INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se ha realizado la aplicación de un modelo matemático para simular la dispersión de Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno emitidos por una Planta de Cogeneración de Ciclo Combinado localizada en el polígono industrial Tarragona, ubicado en la ciudad del mismo nombre en la provincia de Cataluña - España.

Para ello se ha utilizado como herramienta el programa ISC (Industrial Source Complex) recomendado por la Environment Protection Agency, que para su correcto funcionamiento es necesario ingresar un fichero que contiene las diferentes opciones de dispersión que se van a utilizar, los datos meteorológicos del lugar, las ubicaciones específicas de receptores, las propiedades de los gases que se están emitiendo, la topografía del terreno y finalmente seleccionar las opciones de salida que uno desea obtener.

Lo mas difícil de tratar son los datos meteorológicos ya que se requiere un registro de por lo menos un año de cada hora para la velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, nubosidad y con la ayuda de estos estimar la estabilidad atmosférica y la capa de mezcla para las 8760 horas que tiene el año.

Para los datos de la topografía del terreno y a su vez la ubicación de los receptores fue extraída de la base de datos que facilita el Instituto Cartográfico de Cataluña

La opción de salida escogida para este análisis serán las máximas concentraciones de los dos agentes que se generan en cada punto de la malla de receptores y a nivel del suelo.

Se realizará un análisis del funcionamiento del programa aplicado exclusivamente a este caso.

A las máximas concentraciones resultantes, que serán representadas en curvas de igual concentración, serán comparadas con los valores límites de inmisión fijados en el Real Decreto R.D. 1073/2003, transpuesto de la Directiva 1999/30/CE tanto para el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno.

Capitulo 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo tiene por objeto introducir algunas definiciones que nos permiten tener una idea global de lo que es la contaminación atmosférica, el tipo de contaminantes que están siendo emitidos y las fuentes emisoras que los producen, en la segunda parte se definen las variables meteorológicas involucradas que pueden favorecer o no a la dispersión de los contaminantes, finalmente en la tercera parte se define lo que es un modelo de dispersión y los diferentes tipos utilizados en la actualidad para estimar las concentraciones de los agentes algunos kilómetros alrededor de la fuente.

1.1. Contaminación atmosférica

Antes de introducir cualquier definición a cerca de la contaminación atmosférica primero es importante conocer que la atmósfera es una capa gaseosa que rodea el globo terráqueo, transparente e impalpable, y no resulta fácil señalar exactamente su espesor, ya

que no posee una superficie superior definida que la limite, sino que se va haciendo menos densa a medida que aumenta la altura, hasta ser imperceptible. Está compuesta de gases y de partículas sólidas y líquidas en suspensión atraídas por la gravedad terrestre. En ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta; regula la entrada y salida de energía de la tierra y es el principal medio de transferencia del calor.

1.1.1. Definición

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.....

1.1.2. Clasificación de contaminantes

De la definición de contaminación atmosférica dada en el apartado anterior se desprende que el que una sustancia sea considerada contaminante o no dependerá de los efectos que produzca sobre sus receptores. Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias. A

los contaminantes los podemos clasificar en contaminantes primarios y secundarios.

1.1.2.1. Contaminantes Primarios

Entendemos por contaminantes primarios aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química son muy variadas, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica tal como su estado físico (caso de partículas y metales), o elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos).

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

- Óxidos de azufre, SOx.
- Monóxido de carbono, CO.
- Óxidos de nitrógeno, NOx.

- Compuesto orgánicos volátiles.
- Aerosoles y Partículas.

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan más raramente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada. Entre otros, se encuentra como más significativos los siguientes:

- Otros derivados del azufre.
- Halógenos y sus derivados.
- Arsénico y sus derivados.
- Componentes orgánicos.
- Partículas de metales pesados y ligeros, como el plomo, mercurio, cobre, zinc.
- Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
- Sustancias radiactivas.

Óxidos de azufre (SOx)

El óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO_2), y en menor proporción, que no rebasa el 1 ó el 2 por ciento del anterior, el anhídrido sulfúrico (SO_3).

El SO_2 es un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es 2.2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se desplaza rápidamente en la atmósfera, siendo un gas bastante estable. El SO_3 es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente; en condiciones normales, no se encuentra en la atmósfera, ya que reacciona rápidamente con el agua atmosférica, formando ácido sulfúrico.

La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre produce emisiones de SO_2 y SO_3; la cantidad de SO_3 producida depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura, oscilando entre 1 y 10 por ciento de los SOx producidos.

Un mecanismo de formación de SOx podría ser:

$$S + O_2 \text{---> } SO_2$$

$$2\ SO_2 + O_2 \text{---> } 2\ SO_3$$

La segunda reacción se produce en pequeña escala y tiene lugar muy lentamente, a la temperatura de la atmósfera, siendo favorecida por la acción de catalizadores. El efecto neto es que la emisión de los SO_x se realiza fundamentalmente en forma de SO_2.

El monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. Es un gas incoloro, inodoro e insípido y su punto de ebullición es de -192° C. Presenta una densidad del 96.5 por ciento de la del aire, siendo un gas muy ligero que no es apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y arde con llama azul, aunque no mantiene la combustión.

El CO se produce generalmente como resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- Combustión incompleta del carbono.

- Reacción a elevada temperatura entre el CO_2 y materiales que tienen carbono.
- Disociación del CO_2 a altas temperaturas.
- Oxidación atmosférica del metano (CH_4 procedente de la fermentación anaerobia (sin aire) de la materia orgánica.
- Proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas.

Los principales problemas de contaminación atmosférica por CO son debido a la combustión incompleta de carburantes en los automóviles.

Los óxidos de nitrógeno (NOx)

Los contaminantes que poseen en su molécula algún átomo de nitrógeno pueden clasificarse en 3 grupos diferentes: formas orgánicas, formas oxidadas y forma reducidas.

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, pero normalmente sólo tienen interés como contaminantes dos de ellos, el **óxido nítrico** (NO) y el **dióxido de nitrógeno** (NO_2). El resto se encuentra en equilibrio

con estos dos, pero en concentraciones tan extraordinariamente bajas que carecen de importancia.

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y no inflamable, pero inodoro y tóxico. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas pardo-rojizo, no es inflamable pero sí tóxico y se caracteriza por un olor muy asfixiante. Se utiliza normalmente la notación NO_x para representar colectivamente al NO y al NO_2 implicados en la contaminación del aire.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas. El oxígeno y el nitrógeno del aire reaccionan para formar NO, oxidándose este posteriormente a NO_2.

Las partículas pueden clasificarse, atendiendo a su tamaño y composición, en:

$$N_2 + O_2 \text{ ---> } 2\ NO$$

$$2\ NO + O_2 \text{ ---> } 2\ NO_2$$

La mayor parte de los NO_x emitidos a la atmósfera lo son en la forma NO.

Compuestos Orgánicos Volátiles

Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos. Los compuestos orgánicos volátiles, a veces llamados VOC (por sus siglas en inglés), se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.

Los VOC son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas, pegantes y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.

Cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno, reaccionan para formar ozono, en el nivel del suelo.

Algunos ejemplos de compuestos orgánicos volátiles son gasolina, benceno, formaldehído, disolventes como tolueno y xileno y percloroetileno (o

tetracloroetileno), el principal disolvente usado en la industria de lavado en seco.

Muchos compuestos orgánicos volátiles se usan comúnmente en disolventes de pintura y de laca, repelentes de polillas, aromatizantes del aire, preservantes de madera, sustancias en aerosol, disolventes de grasa, productos de uso automotor y líquidos para la industria de lavado en seco.

Aerosoles y Partículas

En la atmósfera permanecen suspendidas sustancias muy distintas como partículas de polvo, polen, hollín (carbón), metales (plomo, cadmio), asbesto, sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, etc. Se suele usar la palabra aerosol para referirse a los materiales muy pequeños, sólidos o líquidos. Partículas se suele llamar a los sólidos que forman parte del aerosol, mientras que se suele llamar polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más). El polvo suele ser un problema de interés local, mientras que los aerosoles pueden ser transportados muy largas distancias.

Se representan con el símbolo PMx donde x es el diámetro. Grupos principales: PM2.5 y PM10 (grupos de partículas con diámetros igual o inferior a 2.5 y 10 µm respectivamente)

Susceptibles de ser inhaladas. Las menores de 0.5 µm pueden llegar a los alvéolos pulmonares. Dificultan la visibilidad (bruma contaminante)

Según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera desde uno o dos días en el caso de partículas de 10 micrómetros y hasta varios días o semanas, en el caso de las más pequeñas. Algunas de estas partículas son especialmente tóxicas para los humanos y, en la práctica, los principales riesgos para la salud humana por la contaminación del aire provienen de este tipo de polución, especialmente abundante en las ciudades.

Los aerosoles emitidos a la atmósfera directamente desde la superficie del planeta proceden principalmente, de los volcanes, la superficie oceánica, los incendios forestales, polvo del suelo,

origen biológico (polen, hongos y bacterias) y actividades humanas.

La mayor parte de los aerosoles emitidos por la actividad humana se forman en el hemisferio Norte, ya que la gran parte de las industrias se encuentran ahí, y como no se expanden por toda la atmósfera tan rápido como los gases, sobre todo porque su tiempo de permanencia medio en la atmósfera no suele ser mayor de tres días, tienden a permanecer cerca de sus lugares de producción.

1.1.2.2. Contaminantes secundarios

Los contaminantes atmosféricos secundarios no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma.

1.1.3. Origen de los contaminantes atmosféricos

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las

naturales y las antropogénicas. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas.

