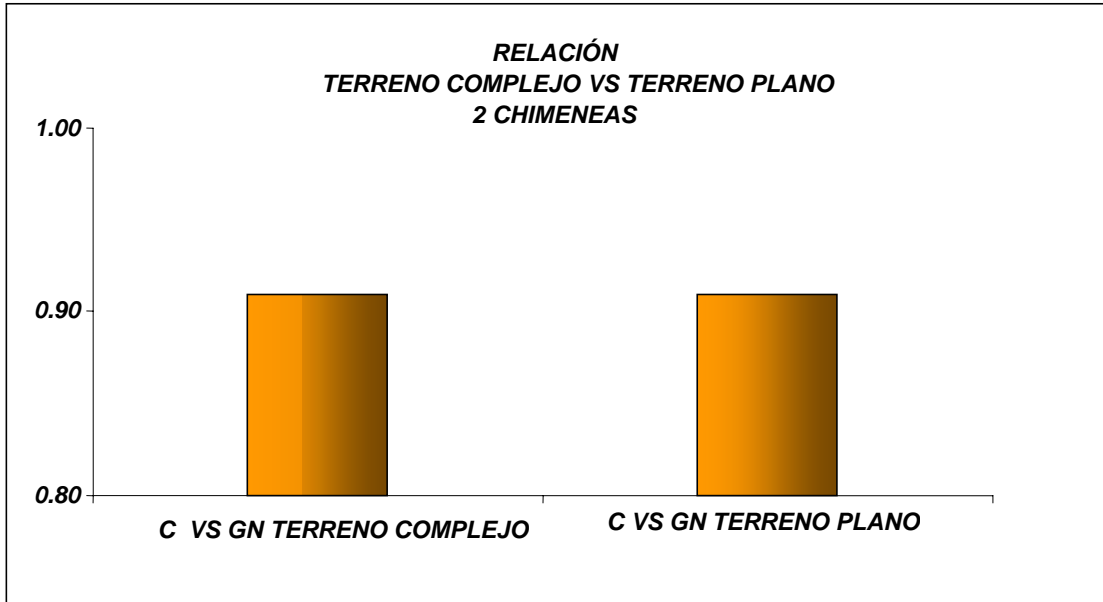


Fig. 9-5
COMPARATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE
TERRENO COMPLEJO Y TERRENO PLANO 4CHIMENEAS

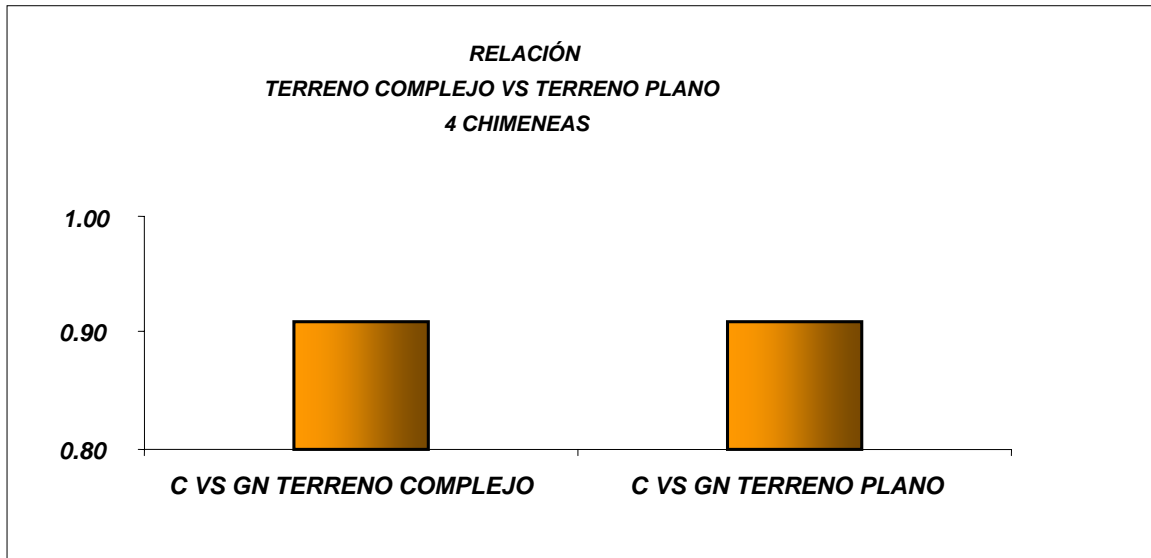
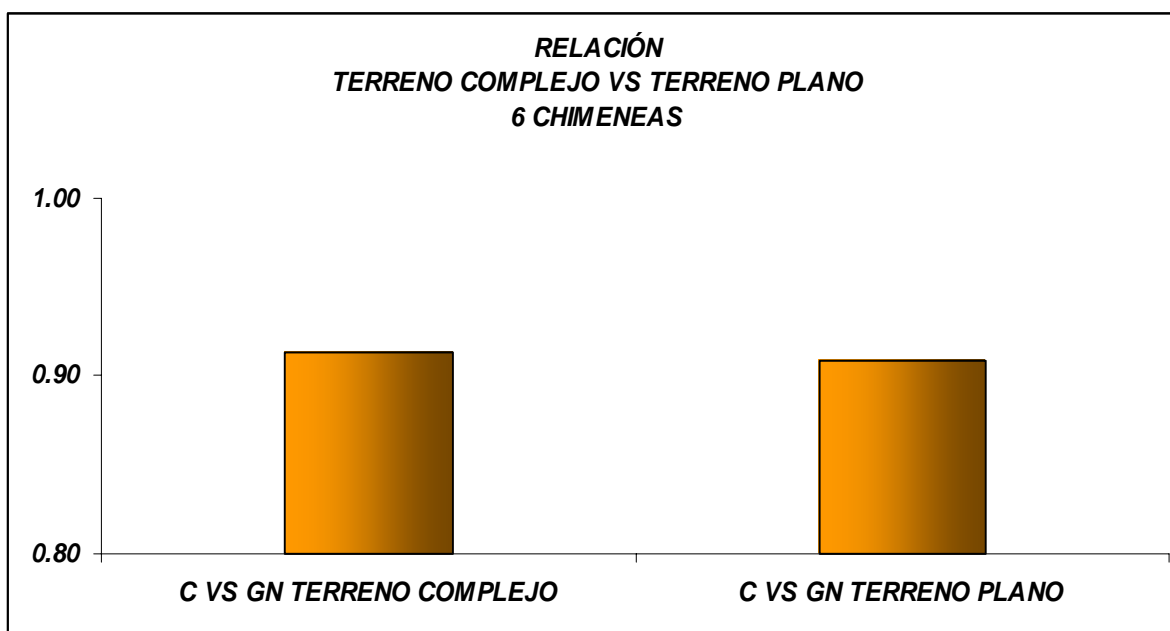


Fig. 9-6
COMPARATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE
TERRENO COMPLEJO Y TERRENO PLANO 6CHIMENEAS



9.9 Distancia de la fuente al valor máximo.

De la tabla 9-22 a la tabla 9-31 se presentan los valores de las distancias calculadas que van desde el punto en el cual se ubica la fuente hasta el punto en el cual se presenta la concentración máxima.

Tabla 9-22 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO₂ horario, para el uso de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo terreno complejo SO ₂ 24 HORAS					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	553037.5	2343809.25	551137.48	2341709.13	2832
4	554137.5	2342809.25	551137.48	2341709.13	3195
6	555637.5	2344209.25	551137.48	2341709.13	5148

Tabla 9-23 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO₂ anual, para el uso de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo terreno complejo SO ₂ ANUAL					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	557137.5	2345209.25	551137.48	2341709.13	6946
4	556637.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	6265
6	556637.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	6265

Tabla 9-24 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de partículas para el uso de combustóleo en terreno complejo

Combustóleo terreno complejo Partículas					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	553037.5	2343809.25	551137.48	2341709.13	2832
4	554137.5	2342809.25	551137.48	2341709.13	3195
6	555637.5	2344209.25	551137.48	2341709.13	5148

Tabla 9-25 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO₂ horario, para el de uso combustóleo en terreno complejo

Combustóleo terreno complejo NO ₂					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	553037.5	2341009.25	551137.48	2341709.13	2025
4	549837.5	2339909.25	551137.48	2341709.13	2220
6	549937.5	2339809.25	551137.48	2341709.13	2247

Tabla 9-26 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO₂ horario, para el de uso combustóleo en terreno plano

Combustóleo terreno plano SO ₂ 24 HORAS					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	552637.5	2338209.25	551137.48	2341709.13	3808
4	556637.5	2345209.25	551137.48	2341709.13	6519
6	556137.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	5831

Tabla 9-27 distancias de la fuente al valor máximo de concentración de SO₂ anual, para el uso de combustóleo en terreno plano

Combustóleo terreno plano SO ₂ ANUAL					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	557637.5	2345709.25	551137.48	2341709.13	7632
4	557637.5	2345709.25	551137.48	2341709.13	7632
6	557137.5	2345209.25	551137.48	2341709.13	6946

Tabla 9-28 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de Partículas para el uso de combustóleo en terreno plano

Combustóleo terreno plano Partículas					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	552637.5	2338209.25	551137.48	2341709.13	3808
4	556637.5	2345209.25	551137.48	2341709.13	6519
6	556137.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	5831

Tabla 9-29 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO₂ horario, para el uso de combustóleo en terreno plano

Combustóleo terreno plano NO ₂					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	550837.5	2340109.25	551137.48	2341709.13	1628
4	556137.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	5831
6	555637.5	2344209.25	551137.48	2341709.13	5148

Tabla 9-30 Distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO₂ horario, para el uso de gas natural en terreno complejo

Gas Natural terreno complejo NO ₂					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	553037.5	2341009.25	551137.48	2341709.13	2025
4	550837.5	2340309.25	551137.48	2341709.13	1432
6	549937.5	2339809.25	551137.48	2341709.13	2247

Tabla 9-31 distancias de la fuente al valor máximo de concentración de NO₂ horario, para el uso de gas natural en terreno plano

Gas Natural terreno plano NO ₂					
Numero de Chimeneas	X1	Y1	X2	Y2	Distancia (m)
2	550837.5	2340109.25	551137.48	2341709.13	1628
4	556137.5	2344709.25	551137.48	2341709.13	5831
6	555637.5	2344209.25	551137.48	2341709.13	5148

Considerando los resultados obtenidos en la aplicación del modelo de dispersión ISC para los casos ejemplo de una central de generación eléctrica, que utiliza combustóleo y gas natural como combustible, es importante mencionar los siguientes aspectos:

- Las emisiones por el consumo de combustóleo y de gas natural (tabla 7-7) como combustible en los procesos de generación eléctrica rebasan los límites de concentración permitidos por las normas de calidad del aire, esto para algunos de los escenarios simulados (tabla 9-1) tal como se muestra en los resultados obtenidos (tablas 9-1 a 9-12).
- En terreno complejo encontramos que los escenarios simulados para SO₂ tanto para 24 horas como anual se rebasa la norma de calidad del aire (tabla 9-1 y 9-2).
- Para PST en terreno complejo la norma no fue rebasada para las simulaciones de 24 horas ni para la simulación anual, en sus tres escenarios (tabla 9-3 y 9-4).
- Las concentraciones de NO₂ para terreno complejo, si rebasaron el límite permitido por la norma correspondiente en sus tres escenarios (tabla 9-5).

- En la simulación realizada con terreno plano teniendo al combustóleo como combustible, la concentración de SO₂ en 24 horas rebasa lo indicado por la norma de calidad del aire (tabla 9-6).
- En el caso del SO₂ para una concentración anual, el escenario I y II no rebasaron lo indicado en la norma de calidad del aire, el escenario III si rebasa la norma (tabla 9-7).
- Analizando las concentraciones para PST en terreno plano tanto para 24 horas como anual no se rebasa la norma de calidad del aire (tabla 9-8 y 9-9).
- Para NO₂ en terreno plano consumiendo combustóleo, tenemos que no se rebasa la norma de calidad del aire en ninguno de los tres escenarios modelados (tabla 9-10).
- Ahora analizando la simulación de los tres escenarios donde se utiliza gas natural como combustible en el proceso de generación eléctrica se puede ver que para terreno complejo el valor de la concentración rebasa el límite indicado por la norma de calidad del aire para NO₂ en dichos escenarios (tabla 9-11). Este resultado no es el mismo cuando consideramos que el terreno simulado es plano, en los tres escenarios la concentración no se rebasa la norma de calidad del aire (tabla 9-12).
- Considerando las condiciones del terreno como variable de entrada al modelo, sea este plano o complejo, este tiene un impacto directo en el valor de la concentración de la emisión en cuestión (tablas 9-13 a 9-18), así como en la distancia de transporte. Cuando el terreno es complejo la distancia de transporte es menor en comparación con el terreno plano (tablas 9-22 a 9-31). Esto se da en ambos casos, en el uso de Gas Natural y de Combustóleo como combustible para el proceso de generación eléctrica.
- Analizando el valor de las concentraciones emitidas se puede ver que para el caso de NO₂ las emisiones producidas por la combustión del Combustóleo son de aproximadamente el doble en comparación con el Gas Natural. (tablas 9-19 a 9-20).
- Comparando ambos combustibles y tomando en cuenta las emisiones emitidas a la atmósfera (tabla 7-7) se puede deducir que el Gas Naturales es un combustible con menor Impacto en la Calidad del Aire, ya que presenta menor número de contaminantes, motivo por el cual se esta tomando como una alternativa en el reemplazo de combustibles derivados del petróleo.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la actualidad el creciente desarrollo industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación al ambiente, es por eso que preocupados por mitigar estos problemas se han desarrollado nuevas herramientas para realizar estudios de calidad del aire; estas herramientas son los modelos de dispersión. Con el paso del tiempo estos modelos se han ido perfeccionando apoyadas en nuevas tecnologías, de tal manera que simulan la atmósfera de una manera más real. En adición a esto se ha logrado desarrollar modelos más confiables que requieren de la integración de una variedad de datos de tal manera que cada vez se acerca a una representación más real de las condiciones que imperan en las zonas de estudio.
- Existe una gran variedad de modelos para realizar estudios de impacto en la calidad del aire por fuentes industriales, desde los modelos más complejos hasta los modelos más simples que no requieren de una gran cantidad de datos ni experiencia por parte del usuario. Cabe aclarar que entre más simple sean los datos el nivel de confiabilidad de los resultados disminuye en comparación con aquellos modelos que requieren un mayor número de variables como datos de entrada. Por lo cual el modelo a emplear depende del usuario y de la disponibilidad de los datos requeridos por el mismo.
- En México, no existe regulación en cuanto al uso de modelos de dispersión para el estudio de impacto en la calidad del aire, razón por la cual es necesario recurrir a instituciones como la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (USEPA), que cuenta con una extensa información disponible para el uso de los modelos de dispersión.
- En la aplicación de los modelos de dispersión, es fundamental tener la información verídica tanto de las condiciones meteorológicas así como la orografía del sitio de estudio.
- Cabe mencionar que estas condiciones, mantienen una relación importante esto es que las condiciones meteorológicas van a verse influenciadas por la orografía.
- El uso de variables reales como datos de entrada al modelo es fundamental debido a las toma de decisiones que ahí se toman pudiéndose tener dos situaciones extremas. Subestimar las concentraciones en donde las concentraciones estimadas serían menores a las reales y por lo tanto se tendría un impacto negativo en la salud; principalmente, (efecto en materiales “corrosión”, ecosistemas, visibilidad, etc.). sobreestimar lo que implicaría que la industria tomara medidas correctivas para mitigar el impacto con el costo correspondiente, sin ser realmente necesario.
- Debido a las limitaciones de información sobre todo meteorológica en los sitios de estudio, así como a la complejidad de los modelos que se utilizan, será necesario determinar las condiciones meteorológicas en el sitio.
- De las simulaciones realizadas se observa que de las emisiones de combustóleo, el número de contaminantes criterio es mayor en comparación con las del uso de gas natural.