Las emisiones primarias originadas por los focos naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos. Por otra parte, los principales focos antropogénicos de emisiones primarias los podemos clasificar según se muestra en la tabla 1:

TABLA 1

CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ANTROPOGÉNICOS

Focos fijos	Industriales	Procesos industriales
		Instalaciones fijas de combustión
	Domésticos	Instalaciones de calefacción
Focos móviles	Vehículos automóviles	
	Aeronaves	
	Buques	
Focos compuestos	Aglomeraciones industriales	
	Áreas urbanas	

En La tabla 2. se muestra la proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

TABLA 2

COMPARACIÓN ENTRE CONTAMINANTES NATURALES Y ANTROPOGÉNICOS

Focos de emisión		
Contaminante	**Antropogénicos %**	**Naturales %**
Aerosoles	11.3	88.7
Sox	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

1.1.3.1. Fuentes Industriales

Entre las distintas fuentes de contaminación atmosférica de origen industrial, la combustión de combustibles fósiles para la generación de calor y electricidad ocupa un lugar preponderante, tanto por la cantidad como por los tipos de contaminantes

emitidos. Especial atención merecen las centrales térmicas de producción de electricidad.

Los combustibles utilizados por este tipo de instalaciones son el carbón y el fuel-oil tanto en España como en algunos países europeos. La producción de contaminantes depende en gran medida de la calidad del combustible, en especial de las proporciones de azufre y cenizas contenidas en el mismo y del tipo de proceso de combustión empleado.

Durante el proceso de combustión se libera a la atmósfera el azufre contenido en el combustible en forma de anhídrido sulfuroso. Junto con otros contaminantes como óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados y una gran variedad de sustancias. Cuando se utiliza como combustible el carbón, se emiten abundantes partículas finas que pueden ser trasladadas a grandes distancias.

La contaminación de origen industrial se caracteriza por la gran cantidad de contaminantes producidos en las distintas fases de los procesos y por la variedad

de los mismos. Por otra parte, en los focos de emisión industriales se suelen combinar las emisiones puntuales, fácilmente controlables, con emisiones difusas de difícil control.

Los tipos de contaminantes producidos por los focos industriales dependen fundamentalmente del tipo de proceso de producción empleado, de la tecnología utilizada y de las materias primas usadas. Las actividades industriales que producen contaminantes atmosféricos son muy variadas, pero los principales focos están en los procesos productivos utilizados en las industrias básicas.

Entre los sectores que dan lugar a la mayor emisión de contaminantes atmosféricos, sin tomar en cuenta las centrales térmicas podemos destacar:

- La siderurgia integral. Produce todo tipo de contaminantes y en cantidades importantes, siendo los principales: partículas, SOx, CO, NOx, fluoruros y humos rojos (óxidos de hierro).

- Refinerías de petróleo. Producen principalmente: SOx, HC, CO, NOx, amoniaco, humos y partículas.
- Industria química. Produce, dependiendo del tipo de proceso empleado: SO2, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico y da lugar a la producción de olores desagradables.
- Industrias básicas del aluminio y derivados del fluor. Producen emisiones de contaminantes derivados del flúor.

Una representación gráfica y general de la contaminación atmosférica la podemos observar en la figura 1.1.

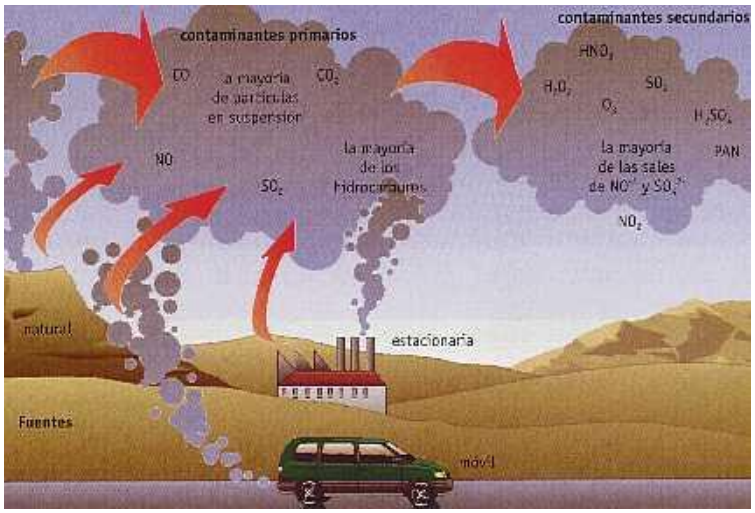


Figura 1.1 Representación gráfica general de la contaminación atmosférica.

1.1.4. Calidad del aire

La calidad del aire se evalúa por medio de los denominados **niveles de inmisión**, que vienen definidos como la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un período de tiempo determinado.

1.1.5. Unidades

Es importante en el problema de la contaminación atmosférica la utilización de unidades de concentración tanto para la emisión como para la inmisión de contaminantes. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los contaminantes atmosféricos presentan efectos negativos sobre el medio en concentraciones muy pequeñas, y que el grado de dilución que experimenta un contaminante en la atmósfera desde su valor de emisión hasta el de inmisión puede ser del orden de 1000. Por eso, se utilizan múltiplos de concentración, generalmente de dos tipos:

- Fracción volumétrica, como ppm (partes por millón) o ppb (partes por mil millones), utilizada generalmente en EE.UU., aunque también se emplea en Europa,

especialmente para la concentración de partículas sólidas en el aire.

- Densidad o concentración másica, como mg/m^3N (emisión) o $\mu g/m^3N$ (inmisión), donde N denota la normalización de la concentración a condiciones normales de presión y temperatura (25 ºC y 1 atm).

1.2. Principios meteorológicos

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

La cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma, y los que se eliminan a través de procesos de auto limpieza por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Estos procesos de auto limpieza atmosférica pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación, suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento.

En las áreas en donde existe una fuerte concentración de fuentes emisoras de contaminantes pueden producir una fuerte contaminación local como consecuencia de la persistencia de situaciones meteorológicas adversas para la difusión de los contaminantes.

Estos episodios se manifiestan con grandes aumentos de la concentración de contaminantes en un área más o menos extensa alrededor de focos contaminantes y pueden verse forzados por las características topográficas de la zona, o por la localización de barreras artificiales (edificios) que pueden favorecer la acumulación de contaminantes.

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

Los principales factores que condicionan la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se mencionan en los siguientes apartados.

1.2.1. Radiación solar

Todos los cuerpos por encima de 0 ºK emiten radiación con

una longitud de onda máxima determinada por la ley de Planck. El sol emite radiación como un cuerpo negro a una temperatura de 6000 ºK. Debido a la dispersión, absorción y reflexión solamente un porcentaje de esta energía alcanza la Tierra, esta cantidad depende de la estación, la hora del día, latitud, topografía y las condiciones climáticas. Una vez que la radiación alcanza la atmósfera, la energía es absorbida por la tierra, agua y aire o reflejada, gracias a esta absorción se tienen todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles.

En la tabla 3 se resumen las diferentes escalas de movimientos atmosféricos en términos de distancia, tiempo y altitud, producidos a partir de la absorción de la radiación solar y un complejo proceso de liberación de energía que sucede en la atmósfera.

1.2.2. Circulación del viento

Uno de los fenómenos más importantes que influyen en la dispersión de los contaminantes es el viento con lo que se realiza una breve explicación de su origen en este apartado.

Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo. Estas áreas calientes están indicadas en colores cálidos, rojo, naranja y amarillo, en la figura 1.2 que es una imagen de rayos infrarrojos de la superficie del mar.

TABLA 3

ESCALAS DE MOVIMIENTO ATMOSFÉRICO

Meteorológico		**Escala de medición**		**Fenómeno Asociado**
Escala	**Tiempo**	**Horizontal**	**Vertical**	
Microescala (Fuerzas de Coriolis Despreciables) .	Segundos A horas	1 mm a 1 km Cercanías de arbustos	Superficie hasta 100 m	Tornado de pequeñas turbulencias Surface lapse Rate Efectos de fricción Capa Límite Efectos topográficos
Mesoescala (entre Estaciones Climáticas)	Horas a Días	1 km a 100 km Pueblos y Ciudades Control de la Contaminación	Superficie hasta 1 km	Mayor turbulencia Brisas de tierra y mar Isla urbana de calor Brisas de montaña y valle
Sinóptico (Escala Ciclónica)	Efecto Promedio Sobre Largos periodos (días a años)	Estados y Continentes	Superficie hasta 10 a 15 km	Sistemas de tormenta Formación de nubes Frente climático
Macroescala	Días a años	De 100 km a hemisferios	Superficie a 20 km	Efectos Globales

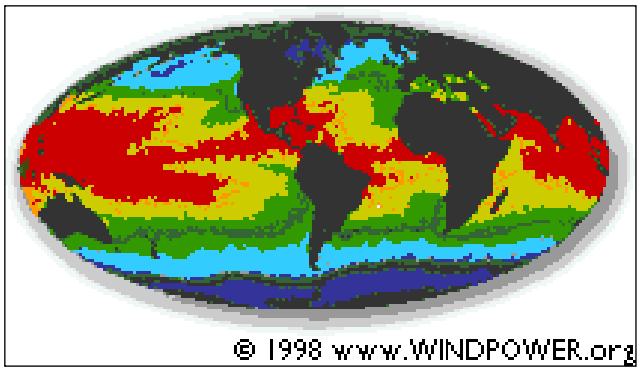


Figura 1.2 Imagen de rayos infrarojos

El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador.

Debido a la rotación del globo, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, si se mira desde nuestra posición en el suelo, y desviado hacia la izquierda en el hemisferio sur. Esta fuerza que produce la curvatura es conocida como fuerza de Coriolis.

Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se siga desplazando, en esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento sube desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del

nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur, en cambio en los polos, habrá altas presiones debido al aire frío, formando lo que se denomina vientos globales.

En los primeros 1000 metros sobre la superficie terrestre la velocidad y dirección del viento son determinadas por tres fuerzas: gradiente horizontal de presión, fuerza de Coriolis y la fuerza de fricción debido al contacto con la superficie terrestre.

Aunque los vientos globales son importantes en la determinación de los vientos dominantes de un área determinada, las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones de viento más comunes, haciendo que esta sea influenciada por la suma de los efectos global y local.