- Las concentraciones de SO₂ producto del uso de combustóleo como combustible en el proceso de generación eléctrica, rebasa los límites de calidad del aire dictados por la norma correspondiente para 24 horas y anual, considerando el terreno complejo en los tres escenarios simulados.
- Considerando el mismo contaminante, el mismo combustible, los mismos escenarios y cambiando las condiciones del terreno, asumiendo que este es plano las concentraciones resultantes rebasan la norma de calidad del aire para 24 horas en los tres escenarios, mas no así para la norma de calidad del aire para un periodo de 1 año en donde el escenario I y el escenario II no rebasan el límite permitido, y el escenario III con 6 chimeneas si lo rebasa.
- Las concentraciones de PST no rebasan los límites permitidos por la norma de calidad del aire correspondiente; contemplando el uso de combustóleo en terreno complejo para los tres escenarios simulados.
- De la misma manera para las PST en terreno plano las concentraciones no rebasan las normas de calidad del aire en ninguno de los escenarios simulados.
- Para el caso del NO₂ en terreno complejo y usando combustóleo las concentraciones obtenidas en la simulación demuestra que el límite permitido por las norma es rebasado en los tres escenarios.
- En cuanto a las concentraciones de NO₂ en terreno plano estas no rebasan la norma correspondiente en ninguno de los escenarios simulados.
- Por lo que se deduce que la orografía es un factor importante en la dispersión de los contaminantes ya que en sitios donde se presentan mayores elevaciones de terreno, la concentración de los contaminantes es mayor y la distancia de arrastre es menor.
- La meteorología juega un papel importante, ya que en condiciones de estabilidad atmosférica, la dispersión de los contaminantes no es tan eficiente en comparación con condiciones de mayor inestabilidad atmosférica.
- Para los escenarios en los que se realizó la simulación usando gas natural para el proceso de generación eléctrica en controles de ciclo combinado (CCC) y considerando como variable las condiciones del terreno del sitio en estudio, se concluye que la emisión de NO₂ en terreno complejo es mayor en casi un 90%, en comparación con la emisión de NO₂ en terreno plano.
- La conclusión general de la aplicación del modelo para los diferentes escenarios estudiados (combustible, terreno y escenario), es que la mejor alternativa en cuanto al proceso de generación eléctrica, es el uso de la tecnología de ciclo combinado debido a que es una tecnología más amigable con el medio ambiente.
- Los modelos de dispersión para calidad del aire son una herramienta importante para realizar estudios de impacto ambiental.

- Cuando las instalaciones industriales todavía no se construyen o se encuentran en operación, la herramienta de simulación que es un modelo de dispersión es útil y apoya la filosofía de prevención, ya que con anticipación se pueden tomar las medidas correctivas necesarias.
- Con el apoyo de los modelos de dispersión y ya cuando las instalaciones industriales se encuentran operando, se podría ubicar estaciones de monitoreo para evaluar la calidad del aire real. A su vez esta evaluación de la calidad del aire servirá para validar el método de dispersión aplicado.
- Se debe de establecer como parte de la normatividad ambiental vigente en México el uso de modelos de dispersión para la localización de estaciones de monitoreo de la calidad del aire que tenga como propósito evaluar el impacto de una o mas fuentes de contaminación.
- Con el propósito de tener una evaluación real del impacto en la calidad del aire al aplicar los modelos de dispersión, es necesario considerar las concentraciones de fondo del contaminante de interés en cada sitio estudiado.

GLOSARIO

Altura de mezcla: altura máxima a la cual una porción de aire puede ascender. en un diagrama adiabático, punto en el cual el gradiente vertical adiabático de la porción de aire se intersecta con el gradiente vertical ambiental.

Altura efectiva de la chimenea: suma de la altura física de la chimenea y la elevación de la pluma.

AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD): Modelos de dispersión regulatorio de la sociedad meteorológica americana.

Buoyant Line and Point Source Dispersion Model (BLP): Modelo de dispersión atmosférico para fuentes de punto y línea boyante.

CALPUFF: modelo de dispersión atmosférico que aplica la técnica de barrido de atmosférico y de exhalaciones instantáneas llamadas bocanadas.

Clases de estabilidad pasquill-gifford: las seis clases que caracterizan los diferentes niveles de estabilidad atmosférica usados para estimar los parámetros de dispersión horizontal y vertical que serán ingresados en la ecuación de distribución gaussiana.

Complex Terrain Dispersión Model Plus Algorithms for Unstable Situations (CTDMPLUS): modelo de dispersión para terrenos complejos y aplicación de algoritmos para situaciones inestables.