Cuando los vientos a gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los regímenes de viento.

Durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar debido a la radiación solar. El aire sube, circula hacia el mar, y crea una depresión a nivel del suelo que atrae el aire frío del mar. Esto es lo que se llama brisa marina. Por la noche los vientos soplan en sentido contrario, tomando el

nombre de brisas terrestres. Normalmente estas brisas tienen velocidades inferiores, debido a que la diferencia de temperaturas entre la tierra y el mar es más pequeña.

Cuando las laderas y el aire próximo a ellas están calientes la densidad del aire disminuye, y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Durante la noche la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que fluye ladera abajo. Si el fondo del valle está inclinado, el aire puede ascender y descender por el valle; este efecto es conocido como viento de valle.

1.2.3. Gradiente vertical de Temperatura

Cuando una masa de aire sube va alcanzando capas de presión cada vez mas bajas, que al entrar en equilibrio de presión con ellas, el aire ascendente se dilata y, por tanto, realiza un trabajo que, en general, provoca una disminución de temperatura. Por lo tanto, el gradiente de temperatura en la atmósfera es la tasa de cambio de la misma con respecto a la altura. A este gradiente se lo representa con la siguiente expresión:

$$\frac{dT}{dz} \qquad (1.1)$$

1.2.3.1. Gradiente vertical adiabático seco

Si consideramos a la atmósfera como un sistema de aire seco en el que no existe intercambio de masa ni de calor con el entorno, el aire se expandirá y enfriará adiabáticamente, por lo que cualquier cambio de temperatura producido en la porción de aire se debe a aumentos o disminuciones de la actividad molecular interna y se deben sólo al cambio de la presión atmosférica provocado por el movimiento vertical de la porción de aire.

Con estas suposiciones podemos encontrar el gradiente de temperatura adiabático seco γ partiendo de la siguiente ecuación:

$$\gamma = -\left(\frac{dT}{dz}\right)_{adiab} \qquad (1.2)$$

Aplicando la primera ley de termodinámica para un proceso adiabático tenemos:

$$c_p dT = Vdp \qquad (1.3)$$

Donde:

c_p: Calor específico del aire a presión constante

V: Volumen de aire del sistema

dT y dp. Diferenciales de temperatura y presión respectivamente.

La presión del aire varía directamente proporcional con la disminución de la altura.

$$dp = -g\rho dz \qquad (1.4)$$

Donde

g: Aceleración debido a la gravedad

ρ: Densidad del aire

Agrupando las ecuaciones 1.3 y 1.4 obtenemos el gradiente vertical adiabático seco de temperatura:

$$\gamma = -\left(\frac{dT}{dz}\right) = \frac{g}{c_p} \qquad (1.5)$$

Dando como resultado γ = 9.8 ºC/1000 m

Por consiguiente γ es independiente del estado del aire, por lo tanto, siempre que una porción de aire seco ascienda en la atmósfera, se enfriará en el gradiente de 9,8 °C/1.000 m, independientemente de cuál haya sido su temperatura inicial o la del aire

circundante, podemos observar un gráfico ilustrativo en la figura 1.3. Este concepto es muy importante para definir estabilidad atmosférica que se discute mas adelante.

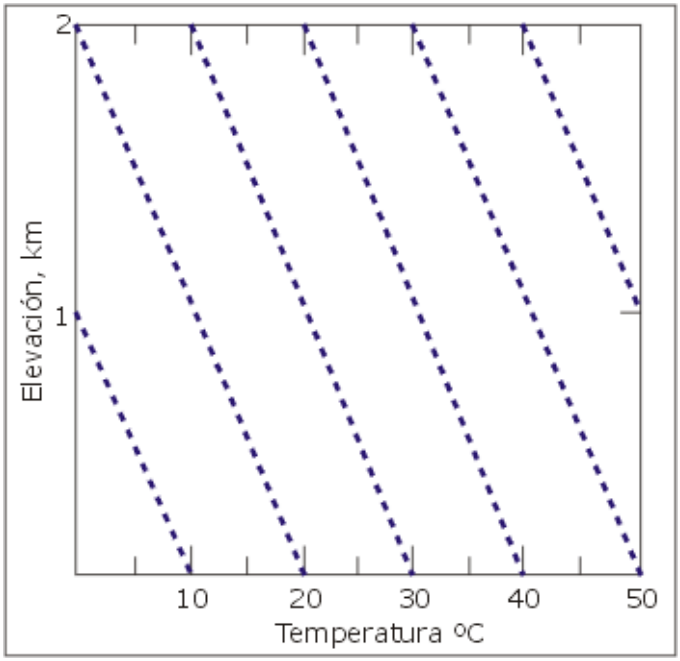


Figura 1.3 Gradiente vertical adiabático seco

1.2.3.2. Gradiente vertical ambiental

El verdadero perfil de temperatura del aire ambiental lo muestra el gradiente vertical del ambiente. Este, algunas veces denominado gradiente vertical atmosférico, es el resultado de complejas interacciones producidas por factores meteorológicos, que generalmente se considera que consiste en una disminución en la temperatura con la altura. Es

particularmente importante para la circulación vertical, ya que la temperatura del aire circundante determina el grado en el que una porción de aire se eleva o desciende. Como se indica en la figura 1.4, el perfil de la temperatura puede variar considerablemente con la altitud; algunas veces puede alcanzar gradientes mayores que el adiabático seco y otras ocasiones menores. El fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud se conoce como inversión de temperatura, la cual es importante principalmente en la contaminación del aire porque limita la circulación vertical del viento.

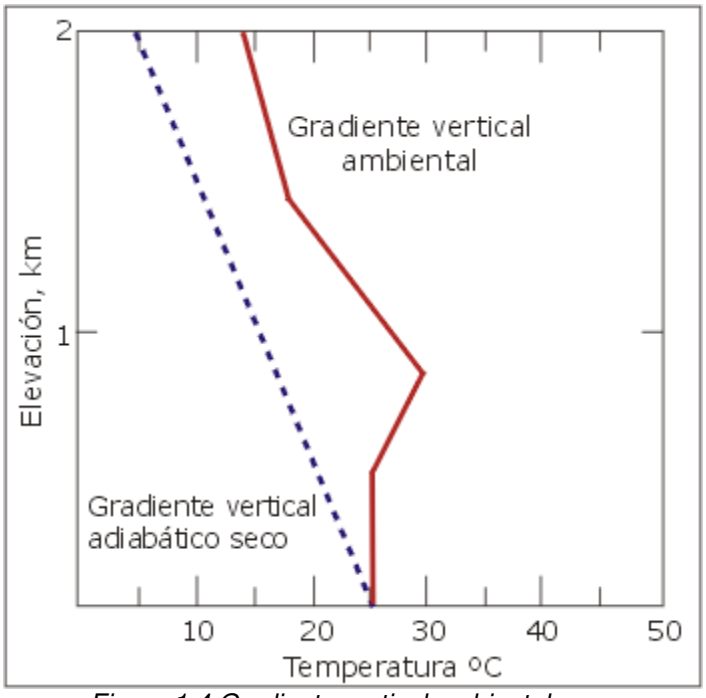


Figura 1.4 Gradiente vertical ambiental

1.2.3.3. Potencial de temperatura

El potencial de temperatura se define como la temperatura resultante cuando aire seco es llevado adiabáticamente desde su estado inicial a una presión estándar de 1000 mb. Por lo tanto el gradiente vertical potencial de temperatura es la tasa de cambio de la temperatura potencial con la altura y se lo puede calcular con la ayuda de la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta\Theta}{\Delta z} = \left(\frac{dT}{dz}\right)_{actual} + \gamma \qquad (1.6)$$

1.2.4. Altura de la capa de mezcla

La capa de mezcla se define como la capa inferior de la atmósfera en la que el penacho puede desarrollarse y subir libremente en dirección vertical. Para el cálculo de la capa de mezcla existen varias alternativas que pueden ser empleadas en dependencia de los datos de que se disponen. La más aceptada es el método de Holzworth [1972], el cual determina la altura de la capa de mezcla dos veces al día (en la mañana

y en la tarde) a partir de los resultados de los sondeos de aire superior.

La altura de mezcla en la mañana se halla mediante la intersección de la curva del gradiente de temperatura adiabático seco con la curva del gradiente de temperatura ambiental dada por el sondeo a las 12 GMT como se muestra en la figura 1.5. La adiabática que asciende desde la superficie parte de la temperatura mínima seleccionada entre las 04 y 07 hora local más un incremento entre 3 y 5 ºC, para tener en cuenta los efectos de la diferencia de temperatura en las zonas urbanas durante la noche y en horas tempranas de la mañana, ya que las estaciones meteorológicas están generalmente situadas en zonas rurales o suburbanas

En la tarde la capa de mezcla es calculada de forma similar pero usando la temperatura máxima entre las 11 y 16 hora local sin realizar ningún ajuste en la temperatura debido a que la diferencia entre las temperaturas máximas de superficie urbana y rural son insignificantes.

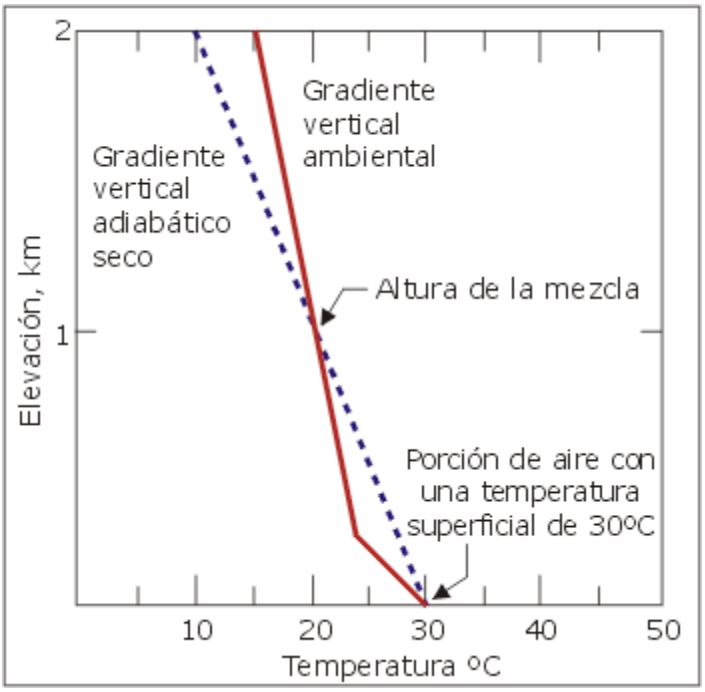


Figura 1.5 Altura de mezcla (adaptado de

1.2.5. Estabilidad Atmosférica

La estabilidad atmosférica viene definida en función del gradiente vertical de temperatura ambiental. Si se compara este gradiente de temperatura con el adiabático seco podemos clasificar la estabilidad en tres tipos: inestable, neutra o estable.

Cuando el gradiente de temperatura ambiental es mayor que el adiabático seco se producen movimientos verticales de la porción de aire que se encuentra en esta zona haciendo que la atmósfera sea inestable.

En cambio cuando les gradiente ambiental es menor que el adiabático seco los movimientos verticales se inhiben produciéndose una atmósfera estable, finalmente cuando estos dos gradientes son iguales nos encontramos en una atmósfera neutra en la que ni se propicia ni se inhibe el movimiento vertical.

Debido a la importancia de la estabilidad atmosférica para estimar los parámetros de dispersión lateral y vertical en la simulación de la dispersión de contaminantes existen diferentes categorías de estabilidad atmosférica y que se las calcula con algunos métodos.

Dos de los esquemas de clasificación de las categorías de estabilidad atmosférica utilizados en la simulación de la dispersión empleados en modelos gaussianos son los propuestos por Pasquill-Gifford que se muestran en la tabla 4. y el método de Turner en la tabla 5.

Los parámetros de dispersión asociados con el esquema de Pasquill-Gifford que se obtienen a partir de curvas como función de la distancia x en la dirección del viento para cada clase de estabilidad (curvas de Pasquill-Gifford (P-G)) se usan por defecto en la mayoría de los modelos de dispersión

Gaussianos; sin embargo, la clasificación original propuesta por Pasquill para las categorías de estabilidad resulta impracticable para la aplicación rutinaria así que Turner desarrolló un método más práctico, que se detalla en las tablas 5 y 6.

TABLA 4

CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA DEFINIDAS POR PASQUILL (1962).

Categoría	Estabilidad
A	Extremadamente inestable
B	Moderadamente inestable
C	Levemente inestable
D	Neutra
E	Levemente estable
F	Moderadamente estable

Existen otros métodos alternativos, como el de radiación solar, que consideran la desviación estándar de la dirección horizontal del viento o del ángulo de elevación del viento, y el basado en los gradientes verticales de temperatura, que se formularon para ser usados cuando no existe nubosidad, y eliminan las subjetividades que introducen los observadores

en la determinación de la cantidad de cielo cubierto y la altura de la base de la capa de nubes.

TABLA 5

MÉTODO DE TURNER

Categorías de Estabilidad según Turner							
Velocidad	**Índices de Radiación**						
(m/s)	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**	**-1**	**-2**
0 – 0.77	A	A	B	C	D	F	F
0.77 – 1.80	A	B	B	C	D	F	F
1.80 – 2.83	A	B	C	D	D	E	F
2.83 – 3.34	B	B	C	D	D	E	F
3.34 – 3.86	B	B	C	D	D	D	E
3.86 – 4.89	B	C	C	D	D	D	E
4.89 – 5.40	C	C	D	D	D	D	E
5.40 – 5.92	C	C	D	D	D	D	D
≥ 5.92	C	D	D	D	D	D	D

TABLA 6

CLASES DE INSOLACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD SOLAR

Altitud solar (grados)	**Insolación**	**Numero de clase de insolación**
60<Φ	Fuerte	4
35<Φ<=60	Moderada	3
15<Φ<=35	Leve	2
Φ<=15	Débil	1

- Si la nubosidad es 10/10 y la altura de las nubes es menor que 2133.6m, usar el índice de radiación igual a cero.

- Durante la noche (una hora antes que se oculte el sol y una hora después que salga el sol)

  a) Si la nubosidad es menor o igual que 4/10, se usa un índice de radiación de -2

  b) Si la nubosidad es mayor que 4/10, se usa un índice de radiación de -1

- Durante el día, la categoría de estabilidad es la obtenida de la tabla anterior si la nubosidad es menor o igual a 5/10. En caso contrario, se modifica el grado de insolación según los siguientes criterios

  a) Si la altura de la base de las nubes < 2 133,6 m, disminuir dos grados de insolación

  b) Si la altura de la base de las nubes = 2 133,6 m y < 4 876,8 m, disminuir un grado de insolación.

  c) Si la nubosidad = 10/10 y la altura de la base de las nubes está entre 2133,6 m y 4 876,8 m, disminuir dos

grados de insolación, si la altura de la base de las nubes =4 876,8 m entonces disminuir solo uno.

d) Si por las modificaciones anteriores, el grado de insolación debiera ser menor que débil, mantenerlo como débil.

El método de radiación solar se fundamenta en la medición de la radiación solar directa diurna y la radiación neta nocturna; es un método objetivo pues se basa completamente en el resultado de mediciones y una de sus principales ventajas es que los datos de insolación obtenidos en una estación meteorológica cercana pueden considerarse aceptables.

Altitud Solar

La altitud solar es el ángulo vertical comprendido entre la horizontal y la línea que conecta al sol. En la puesta y la salida del sol la altitud es cero y es 90º cuando el sol está en el cenit. La altitud está relacionada con la latitud del sitio, el ángulo de declinación y el ángulo horario con la ecuación 1.7:

$$\mathrm{Sen}\Phi = \mathrm{Sen}\delta \times \mathrm{Sen}\phi + \mathrm{Cos}\delta \times \mathrm{Cos}\phi \times \mathrm{Cos}\omega \qquad (1.7)$$

En donde:

δ: Angulo de declinación solar

ϕ: Latitud del sitio

ω: Angulo horario

Φ: Altitud solar

Declinación Solar

La declinación solar es el ángulo que forma la línea que une el centro de la tierra y el centro del sol con el plano del ecuador celeste. Una aproximación de la declinación es la dada por Spencer y que se muestra en la ecuación 1.8. dada en radianes y con un error máximo de 0.0006rad.

$$\delta = 0.006918 - 0.399912\text{Cos}\Gamma + 0.07025\text{Sen}\Gamma - 0.006758\text{Cos}2\Gamma + 0.000907\text{Sen}2\Gamma - 0.002697\text{Cos}3\Gamma + 0.00148\text{Sen}3\Gamma \quad (2.8)$$

Siendo Γ el ángulo diario relativo a la posición de la tierra en el plano de la eclíptica, se lo calcula con la ecuación 1.9 dada en radianes.

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} \quad (1.9)$$

Donde d_n es el número del día, por ejemplo el 28 de Octubre le corresponde $d_n = 301$.

Angulo horario

El ángulo que describe el sol con respecto al observador se denomina ángulo horario y son negativos por la mañana y positivos por la tarde. La ecuación 1.10 nos da el ángulo horario en grados.

$$\omega = (H - 12 + ET - AD) \times 15 - (L - LR) \qquad (1.10)$$

En Donde:

H: Hora civil

AD: Adelanto de la hora oficial.

L: Longitud del lugar.

LR: Longitud del huso horario de referencia

ET: Es el tiempo solar verdadero que se lo calcula con la ecuación 1.11 que es una aproximación de Spencer y viene dado en horas.

$$ET = \frac{269.18}{60}\left(\begin{matrix}0.000075 + 0.001868\,Cos\Gamma - 0.014615\,Cos2\Gamma \\ - 0.04089\,Sen2\Gamma\end{matrix}\right) \qquad (1.11)$$

1.2.6. Perfiles de Velocidad del viento

Los modelos de dispersión emplean algoritmos para obtener el dato de velocidad del viento a la altura de la chimenea, mediante la extrapolación del dato obtenido en superficie, generalmente 10 m, para calcular el transporte y difusión de los contaminantes. La extrapolación se realiza a partir del perfil vertical del viento dado por la teoría de la similitud de Monin-Obukhov para condiciones no-neutrales, el cual viene expresado por ecuación 1.12:

$$U_z = \frac{U^*}{k}\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi\left(\frac{z}{L}\right) + \psi\left(\frac{z_0}{L}\right)\right] \qquad (1.12)$$

Donde U_Z es la velocidad media del viento a la altura z, $\psi(z/L)$ es una función dependiente de la estratificación térmica del aire, Z_0 es el parámetro de rugosidad y K = 0.4 es la constante de Von Karman. Para condiciones neutrales de la atmósfera, $\psi(z/L)=0$.

En terrenos no complejos, hasta una altura de 200 m sobre el nivel del terreno, el perfil de viento es razonablemente bien representado por la ley de potencia de la ecuación 1.13

$$U_z = U_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^p \qquad (1.13)$$

Donde Ur es la velocidad escalar media del viento a la altura de referencia (Zr), típicamente 10 m.

Este exponente varía usualmente desde 0,1 en una tarde soleada hasta 0,6 durante noches despejadas. Mientras mayor sea el valor de p, mayor será el gradiente vertical de la velocidad del viento. Como esta ley de potencia es una aproximación del perfil medio de velocidad del viento, los perfiles reales se desvían de esta relación. Los valores de p, específicos para cada sitio, pueden ser determinados con los datos de vientos en dos niveles, resolviendo la ecuación:

$$p = \frac{\ln(U) - \ln(U_r)}{\ln(z) - \ln(z_r)} \qquad (1.14)$$

Los exponentes de perfil de velocidad de viento son función de la categoría de estabilidad, la rugosidad de la superficie y el rango de altura sobre el cual es determinado.