Industrial Source Complex (ISC3): Modelo de dispersión para fuentes complejas.

Modelo estadístico de calidad del aire: modelo de calidad del aire que depende de análisis estadísticos de datos empíricos para predecir el comportamiento de contaminantes. los modelos estadísticos se usan cuando la información científica sobre procesos químicos o físicos de una fuente es incompleta o vaga.

Modelo gaussiano de calidad del aire: modelo de calidad del aire que usa la ecuación de distribución gaussiana (basada en la distribución normal o acampanada) para estimar las concentraciones de contaminantes no reactivos para una fuente única.

Modelo numérico de calidad del aire: modelo de calidad del aire que usa ecuaciones matemáticas y algoritmos para formular los conceptos científicos básicos de los procesos físicos y químicos que ocurren en la atmósfera.

Offshore and Coastal Dispersion Model (OCD): modelo de dispersión atmosférico para aplicación en costas y fuera de las costas.

Pluma: traza de gases producto de la combustión procedente de una chimenea.

Troposfera: La capa más baja de la atmósfera, que representa cerca de tres cuartos de la masa de la atmósfera y brinda a la Tierra su clima. La troposfera es la capa más importante de la atmósfera con respecto a la contaminación del aire, ya que virtualmente toda esta contaminación es emitida dentro de la troposfera.

SCREEN: Modelo de dispersión atmosférico que aplica la técnica de barrido atmosférico

ANEXO

NMX-AA-107-1988

CALIDAD DEL AIRE-ESTIMACIÓN DE LA ALTURA EFECTIVA DE CHIMENEA Y DE LA
DISPERSION DE CONTAMINANTES-MÉTODO DE PRUEBA.



SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-107-1988

**CALIDAD DEL AIRE-ESTIMACIÓN DE LA ALTURA EFECTIVA DE CHIMENEA Y DE LA
DISPERSION DE CONTAMINANTES-MÉTODO DE PRUEBA.**

**AIR QUALITY-EFFECTIVE STACK HEIGHT AND POLLUTANTS DISPERSION ESTIMATES-
TEST METHOD.**

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

CALIDAD DEL AIRE-ESTIMACIÓN DE LA ALTURA EFECTIVA DE CHIMENEA Y DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES-MÉTODO DE PRUEBA.

AIR QUALITY-EFFECTIVE STACK HEIGHT AND POLLUTANTS DISPERSION ESTIMATES-TEST METHOD.

P R E F A C I O

En la elaboración de esta norma participaron las siguientes Instituciones y empresas.

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
DIRECCIÓN GENERAL DE REORDENAMIENTO Y ECOLOGÍA.
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN.
- MEXALIT, S.A
- CELANESES MEXICANA, S.A

CALIDAD DEL AIRE-ESTIMACIÓN DE LA ALTURA EFECTIVA DE CHIMENEA Y DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES-MÉTODO DE PRUEBA.

AIR QUALITY-EFFECTIVE STACK HEIGHT AND POLLUTANTS DISPERSION ESTIMATES-TEST METHOD.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece un procedimiento para estimar la altura efectiva y la dispersión de los contaminantes de una chimenea que desaloja los gases de un proceso u operación industrial, independientemente de que con ella se cumplan o no las normas de calidad del aire. La utilización de chimeneas se considera sólo un complemento para el control de los niveles de contaminación ambiental.

REFERENCIAS

Esta norma se completa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

- NMX-AA-9 Determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo de pitot .
- NMX-AA10 Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
- NMX-AA-23 Protección al ambiente-Contaminación atmosférica Terminología.
- NMX-Z-1 Sistema Internacional de Unidades (SI).

RESUMEN

Se determinan los parámetros necesarios para una ecuación semiempírica, se substituyen en ella y por último se agrega a la altura física de la chimenea el ascenso de la pluma calculado. Posteriormente se estima la dispersión de los contaminantes a nivel del suelo, determinadas condiciones de estabilidad.

DEFINICIONES Y TERMINOS.

4.1 Definiciones.

4.1.1 Altura física de la chimenea.

Es la altura de la chimenea medida desde el nivel del suelo hasta el extremo superior.

4.2 Términos.

$C(x)$ = Concentración de contaminantes (s) a nivel del suelo, a cualquier distancia viento debajo de la chimenea, gramos por metro cúbico o curies/m³.

d = Diámetro interno promedio de la chimenea, metros.

h_s = Altura física de la chimenea, metros.

Δh_c = Ascensos de la pluma, metros.

h_e = Altura efectiva de la chimenea, metros.

P = Presión atmosférica, milibars.

Q_h = Gastos de contaminantes emitidos, gramos sobre segundo o curies/s.

T_a = Temperatura absoluta del aire que circunda la chimenea.

T_s = Temperatura absoluta de los gases de la chimenea, Kelvin.

u_s = Velocidad del viento a 10 metros de altura física de la chimenea, metros sobre segundo.

u_l = Velocidad del viento a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo en el sitio donde se encuentra la chimenea metros sobre segundo.

V_s = Velocidad con la que descargan los gases por la chimenea, metros sobre segundo.

πY = Coeficiente de dispersión horizontal, metros.

πZ = Coeficiente de dispersión vertical, metros.

x = Distancia de la chimenea viento abajo, metros.

Y = Distancia lateral del plano vertical del eje de la pluma, metros.

z = Altura sobre el nivel del suelo (piso), metros.

h_1 = Altura a la que se midió la velocidad del viento, (10 m).

a = Exponente que varía con el grado de estabilidad existente en el sitio en que se localiza la chimenea.

APARATOS Y EQUIPO

5.1. Tubo de pitot y manómetro diferencial.

5.2. Anemómetro y veleta capaces de medir la velocidad y dirección del viento.

5.3 Tren para muestreo, provisto de portafiltras, condensador de humedad, impactores, ciclón, gasómetro seco, etc, (véase NMX-AA-10).

5.4 Barómetro.

5.5 Termómetro bimetálico, pirómetro o equivalente.

5.6 Termómetro de mercurio o equivalente.

PROCEDIMIENTO

6.1 Obtención de parámetros.

6.1.1 Diámetro de la chimenea(d).

6.1.2 Altura física.

Obtener la altura física de la chimenea (h_s)

6.1.3 Velocidad de los gases.

Determinar la velocidad de los gases que circulan por la chimenea, ya sea a mediante el tubo de pitot (véase NMXAA-9) o a partir del gasto resultante en un balance de materiales (v_s).

6.1.4 Presión atmosférica.

Obtener la presión atmosférica del sitio en que se localiza la chimenea mediante un barómetro, o bien obtenerla de la estación meteorológica más próxima (P).

6.1.5 Temperatura de los gases.

Determinar la temperatura media de los gases que circulan por la chimenea, utilizando termómetro bimetálico, pirómetro o equivalente (T_s).

6.1.6 Temperatura del aire ambiente.

Medir la temperatura del aire ambiente.

Medir la temperatura del aire ambiente mediante termómetro de mercurio o equivalente (t_a) a 10 m sobre el nivel del suelo.

6.1.7 Velocidad del viento.

Determinar la velocidad del viento predominante en el sitio donde se localiza la chimenea a 10 m sobre el nivel del suelo (u_1) y referirla a la altura de ésta, mediante la fórmula siguiente (Formula 1):

$$U_s = u_1 \left(\frac{h_s}{h_1} \right)^a$$

“a”, tiene los valores indicados en la tabla 1.

Valores del exponente “a” en función	de los grados de estabilidad
Grado de Estabilidad	Valor “a”
A	0.141
B	0.176
C	0.193
D	0.209
E	0.277
F	0.014

NOTA: Para fines de pronóstico se considera un grado de estabilidad “D” (véase apéndice A).

6.2 Ascenso de la pluma.

6.2.1 Calcular el ascenso de la pluma ocasionado por el efecto combinado de la velocidad de descarga de los gases y por el efecto de flotación debido a su temperatura, utilizando la ecuación semiempírica siguiente (fórmula 2):

$$\Delta h_c = \frac{v_s d}{U_s} \left[1.5 + 2.68 (10^{-3}) \frac{P (T_s - T_a) d}{h_1} \right]$$

*Ecuación de Holland, basada en diámetros de chimenea de 1.7 a 4.3 m y en temperatura de emisión de 355 a 477 K (82 a 204 ° C).

6.3 Altura efectiva.

Agregar la altura física de la chimenea al ascenso calculado en 6.2.1 (formula 3):

$$H_e = h_s + h_c$$

7

CALCULOS DE DISPERSIÓN.

7.1 Concentraciones a nivel suelo .

Para calcular las concentraciones a nivel del suelo para cualquier distancia viento debajo de la chimenea, utilizar la ecuación siguiente: (formula 4).

$$C(x) = \frac{Q_h}{\pi Y \pi Z \pi U_s} - \frac{1 (h^e)^2}{2 \pi Z} \quad \text{---} \quad \text{---}$$

7.2 Solución de exponenciales

Determinarlos utilizando la tabla 3 del apéndice, (véase nota).

NOTA: $\exp - 1 \left(\frac{h^e}{z} \right)^2 = e^{-0.5 (h^e/2z)^2}$

7.3 Coeficiente de dispersión .

Determinar los coeficientes de dispersión horizontal y vertical π_y y π_z utilizando las graficas 1 y 2 respectivamente (ver apéndice) y considerando un grado de estabilidad "D".

8.- NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE N.C.A VERSUS C (x)

Si C(x) mayor que N.C.A. , se recomienda, ya sea :

- Instalar equipo de control que reduzca C(x) a un valor menor que N.A.C.
- Aumentar la altura física de la chimenea de tal manera que sea C(x) sea menor que N.A.C.
- Aumentar la velocidad de descarga de los gases.
- Efectuar las combinaciones necesarias de las ecuaciones 1 (2).

9. RECOMENDACIONES

9.1 Altura Física.

Si se trata de una chimenea en proyecto o de instalarla como complemento de método (s) y/o equipo (s) de control, la altura física de la chimenea conviene que sobrepase la altura de la zona de turbulencias que se generan en los alrededores de la chimenea al incidir el viento sobre las estructuras, edificios y accidentes topográficos (incluyendo la vegetación) que la circundan.

La altura de la zona de turbulencias es de aproximadamente 2.5 veces la altura de las estructuras, edificios y/o accidentes topográficos citados.

9.2 Velocidades de Descarga.

Si la velocidad de descarga de los gases es menor que la velocidad del viento en el sitio en que se localiza la chimenea, ocurrirá un abatimiento de la pluma viento debajo de la chimenea; por el contrario si la velocidad de descarga es mucho mayor que la velocidad del viento, se perderá el efecto convección y disminuirá el ascenso de la pluma.

Por otra parte lo anterior a continuación se proporciona una tabla con las velocidades recomendables.

TABLA 2

VELOCIDADES DE SALIDA RECOMENDADAS

Velocidad del viento Kilómetro sobre hora	Velocidad de salida mínima Metros sobre mínimo
16	396
24	610
32	792
40	1006
48	1189

La tabla anterior constituye únicamente una guía. En cualquier caso es conveniente efectuar un estudio económico.

APENDICE A

La estabilidad de atmósfera se clasifica en 6 grados (véase tabla N. 1); el grado A corresponde a la mayor inestabilidad, el grado F a la mayor estabilidad. Estos grados varían con la turbulencia de la atmósfera, la que a su vez depende de la velocidad del viento, de la rugosidad o accidentado de la superficie del suelo (o con la presencia de estructuras); la altura sobre el suelo con la distancia a la fuente (chimenea), etc. (Radiación solar, capa de nubes).

Para realizar predicciones, es conveniente suponer el grado de estabilidad "D" (neutral), sin importar la velocidad del viento.

Los coeficientes de dispersión π_y y π_z , se determina con las gráficas 1 y 2 en función de la distancia viento debajo de la chimenea.

Estas gráficas corresponden a campo abierto y plano. Probablemente subestiman el potencial de dispersión para las chimeneas de poca altura situadas en zonas que existen estructuras y/o accidentes topográficos.

Los valores π_y y π_z son representativos para tiempos de muestreo de 10 minutos.

Para comparar los resultados obtenidos con la fórmula número 4 el tiempo de muestreo diferentes, aplicar la ecuación siguiente (Fórmula 5)

$$C(x)_2 = C(x)_1 (t_1/t_2)^{0.165}$$

Donde :

$C(x)_1$ = Concentración de contaminantes para un tiempo de muestreo t_1 (10 minutos)

$C(x)_2$ = Concentración de contaminantes para un tiempo de muestreo t_2 máximo de 180 minutos.

10 BIBLIOGRAFIA

a) U.S. Environmental Protection
Work Book of Atmospheric Dispersion Estimate
United States of America

b) Design Stack by Curbing A.P Day
Simmerrmann, Inc.
U.S.A

c) Donald L. Robins and Manlio M. Mattia
Computer Program Helps.