Así, los exponentes determinados usando dos o más niveles de mediciones de viento deben ser estratificados por categorías de estabilidad y rugosidad de la superficie.

TABLA 7

VALORES ESTADÍSTICOS DEL EXPONENTE DE PERFIL DE VIENTO.

Categoría de estabilidad	Valores por defecto propuestos por la EPA	
	Zonas urbanas	Zonas rurales
A	0,15	0,07
B	0,15	0,07
C	0,2	0,10
D	0,25	0,15
E	0,3	0,35
F	0,3	0,55

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) propone el uso de los valores por defecto para cada categoría de estabilidad mostradas en la segunda y tercera columnas de la tabla 7.

1.2.7. Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica

Un aumento en la concentración de contaminantes a nivel del suelo se debe principalmente a la existencia de un desequilibrio entre la emisión de los mismos y las condiciones atmosféricas locales que producen la dilución de estos.

La importancia de las condiciones meteorológicas en el grado de contaminación atmosférica se reconoce observando las

variaciones de la calidad del aire en una zona determinada de unos días a otros, aún cuando las emisiones permanecen prácticamente constantes.

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

- El transporte convectivo horizontal, que depende de las velocidades y direcciones del viento;
- El transporte convectivo vertical, que depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera.

Transporte convectivo horizontal.

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

No obstante, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar y las de valle y

montaña, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se produce una acumulación progresiva de contaminantes, que da lugar a un aumento de la concentración de los mismos en las zonas barridas por este tipo de vientos. Efectos similares se producen cuando los vientos fuertes inciden perpendicularmente a las crestas montañosas, a un valle o sobre los edificios altos; en estas condiciones, los efectos aerodinámicos de estos obstáculos pueden tener consecuencias negativas para la dispersión de contaminantes, acumulándolos en determinadas zonas.

Transporte convectivo vertical.

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

- En condiciones en que tenemos una atmósfera de tipo estable, los movimientos verticales del aire están muy limitados por lo que hay poca o nula dispersión vertical de contaminantes.

- En el caso en que tenemos una atmósfera inestable, los movimientos verticales del aire están muy favorecidos difundiéndose los contaminantes verticalmente hasta donde alcance la inestabilidad.

- Por último, tenemos el caso de la estratificación indiferente o nula, en estas condiciones la dispersión vertical de contaminantes no está limitada.

- En el caso que tenemos una inversión térmica este fenómeno produce una fuerte acción limitadora en la dispersión de contaminantes. El aire se va calentando progresivamente desde el suelo hacia arriba, produciendo una fuerte estabilidad atmosférica que impide la difusión vertical de los contaminantes. La inversión térmica se forma durante la noche y suele desaparecer progresivamente durante la mañana, cuando la radiación solar calienta de nuevo el suelo y éste a las capas de aire que están en contacto con él.

1.3. Modelos de Dispersión

Los problemas de contaminación atmosférica debido a los movimientos de circulación de viento y los procesos meteorológicos

se pueden abordar tanto como un problema local como global y es por esta razón que se hace imprescindible la utilización de una herramienta matemática para predecir el impacto que pueden producir los diferentes focos de emisión de contaminantes.

1.3.1. Definición

Los modelos de dispersión de calidad del aire son utilizados para interpretar y predecir las concentraciones de contaminantes causadas por la dispersión y por el impacto de las plumas. Estos modelos incluyen efectos de dispersión que se producen debido a las propiedades de los gases emitidos, la misma chimenea, edificios ubicados en la trayectoria de los mismos y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía. Según la disponibilidad de los datos y de la exactitud con se desea realizar la aproximación de la calidad del aire se pueden distinguir algunos tipos de modelos que se describen en el siguiente apartado.

1.3.2. Tipos de modelos de dispersión

En general los tipos de modelos se pueden clasificar en

cuatro tipos: matemáticos, numéricos, estadísticos y físicos. Nos centraremos en la explicación del modelo gaussiano de dispersión, que es un modelo matemático, ya que el modelo ISC utilizado en este proyecto se basa en esta metodología.

Modelos Numéricos

Este tipo de modelos son muy apropiados pero se necesita una detallada información tanto de la fuente como de los contaminantes, que puede llegar a ser muy costosa y es por esta razón que no son muy utilizados.

Modelos estadísticos o empíricos

Estos principalmente se utilizan cuando la información científica de los procesos físicos y químicos en la fuente están incompletos.

Modelos Físicos

En estos se requieren estudios de modelos del fluido o en túneles aerodinámicos del viento. La adopción de este enfoque implica la observación del flujo en modelos a escala. 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.

Modelos Gaussianos

Cualquier fórmula de estimación desarrollada debería permitir que la concentración sea directamente proporcional a la fuente de emisión e inversamente proporcional a la velocidad media del viento. El modelo también debe incluir una función que sea proporcional al grado de mezcla como medida de la intensidad de la turbulencia.

Ningún modelo físico básico ha podido describir los procesos de difusión turbulenta en la atmósfera. En lugar de esto existen dos conceptos básicos para describir los procesos de difusión turbulenta desde los cuales es derivado el modelo de dispersión. El gradiente de transporte o modelo de difusión de eddy puede ser derivado de un balance de masa aplicado a un volumen diferencial.

Ya que la difusión turbulenta es un proceso aleatorio, la teoría estadística también puede ser aplicada a la difusión turbulenta. En este caso los procesos turbulentos pueden ser

descritos por una función de distribución la cual tiene ciertas características estadísticas. La concentración puede estar dada por una función como la que se muestra en la ecuación 1.15.

$$\overline{C} = \frac{Q}{u} DF \qquad (1.15)$$

Donde:

C: Concentración en tiempo promedio

Q: Flujo másico de contaminantes desde la fuente

U: Velocidad media del viento

DF: Una función de distribución dependiente de los resultados de la teoría estadística de la turbulencia

En este caso no explicaremos la teoría estadística de la turbulencia. Una restricción que se impondrá es que la función de distribución (DF) debería ser una función explícita de la dirección perpendicular del viento, y, y de la dirección vertical, z, y solamente una función implícita de la dirección del viento x. Por lo tanto:

$$\overline{C} = \frac{Q}{\bar{u}} D(y) \times F(z) \qquad (1.17)$$

Para aplicar el concepto a una fuente puntual continua, se asume que tanto D(y) como F(z) están distribuidas como una función Gaussiana, en la figura 1.6 se ilustra la función de distribución de Gauss, de donde además resulta la ecuación 1.18.

$$P(z) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\bar{z}}{\sigma_z}\right)^2\right] \qquad (1.18)$$

Introduciendo la ecuación 1.18 tanto para y como para z en la ecuación 1.17 da como resultado la ecuación 1.19

$$\overline{C} = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{z-\bar{z}}{\sigma_z}\right)\right]\right) \qquad (1.19)$$

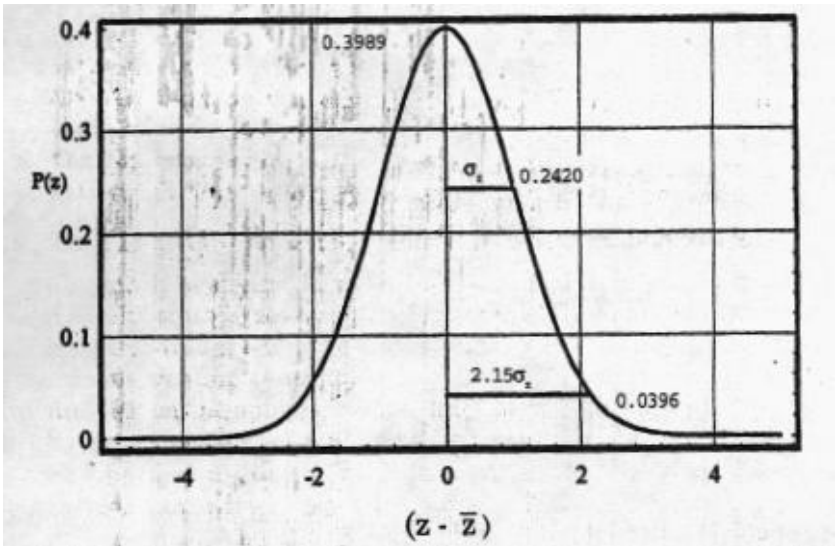


Figura 1.6 Forma de la distribución de Gauss

La ecuación de difusión Gaussiana relaciona los niveles de inmisión en un punto con la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera desde el foco emisor, teniendo en cuenta las condiciones de emisión de los gases y las características climáticas y topográficas del medio receptor. Una representación de esta simulación se muestra en la figura 1.7.

Estos modelos son muy utilizados en la actualidad para estimar las concentraciones de agentes no reactivos en estado estable y estacionario.

En los algoritmos utilizados en esta simulación se calculan los niveles de inmisión en un punto de coordenadas (x,y,z),

donde el origen del sistema de coordenadas se fija en la base de la chimenea, mediante la ecuación 1.20, que es una adaptación de la ecuación 1.19:

$$C = \frac{Q \cdot K \cdot V \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot u_s \cdot \sigma_y \cdot \sigma z} \exp\left(-0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \quad (1.20)$$

Donde:

- **Q** = caudal de contaminante emitido (masa por unidad de tiempo)
- **K** = coeficiente de escala para convertir las concentraciones calculadas a las unidades deseadas
- **V** = Término vertical
- **D** = Periodo de degradación
- $\mathbf{u_s}$ = velocidad media del viento (m/s) en la altura de emisión
- σ_y, σ_z = desviación estándar de la distribución de concentración lateral y vertical, que están en función de la estabilidad atmosférica del emplazamiento y de la distancia desde la fuente al punto donde se encuentra el receptor en la dirección del viento.