TABLA 3.- SOLUCION DE EXPONENCIALES (Continuación)

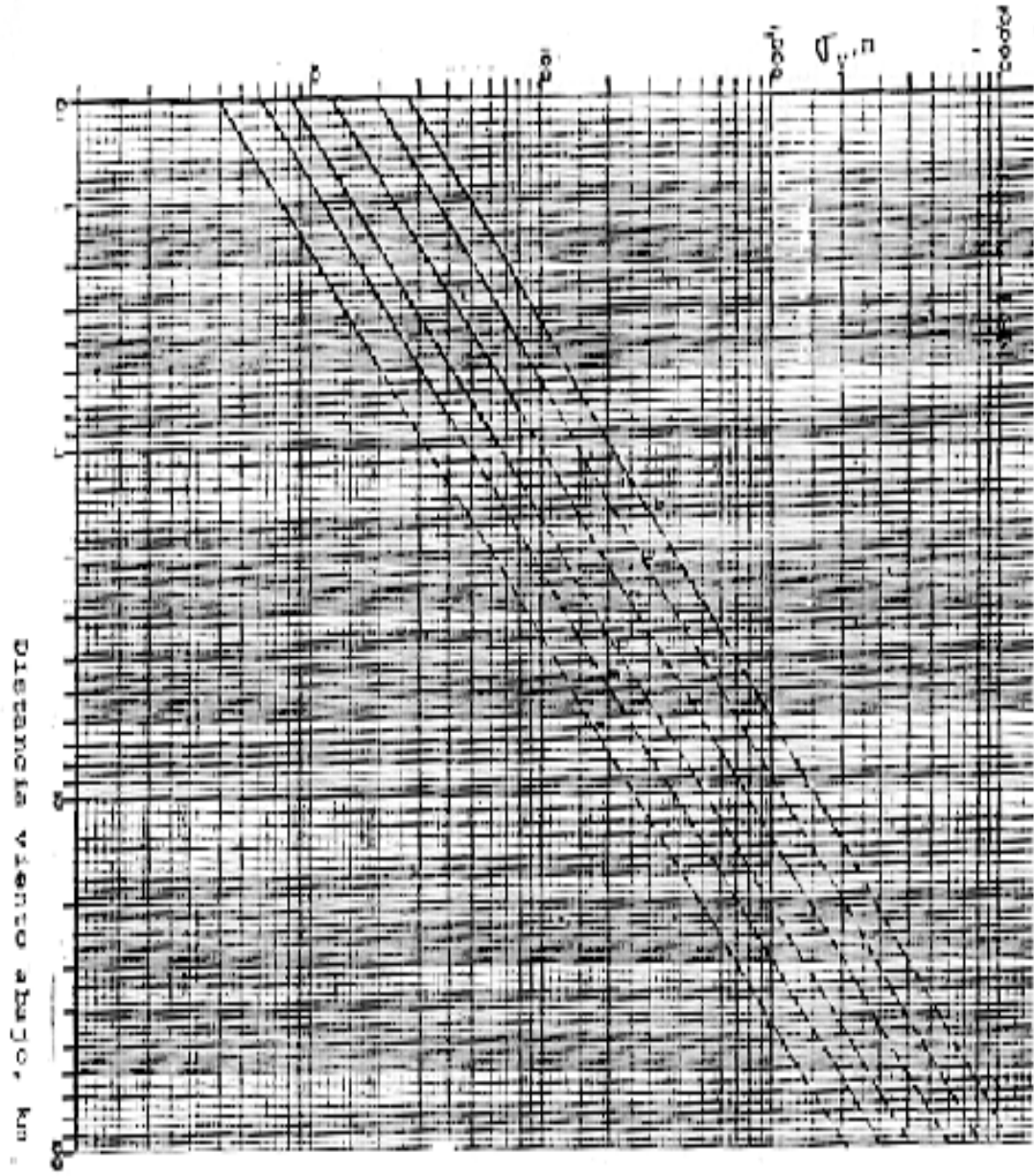
A	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
5,00	3,37E-06	3,55E-06	3,73E-06	3,91E-06	4,09E-06	4,27E-06	4,45E-06	4,63E-06	4,81E-06	4,99E-06
5,10	2,25E-06	2,43E-06	2,61E-06	2,79E-06	2,97E-06	3,15E-06	3,33E-06	3,51E-06	3,69E-06	3,87E-06
5,20	1,34E-06	1,52E-06	1,70E-06	1,88E-06	2,06E-06	2,24E-06	2,42E-06	2,60E-06	2,78E-06	2,96E-06
5,30	7,94E-07	8,83E-07	9,72E-07	1,06E-06	1,15E-06	1,24E-06	1,33E-06	1,42E-06	1,51E-06	1,60E-06
5,40	4,64E-07	5,13E-07	5,62E-07	6,11E-07	6,60E-07	7,09E-07	7,58E-07	8,07E-07	8,56E-07	9,05E-07
5,50	2,79E-07	3,07E-07	3,35E-07	3,63E-07	3,91E-07	4,19E-07	4,47E-07	4,75E-07	5,03E-07	5,31E-07
5,60	1,59E-07	1,77E-07	1,95E-07	2,13E-07	2,31E-07	2,49E-07	2,67E-07	2,85E-07	3,03E-07	3,21E-07
5,70	8,81E-08	9,70E-08	1,06E-07	1,15E-07	1,24E-07	1,33E-07	1,42E-07	1,51E-07	1,60E-07	1,69E-07
5,80	4,94E-08	5,43E-08	5,92E-08	6,41E-08	6,90E-08	7,39E-08	7,88E-08	8,37E-08	8,86E-08	9,35E-08
5,90	2,76E-08	3,04E-08	3,32E-08	3,60E-08	3,88E-08	4,16E-08	4,44E-08	4,72E-08	5,00E-08	5,28E-08
6,00	1,52E-08	1,69E-08	1,86E-08	2,03E-08	2,20E-08	2,37E-08	2,54E-08	2,71E-08	2,88E-08	3,05E-08
6,10	8,37E-09	9,26E-09	1,01E-08	1,10E-08	1,19E-08	1,28E-08	1,37E-08	1,46E-08	1,55E-08	1,64E-08
6,20	4,50E-09	4,99E-09	5,48E-09	5,97E-09	6,46E-09	6,95E-09	7,44E-09	7,93E-09	8,42E-09	8,91E-09
6,30	2,41E-09	2,68E-09	2,95E-09	3,22E-09	3,49E-09	3,76E-09	4,03E-09	4,30E-09	4,57E-09	4,84E-09
6,40	1,23E-09	1,39E-09	1,55E-09	1,71E-09	1,87E-09	2,03E-09	2,19E-09	2,35E-09	2,51E-09	2,67E-09
6,50	6,49E-10	7,17E-10	7,85E-10	8,53E-10	9,21E-10	9,89E-10	1,057E-09	1,125E-09	1,193E-09	1,261E-09
6,60	3,44E-10	3,82E-10	4,20E-10	4,58E-10	4,96E-10	5,34E-10	5,72E-10	6,10E-10	6,48E-10	6,86E-10
6,70	1,79E-10	2,00E-10	2,21E-10	2,42E-10	2,63E-10	2,84E-10	3,05E-10	3,26E-10	3,47E-10	3,68E-10
6,80	8,10E-11	9,09E-11	1,008E-10	1,107E-10	1,206E-10	1,305E-10	1,404E-10	1,503E-10	1,602E-10	1,701E-10
6,90	4,59E-11	5,18E-11	5,77E-11	6,36E-11	6,95E-11	7,54E-11	8,13E-11	8,72E-11	9,31E-11	9,90E-11
7,00	2,29E-11	2,59E-11	2,89E-11	3,19E-11	3,49E-11	3,79E-11	4,09E-11	4,39E-11	4,69E-11	4,99E-11
7,10	1,13E-11	1,27E-11	1,41E-11	1,55E-11	1,69E-11	1,83E-11	1,97E-11	2,11E-11	2,25E-11	2,39E-11
7,20	5,94E-12	6,64E-12	7,34E-12	8,04E-12	8,74E-12	9,44E-12	1,014E-11	1,084E-11	1,154E-11	1,224E-11
7,30	2,98E-12	3,38E-12	3,78E-12	4,18E-12	4,58E-12	4,98E-12	5,38E-12	5,78E-12	6,18E-12	6,58E-12
7,40	1,29E-12	1,49E-12	1,69E-12	1,89E-12	2,09E-12	2,29E-12	2,49E-12	2,69E-12	2,89E-12	3,09E-12
7,50	6,10E-13	7,09E-13	8,08E-13	9,07E-13	1,006E-12	1,105E-12	1,204E-12	1,303E-12	1,402E-12	1,501E-12
7,60	2,87E-13	3,36E-13	3,85E-13	4,34E-13	4,83E-13	5,32E-13	5,81E-13	6,30E-13	6,79E-13	7,28E-13
7,70	1,34E-13	1,59E-13	1,84E-13	2,09E-13	2,34E-13	2,59E-13	2,84E-13	3,09E-13	3,34E-13	3,59E-13
7,80	6,15E-14	7,24E-14	8,33E-14	9,42E-14	1,051E-13	1,160E-13	1,269E-13	1,378E-13	1,487E-13	1,596E-13
7,90	2,80E-14	3,39E-14	3,98E-14	4,57E-14	5,16E-14	5,75E-14	6,34E-14	6,93E-14	7,52E-14	8,11E-14
8,00	1,27E-14	1,57E-14	1,87E-14	2,17E-14	2,47E-14	2,77E-14	3,07E-14	3,37E-14	3,67E-14	3,97E-14
8,10	5,65E-15	6,85E-15	8,05E-15	9,25E-15	1,045E-14	1,165E-14	1,285E-14	1,405E-14	1,525E-14	1,645E-14
8,20	2,51E-15	3,11E-15	3,71E-15	4,31E-15	4,91E-15	5,51E-15	6,11E-15	6,71E-15	7,31E-15	7,91E-15
8,30	1,10E-15	1,37E-15	1,64E-15	1,91E-15	2,18E-15	2,45E-15	2,72E-15	2,99E-15	3,26E-15	3,53E-15
8,40	4,77E-16	5,97E-16	7,17E-16	8,37E-16	9,57E-16	1,077E-15	1,197E-15	1,317E-15	1,437E-15	1,557E-15
8,50	2,09E-16	2,69E-16	3,29E-16	3,89E-16	4,49E-16	5,09E-16	5,69E-16	6,29E-16	6,89E-16	7,49E-16
8,60	8,71E-17	1,09E-16	1,31E-16	1,53E-16	1,75E-16	1,97E-16	2,19E-16	2,41E-16	2,63E-16	2,85E-16
8,70	3,67E-17	4,67E-17	5,67E-17	6,67E-17	7,67E-17	8,67E-17	9,67E-17	1,067E-16	1,167E-16	1,267E-16
8,80	1,57E-17	2,07E-17	2,57E-17	3,07E-17	3,57E-17	4,07E-17	4,57E-17	5,07E-17	5,57E-17	6,07E-17
8,90	6,31E-18	8,31E-18	1,03E-17	1,23E-17	1,43E-17	1,63E-17	1,83E-17	2,03E-17	2,23E-17	2,43E-17
9,00	2,34E-18	3,14E-18	3,94E-18	4,74E-18	5,54E-18	6,34E-18	7,14E-18	7,94E-18	8,74E-18	9,54E-18
9,10	1,04E-18	1,39E-18	1,74E-18	2,09E-18	2,44E-18	2,79E-18	3,14E-18	3,49E-18	3,84E-18	4,19E-18
9,20	4,18E-19	5,63E-19	7,08E-19	8,53E-19	9,98E-19	1,143E-18	1,288E-18	1,433E-18	1,578E-18	1,723E-18
9,30	1,65E-19	2,21E-19	2,77E-19	3,33E-19	3,89E-19	4,45E-19	5,01E-19	5,57E-19	6,13E-19	6,69E-19
9,40	6,50E-20	8,72E-20	1,09E-19	1,31E-19	1,53E-19	1,75E-19	1,97E-19	2,19E-19	2,41E-19	2,63E-19
9,50	2,31E-20	3,19E-20	4,07E-20	4,95E-20	5,83E-20	6,71E-20	7,59E-20	8,47E-20	9,35E-20	1,023E-19
9,60	8,72E-21	1,19E-20	1,51E-20	1,83E-20	2,15E-20	2,47E-20	2,79E-20	3,11E-20	3,43E-20	3,75E-20
9,70	3,77E-21	5,19E-21	6,61E-21	8,03E-21	9,45E-21	1,087E-20	1,229E-20	1,371E-20	1,513E-20	1,655E-20
9,80	1,49E-21	2,07E-21	2,65E-21	3,23E-21	3,81E-21	4,39E-21	4,97E-21	5,55E-21	6,13E-21	6,71E-21
9,90	5,27E-22	7,29E-22	9,31E-22	1,13E-21	1,33E-21	1,53E-21	1,73E-21	1,93E-21	2,13E-21	2,33E-21