- **y** = coordenada transversal a la dirección horizontal del viento

Se hace necesario indicar que el término vertical incluye los efectos de la elevación de la fuente, la elevación del receptor, elevación del penacho, mezclas limitadas en la vertical, efectos gravitacionales y la deposición seca de partículas (con diámetros mayores de 0.1 μm), cuya explicación detallada la podemos encontrar en el volumen II de la guía del usuario del programa.

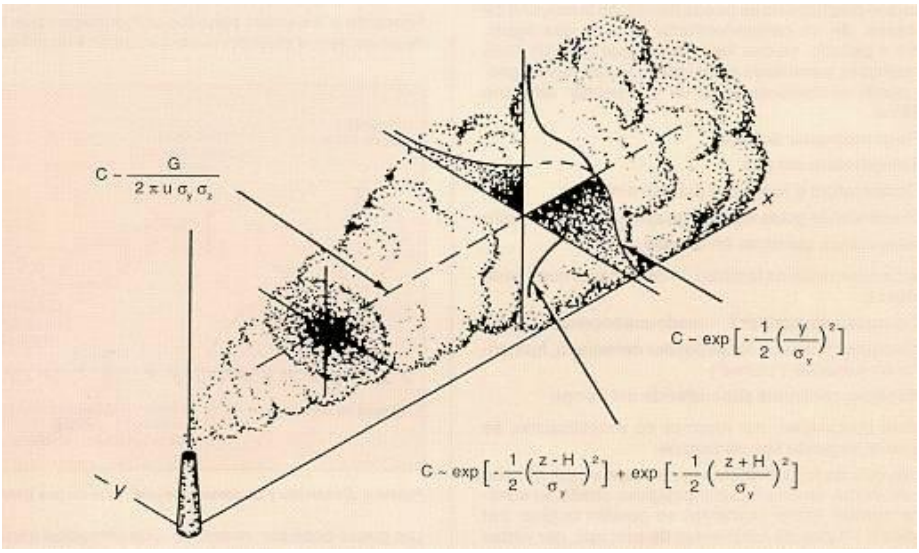


Figura 1.7 Representación de la distribución gaussiana en un penacho

CAPITULO 2

2. MODELO DE DISPERSIÓN DE LA FUENTE INDUSTRIAL COMPLEJA (ISCST3)

2.1. Descripción del modelo

ISC (Industrial Source Complex) ha sido desarrollado específicamente para simular la contaminación atmosférica debido a plantas industriales, prestando interés en los efectos que produce la altura de las chimeneas en el comportamiento de la pluma de contaminantes. Puede ser aplicado tanto en ambientes rurales como urbanos tomando en cuenta además terrenos complejos. Las diferentes opciones permiten calcular la sedimentación seca de los contaminantes corriente abajo de la chimenea. Para simular la altura de la pluma se toma en cuenta los efectos hidrodinámicos en el caso de simular el impacto atmosférico de fuentes lineales, volumétricas, abiertas y áreas específicas. El programa trabaja solamente con

contaminantes no reactivos incluyendo el material particulado, aunque puede implicar también un primer orden de descomposición.

El modelo ISC SHORT TERM acepta datos meteorológicos para cada hora que sirven para definir las condiciones de alcance de la pluma, transporte, concentración y deposición. El modelo estima los valores de concentración y deposición para cada combinación de fuentes y receptores para cada hora de los datos meteorológicos, y calcula los valores promedios seleccionados.

Para nuestro caso particular trabajamos con chimeneas y las trataremos como fuentes puntuales de emisión.

El modelo para chimeneas utiliza la ecuación en estado constante de la pluma Gaussiana que se describió en el capítulo anterior para una fuente continua elevada cierta altura. Para cada fuente y cada hora, el origen del sistema de coordenadas esta ubicado en la superficie del suelo en la base de la chimenea. El eje X es positivo en la dirección del viento, el eje de las Y es normal al eje X y el eje Z se extiende verticalmente. Las posiciones de los receptores fijos son convertidas al sistema de coordenadas de cada fuente para el cálculo de concentración cada hora. Las concentraciones calculadas cada hora para cada fuente en cada receptor son sumadas para

obtener la concentración total producida en cada receptor por las combinaciones de las fuentes de emisión.

Descripción de las rutas

El archivo a ser ejecutado se divide en seis “rutas” funcionales, estas son identificadas con dos caracteres que están ubicadas al comienzo de la parte correspondiente a las opciones de cada una de ellas. Las rutas y el orden de cada una se describe a continuación:

CO.- Para especificar las tareas globales de las opciones de control.

SO.- Para especificar la información de la fuente.

RE.- Para especificar la información del receptor.

ME.- Para especificar la información metereológica necesaria.

TG.- Para especificar la información de la topografía del lugar.

OU.- Para especificar las opciones de salida del programa.

Cada opción tiene asignado un “campo” que consta de la “ruta” un “código” y algunos ”parámetros” para definir completamente cada uno de los campos. Y que en las siguientes secciones explicaremos su significado y utilización.

Para comenzar cada campo se coloca la ruta acompañada de la palabra STARTING y cuando se hayan ingresado todos los códigos y parámetros de cada campo se utiliza la ruta acompañada de la palabra FINISHED. Un ejemplo es “CO STARTING” y al final “CO FINISHED”.

2.2. Opciones de control

La ruta de control CO, contiene los códigos que dan el control global del modelo. Incluye las opciones de: dispersión, tiempo promedio, altura del terreno, y otras que se detallan a continuación:

2.2.1. Información de título

Existen dos códigos que permiten especificar las dos líneas de información del titulo que aparecerán en cada página del archivo principal de salida del modelo. El primer código es TITLEONE, es obligatorio, mientras que el segundo, TITLETWO, es opcional. Los parámetros titleone y titletwo pueden tener como máximo 68 caracteres. La sintaxis y el tipo se pueden observar en el anexo en la tabla A.1.

2.2.2. Opciones de dispersión

Las opciones de dispersión están controladas por el código

MODELOPT en la ruta CO. El tipo, sintaxis y orden de los parámetros de MODELOPT se resumen en los anexos, en la tabla A.2

Los parámetros son descritos a continuación:

DFAULT.- Especifica que serán usadas los opciones por defecto del programa.

CONC.- Especifica que serán calculados valores de concentración.

DEPOS.- Especifica que serán calculados valores de sedimentación total (húmeda y seca)

DDEP.- Especifica que solamente serán calculados valores de sedimentación seca.

WDEP.- Especifica que solamente serán calculados valores de sedimentación húmeda.

DRYDEPLT.- Especifica que será incluido en los cálculos reducción de la pluma debido a mecanismos de remoción secos.

WETDEPLT.- Especifica que será incluido en los cálculos reducción de la pluma debido a mecanismos de remoción húmedos.

RURAL.- Especifica que serán incluidos en los cálculos parámetros de dispersión rural.

URBAN.- Especifica que serán incluidos en los cálculos parámetros de dispersión urbana.

GRDRIS.- Especifica que serán usadas las opciones que no son por defecto del ascenso gradual de la pluma.

NOSTD.- Especifica que se usa la opción de no incluir la caída de flujo producido por el extremo de la chimenea;

NOBID.- Especifica que se usa la opción de no incluir dispersión por flotación inducida;

NOCALM.- Especifica que serán usadas las opciones para ignorar la rutina para proceso de calmas.

MSGPRO.- Especifica que serán usadas las opciones de rutina para procesar datos no encontrados.

NOSMPL.- Especifica que no se harán cálculos con terreno simple, usa algoritmos del COMPLEX1.

NOCMPL.- Especifica que no se harán cálculos con terreno complejo, usa algoritmos del programa.

Si utilizamos el código secundario por defecto DFAULT todas las opciones que no son por defecto no serán tomadas en cuenta. Las opciones por defecto incluyen lo siguiente:

- Uso de parámetros de flotación inducida (excepto para caída de flujo de Schulman-Scire).
- Toma en cuenta la estela producida por el extremo de la chimenea. (excepto para caída de flujo de Schulman-Scire)
- No usa un ascenso gradual de la pluma (excepto para caída de flujo por edificios)
- Usa una rutina para proceso de calmas.
- Uso de la estimación del límite superior de concentraciones para fuentes influenciadas por la estela producida por edificios achatados.
- Uso de exponentes del perfil de velocidad por defecto y,

- Uso por defecto de los gradientes vertical potencial de temperatura.

Otras opciones del modelo como terreno complejo no son afectadas por las opciones reguladoras por defecto.

Los exponentes del perfil de velocidad y gradiente potencial vertical de temperatura se muestran a continuación:

TABLA 8

EXPONENTES DEL PERFIL DE VELOCIDAD Y GRADIENTE POTENCIAL VERTICAL DE TEMPERATURA

Categoría de Estabilidad de Pasquill	Exponente de perifl de velocidad Rural	Exponente de perifl de velocidad Urbana	Gradiente de Temperatura Rural (K/m)	Gradiente de Temperatura Urbano (K/m)
A	0.07	0.15	0.0	0.0
B	0.07	0.15	0.0	0.0
C	0.10	0.20	0.0	0.0
D	0.15	0.25	0.0	0.0
E	0.35	0.30	0.020	0.020
F	0.55	0.30	0.035	0.035

Las opciones de reducción de la pluma (DRYDPLT y WETDPLT) se pueden usar con CONC, DEPOS, DDEP, o WDEP, SI DRYDPLT es incluida la información de las partículas deben ser especificadas en la ruta SO, SI

WETDPLT es incluida los coeficientes de barrido deben ser especificados en la ruta SO.

2.2.3. Opciones de Tiempo Promedio

Los períodos promedio son seleccionados usando el código AVERTIME.

El tipo y sintaxis de este código se resumen en los anexos, en la tabla A.3

Donde los parámetros Time1,….., Time4, se refieren a periodos de tempo promedio especificados por el usuario de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 o 24 horas, los códigos secundarios MONTH, PERIOD y ANNUAL, se refieren a promedios mensuales, datos de períodos específicos y anuales respectivamente. El usuario puede especificar PERIOD o ANNUAL pero no ambos a la vez ya que dan el mismo resultado para concentraciones. La ubicación de los códigos PERIOD o ANNUAL no es crítica.

2.2.4. Especificación del tipo de contaminante

El código POLLUTID se usa para identificar el tipo de contaminante a analizar en un caso particular. La sintaxis y

tipo del código se resumen en los anexos, en la tabla A.4

Donde el parámetro pollut no puede ser mayor a 8 caracteres. Ejemplos de este parámetro son: SO2, CO, PM10, TSP Y OTRAS.

2.2.5. Modelación con descomposición exponencial

Para este tipo de simulación se utilizan dos parámetros que son HALFLIFE y DCAYCEF. La sintaxis y tipo del código se resumen en los anexos, en la tabla A.5.

Donde el parámetro Haflif es usado para especificar la vida media para una descomposición exponencial en segundos, y el parámetro Decay se lo utiliza para especificar el coeficiente de descomposición en unidades de s^{-1}. La relación entre estos dos parámetros es DECAY=0.693/HAFLIF. Basta especificar uno de estos para una pasada del programa en caso contrario será emitido un error no fatal.. La vida media por defecto para el SO2 es de 4 horas.

2.2.6. Opciones para Terreno Elevado

Dos códigos opcionales tenemos disponibles en la ruta de control para las opciones del receptor las cuales son

TERRHGTS Y ELEVUNIT.

El código TERRHGTS da la opción de utilizar terreno plano o terreno elevado. Para terreno elevado, se debe especificar la altura de cada receptor. La sintaxis y el tipo se muestran en los anexos, en la tabla A.6.

Donde el código secundario FLAT está forzando a utilizar un terreno plano, sin tener en cuenta las alturas que se coloquen el la ruta del receptor. El código secundario ELEV indica que se permite alturas del terreno en la ruta del receptor. Para alturas mayores a la altura que llega la pluma se debe utilizar los algoritmos para terreno complejo COMPLEX, caso contrario el programa deja de ejecutarse.

El código ELEVUNIT es obsoleto en esta ruta ya que se lo debe utilizar en las siguientes rutas: SO, RE y TG.

2.2.7. Opciones de altura del receptor

El código FLAGPOLE especifica que se permite asignar altura a los receptores sobre el nivel del suelo en la ruta REceptor. La sintaxis y tipo del código se muestran en los anexos, en la tabla A.7

Donde el parámetro opcional Flagdf, especifica una altura del receptor que será utilizada a lo largo del programa, si no se asigna algún valor entonces la altura por defecto es de 0.0 metros. Cualquier altura colocada en la ruta RE será ignorada si este parámetro no se toma en cuenta.

Continuar o no Continuar

Debido al mejorado manejo de errores que ha sido desarrollado en el diseño del modelo ISC, el programa leerá todo el archivo de entrada que consta de todas las rutas con sus respectivos códigos y parámetros sin tomar en cuenta los errores y advertencias que sean encontradas.. Si ocurre un error fatal en el proceso del archivo, entonces mas cálculos del modelo serán abortados. Por otro lado el modelo intentará continuar. El código RUNORNOT ha sido incluido en la ruta de control para permitir especificar si el modelo continúa y mejora los cálculos en el caso de utilizar el parámetro RUN o no continuar y solo procesar los datos del archivo de entrada y resumir la información de la configuración. La sintaxis y tipo se muestran en los anexos, en la tabla A.8.

2.3. Opciones de la fuente

Esta ruta contiene los códigos que definen la información de la fuente para un caso particular. Como sabemos el modelo puede manejar cuatro tipo de fuentes, puntuales, de volumen de area y abiertas. En el caso de una fuente puntual, se puede seleccionar dimensiones de edificios cercanos que provoquen una estela que sea de consideración. Además, se puede identificar un grupo de fuentes para las cuales el modelo combinará los resultados.

2.3.1. Identificación de la fuente tipos y ubicación

El código LOCATION se usa para identificar el tipo y ubicación de cada fuente implicada. Esta puede ser el primer código ingresado para cada fuente, puesto que este identifica el tipo de fuente y dictamina que parámetros son necesitados y/o aceptados. La sintaxis, el tipo y orden de este código se muestran en los anexos, en la tabla A.9

Donde el parámetro Srcid es la identificación de la fuente definido por el usuario y que como máximo tiene 8 caracteres, srctyp es el tipo de fuente que está identificado por uno de los siguiente códigos secundarios: POINT, VOLUME, AREA, o OPENPIT y Xs, Ys, Zs son x, y, z coordenadas de la ubicación de la fuente en metros. Zs es un parámetro opcional, si la elevación de la fuente es omitido se le dará un

valor por defecto de 0.0m, además la elevación de la fuente es usada solo si la opción CO TERRHGTS ELEV es seleccionada. Aunque por defecto se utiliza metros se puede también utilizar pies, para la elevación de la fuente, esto se realiza agregando SO ELEVUNIT FEET inmediatamente después de SO STARTING. Las coordenadas x (este – oeste) y y (norte – sur) son para el centro de las fuentes cuando se utiliza el modelo para aplicación de fuentes puntuales y volumétricas con los códigos POINT y VOLUME respectivamente, y son el punto al sur oeste cuando se aplica el modelo para fuentes cuyos códigos secundarios son AREA y OPENPIT

Especificación de los parámetros de la fuente

Los principales parámetros de la fuente son ingresados en el campo SRCPARAM, el cual es un código obligatorio para cada fuente implicada en la simulación. Ya que los parámetros a ingresar varían con cada tipo de fuente, se las estudiará separadas.

Ingreso de datos para fuentes puntuales

Los algoritmos de la fuente POINT son usadas para simular la

salida de contaminantes desde chimeneas y rejillas de ventilación aisladas, como también otros tipos de fuentes. La sintaxis tipo y orden se muestran en los anexos, en la tabla A.10.

En donde el parámetro Srcid es el mismo con el que identificamos a la fuente en el campo LOCATION para una fuente en particular, y los otros parámetros son los siguientes.

- Premis.- Tasa puntual de emisión en g/s
- Stkhgt.- Altura de salida sobre el nivel del suelo en metros
- Stktmp.- Temperatura de los gases de salida en la chimenea en grados kelvin
- Stckvel.- Velocidad de salida de los gases en m/s
- Stkdia.- Diámetro interno de la chimenea en metros.

Se debe tomar en cuenta que se utiliza la misma tasa de emisión tanto para calcular concentraciones como deposiciones. Un ejemplo válido de SRCPARAM es el siguiente;

		Premis	Stktmp	Stktmp	Stckvel	Stkdia
SO SRCPARAM	STACK1	16.71	35.0	444.0	22.7	2.74

Donde STACK1 es el nombre de la fuente con la que está identificada, la tasa de emisión es 16.71 g/s, la altura de salida de los gases es 35.0m, la temperatura de salida es 444.0 ºK, la velocidad de los gases a la salida de la chimenea es 22.7 m/s, y el diámetro interior de la misma es 2.74 m

Ingreso de datos para fuentes volumétricas

Estas fuentes son utilizadas para simular emisiones de diversos tipos de fuentes como bandas transportadoras, múltiples respiraderos, y monitores de las azoteas de edificios. La sintaxis, el tipo y el orden de este campo se muestran en los anexos, en la tabla A.11

En donde el parámetro Srcid es el mismo con el que identificamos a la fuente en el campo LOCATION para una fuente en particular, y los otros parámetros son los siguientes.

- Vlemis.- Tasa volumétrica de emisión en g/s
- Relhgt.- Altura de salida sobre el nivel del suelo en metros

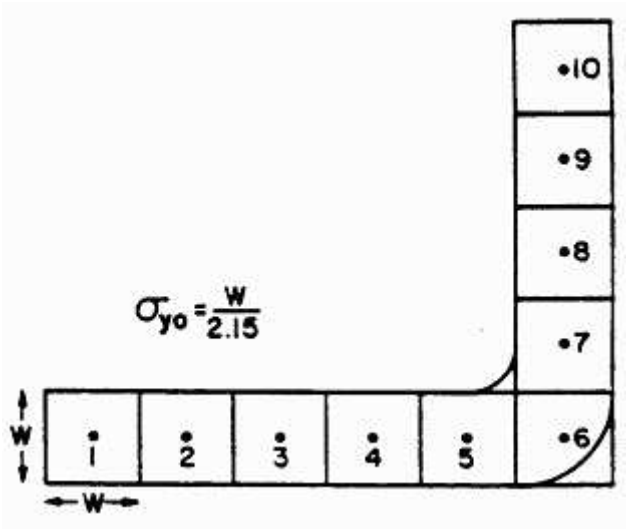
- Syinit.- Dimensión lateral inicial de el volumen en metros
- Szinit.- Dimensión inicial vertical del volumen en metros

Se debe tomar en cuenta que se utiliza la misma tasa de emisión tanto para calcular concentraciones como deposiciones

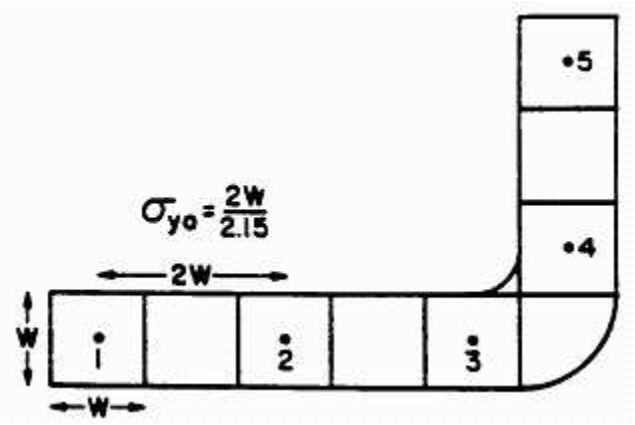
En la tabla 9 se resume los procedimientos sugeridos para estimar las dimensiones iniciales tanto verticales como laterales para varios tipos de de fuentes en arreglos de forma de línea y de volumen.