10001-DGN

GRAFICA No. 1

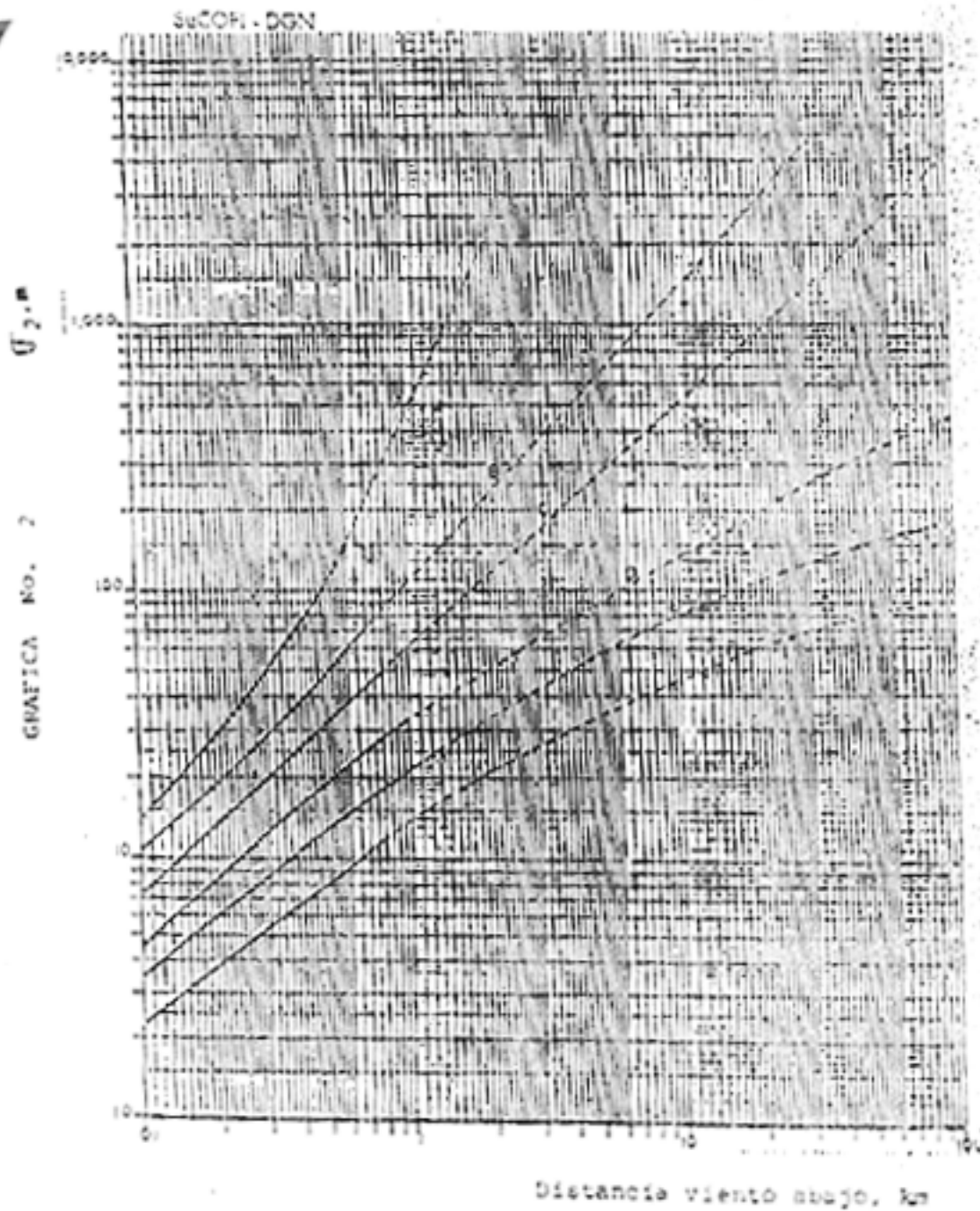


10/12



COEFICIENTE DE DISPERSION
HORIZONTAL

Distancia viento abajo, km



COEFICIENTE DE DISPERSION VERTICAL

d) G.A Briggs

Plume Rise
U.S Atomic Energy Comission

e) Henry C. Perkins
Air Pllution
Mc Grow Hill
U.S.A
1974

F) Howard E. Kesketh
Air Pollution Control
Ann Arbor Science

g)R.S Steinbock
Stacks For Pollution
Control-Imperial Oild LTD

México, D.F., a 17 MAR 1988

LA DIRECTORA GENERAL DE NORMAS

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Consuelo Saenz Pueyo', written in a cursive style.

LIC. CONSUELO SAENZ PUEYO

Bibliografía

1. **Bravo A. H., Sosa E. R., Torres R.1990.** “Pronostico del Impacto en la Calidad del Aire por Procesos Industriales (Complejo Industrial Pajaritos, Ver.). Ingeniería Ambiental, Año 3-No7.1990.
2. **Bustos S. C.** Tesis: Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación de Impacto Ambiental: Análisis del Proceso, Santiago de Chile 2004.
3. **Comisión Federal de Electricidad, CFE. Diciembre 2005.**
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/>.
4. **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS),** “SI: 409 Basic air pollution meteorology course” del Instituto de Capacitación en la Contaminación del Aire (APTI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA).
http://www.cepis.opsoms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc6/lecc6_3.html.
5. **Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía, (CONAE).**
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Que_es_conae 29 MARZO 2006.
6. **Giner de los Ríos F. INE MARZO 2005,** Instrumentos económicos y la regulación ambiental en México.
7. **Instituto Nacional de Ecología, INE**
http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/lineas/mod_matematicos.html.
8. **Jesse L. Thé, Ph.D., P. Eng. Cristiane L. Thé, M.A. Sc. Michael A. Johnson, B.Sc. 1992-2000.** ISC_AERMOD View User’s guide volumen 1, Lakes Environmental Software, 450 Phillip Street, Suite 2, Waterloo, Ontario, Canada. Pág. 1-1 a 1-5.
9. **NOM-085-ECOL-1994.** “Contaminación atmosférica – Fuentes fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión”.
10. **NOM-022-SSA1-1994.** “Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población”.
11. **NOM-023-SSA1-1993.** “Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población”.

12. **NOM-024-SSA1-1994.** "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas totales (PST). Valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
13. **Secretaría de Energía. SENER** 2001 Prospectiva del sector eléctrico 2001-2010 1ª edición México.
14. **Secretaría del Medio Ambiente. SMA,**
<http://www.sma.df.gob.mx/modelacion/> 24/JUN/05.
15. **SEMARNAT, 2001.** Guía para la correcta selección y Empleo de Métodos de Estimación de Emisiones Contaminantes, Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales. Boulevard Adolfo López Ruiz Cortinez 4209, Col. Jardines en la Montaña 14210, Tlalpan D.F.
16. **SEMARNAT**
http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/compendio/04gestion/impacto.shtml. 17/ABR/2006.
17. **Sosa. E. R.** Tesis: Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire Inducido por el Complejo Petroquímico Pajaritos, Veracruz. UNAM, Facultad de Química, 1987.
18. **Turner D. B.** Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates An Introduction to Dispersion Modelling, Lewis Publisher second edition 1994. pag 2-3.
19. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA** Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina 27711 Septiembre de 1995.
20. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA. Air Chief 12, junio 2005.** EPA454/C-05-001, Emissions Monitoring & Analysis Division, Office of Air Quality Planning & Standards US EPA.
21. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA,** Appendix W to part 51- Guideline on Air Quality Models, 40 CFR Ch. 1(7-1-03 edition) pag. 455-456. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA,** Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51 – Summaries of Preferred Air Quality Models, pág. 493-495.
22. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA,** Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51 – Summaries of Preferred Air Quality Models, pág. 496-499.
23. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA,** Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51 – Summaries of Preferred Air Quality Models, Pág. 505-506.
24. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA,** Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51 – Summaries of Preferred Air Quality Models, Pág. 499-501.

25. **U.S. Environmental Protection Agency. EPA**, Appendix A to Appendix W of 40CFR Part 51 – Summaries of Preferred Air Quality Models, Pág. 503-504.
26. **U.S. Environmental Protection Agency, EPA, 2005**. 40 CFR Part 51, Revision to the Guideline on Air Quality Models: adoption of preferred general purpose (flat and complex terrain) dispersion model and other revisions; final rule.
27. **Zuk M., Garibay V., Iniestra R., López M. T., Rojas L., Laguna I. INE-SEMARNAT 2003** “Introducción a la Evaluación de los Impactos de las Termoeléctricas”.