Ingreso de datos para fuentes de área

Los algoritmos utilizados en este caso son usados para simular emisiones desde bajos niveles o al nivel del suelo sin elevación de pluma ejemplo de esto es: escombreras, vertederos de basura, lagunas, etc).



a) Representación Exacta



b) Representación Aproximada

Figura 2.1 Representación exacta y aproximada de Fuentes de línea por fuentes de volumen

El modelo ISC, utiliza una integración numérica aproximada para simular impactos de este tipo. El modelo acepta áreas rectangulares que pueden tener un ángulo de rotación relativo a la dirección norte-sur.

TABLA 9

RESUMEN DE LOS PROCEDIMIENTOS SUGERIDOS PARA ESTIMAR LAS DIMENSIONES INICIALES TANTO VERTICALES COMO LATERALES

Tipo de fuente	Procedimiento para obtener dimensión inicial
(a) Dimensión lateral inicial(σ_{yo})	
Solo fuente de volumen	σ_{yo} =longitud del lado dividido por 4.3
Fuente de línea representada por Fuentes de volumen adyacentes (ver Figura 2.1(a))	σ_{yo} = longitud del lado dividido por 2.15
Fuente de línea representada por Fuentes de volumen separadas (ver Figura 2.1(b))	σ_{yo} =distancia de centro a centro dividida por 2.15
(b) Dimensión vertical inicial (σ_{zo})	
Fuente basada en superficie (h_e ~ 0)	σ_{zo} =dimensión vertical de la fuente dividida por 2.15
Fuente elevada (h_e > 0) en o junto a un edificio	σ_{zo} =altura del edificio dividido por 2.15
Fuente elevada (h_e > 0) no está en o junto a un edificio	σ_{zo} =dimensión vertical de la fuente dividido por 4.3

El ángulo de rotación se especifica relativo al vértice usado para definir la ubicación de la fuente en el campo LOCATION. La sintaxis tipo y orden se muestran en los anexas, en la tabla A.12

En donde el parámetro Srcid es el mismo con el que identificamos a la fuente en el campo LOCATION para una fuente en particular, y los otros parámetros son los siguientes.

- Aremis.- Tasa de emisión por unidad de área en g/(s-m2),
- Relhgt.- Altura de liberación sobre el suelo en metros.
- Xinit.- Longitud del lado X del area (en dirección este-oeste si el ángulo es 0 grados) en metros,
- Yinit.- Longitud del lado Y del area (En la dirección norte-sur si el ángulo es 0 grados) en metros, (opcional)
- Angle.- Angulo de rotación para el area rectangular desde el norte en grados, medido positivo en el sentido de las agujas del reloj (opcional),
- Szinit.- Dimensión vertical inicial de la pluma de la fuente de área dada en metros (opcional).

Se debe tomar en cuenta que se utiliza la misma tasa de emisión tanto para calcular concentraciones como

deposiciones. Una de las diferencias existentes es que la tasa de emisión para este caso es por unidad de área en cambio en los casos anteriores es la emisión total.

Si se omite el parámetro INIT, entonces el modelo asume que el área es un cuadrado y que INIT=Xinit. Si se omite el parámetro Angle se asume que el área a considerar está orientada en las direcciones norte-sur y este-oeste. Si ingresamos un valor y este no es igual a 0.0, entonces el modelo girará el área en el sentido de las agujas del reloj alrededor del vértice definido en el campo SO LOCATION para esta fuente. La figura 2.2 muestra la relación entre los parámetros Xinit, Yinit y Angle y la ubicación de la fuente, (Xs, Ys) para un rectángulo rotado.

Ingreso de datos para fuentes abiertas

Estos algoritmos nos sirven para simular emisiones de partículas desde lugares abiertos, tales como superficies de minas de carbón y canteras de piedra.

En este caso utiliza un área efectiva, basada en condiciones meteorológicas.

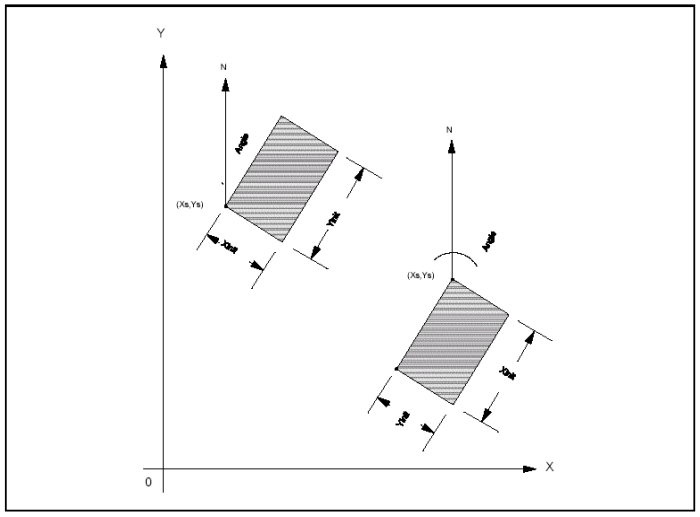


Figura 2.2 Relación de los parámetros de fuente de area para el rectángulo rotado

El modelo acepta áreas rectangulares con un ángulo de rotación opcional con respecto a la dirección norte-sur, y se lo introduce de la misma forma que en caso de la fuente explicada en el apartado anterior.

La sintaxis, tipo y orden se muestran en los anexos en la tabla A.13.

En donde el parámetro Srcid es el mismo con el que identificamos a la fuente en el campo LOCATION para una fuente en particular, y los otros parámetros son los siguientes.

- Aremis.- Tasa de emisión por unidad de área en el hoy o abierto g/(s-m2),

- Relhgt.- Altura de liberación sobre el suelo en metros.
- Xinit.- Longitud del lado X del area (en dirección este-oeste si el ángulo es 0 grados) en metros,
- Yinit.- Longitud del lado Y del area (En la dirección norte-sur si el ángulo es 0 grados) en metros, (opcional)
- Pitvol.- Volumen del agujero abierto en metros cúbicos.
- Angle.- Angulo de rotación para el area rectangular desde el norte en grados, medido positivo en el sentido de las agujas del reloj (opcional),
- Para cada uno de los parámetros se los maneja de la misma forma que en el apartado anterior, que es el correspondiente para fuente de área.

Especificación de la información de estelas producidas por edificios

El modelo ISC toma en cuenta los edificios que se encuentran junto o cerca a la fuente de emisión cuando esta es de tipo

puntual, en el resto de casos esto no se aplica.

Los diferentes tipos de estelas que se pueden tomar en cuenta utilizando este modelo son los siguientes:

- Procedimientos de Schulman y Scire para el cálculo de afectación por edificios
- Procedimientos para el cálculo de la afectación por edificios de Huber y Snyder.

Estos procedimientos se describen en el volumen II de guía del usuario de este modelo.

Existen tres códigos que se usan para especificar la afectación de los edificios en la elevación de la pluma que son: BUILHGT, BUILDWID, Y LOWBOUND, Se escribe de la forma que se muestran en los anexos, en la tabla A.14.

En donde el parámetro Srcid es el mismo con el que identificamos a la fuente en el campo LOCATION para una fuente en particular

También hay la opción de escoger un rango de fuentes para las cuales es aplicable las alturas, en lugar de identificar solo una.

El parámetro Dsbh corresponde a las alturas de los edificios que se encuentra alrededor de la fuente cada 10 grados en dirección de las agujas del reloj desde la dirección norte, lo que quiere decir que en total existiría 36 datos de alturas a ingresar.

El mismo procedimiento se utiliza con el código BUILDWID, a diferencia que en este caso el pará metro Dbh es el ancho del edificio cercano.

2.3.2. Uso de velocidad de emisión

Los factores de emisión pueden variar en diferentes escalas de tiempo como, estación, hora del día, etc.

El código EMISFACT proporciona al usuario esta opción, acompañado de los siguientes códigos secundarios:

SEASON.- Tasa de emisión que varían con la estación (n=4)

MONTH.- Tasa de emisión que varían con el mes. (n=12)

HROFDY.- Tasas de emisión que varían con la hora del día (n=24).

STAR.- Las tasas de emisión varían según velocidad y

categoría de estabilidad, (n=36)

SEASHRT.- Las tasas de emisión varían según la estación y la hora del día (n=96)

En donde n es la cantidad de factores de emisión que hay que ingresar al programa en este campo.

En la figura 2.3 podemos visualizar un ejemplo.

```
**                          WINTER  SPRING  SUMMER FALL
SO EMISFACT STACK1 SEASON    0.50    0.50    1.00 0.75
**                          QUART1  QUART2  QUART3 QUART4
SO EMISFACT STACK1 QUARTR    0.50    0.50    1.00 0.75
**                         JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC
SO EMISFACT STACK1 MONTH   0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.5 0.5 0.6 0.7 1.0 1.0 1.0
**                           WINTER    SPRING    SUMMER FALL (6 Stab Cat.)
SO EMISFACT STACK1 SSTAB     6*0.50    6*0.50    6*1.00 6*0.75
**                           WINTER    SPRING    SUMMER FALL (6 WS Cat.)
SO EMISFACT STACK1 SSPEED    6*0.50    6*0.50    6*1.00 6*0.75
**            Stab. Cat.:   A      B      C      D E      F (6 WS Cat.)
SO EMISFACT STACK1 STAR    6*0.5  6*0.6  6*0.7  6*0.8 6*0.9  6*1.0
**            Stab. Cat.:   A      B      C      D E      F (6 WS Cat.)
**              Season 1:
SO EMISFACT STACK1 SSTAR   6*0.5  6*0.6  6*0.7  6*0.8 6*0.9  6*1.0
**              Season 2:
SO EMISFACT STACK1 SSTAR   6*0.5  6*0.6  6*0.7  6*0.8 6*0.9  6*1.0
**              Season 3:
SO EMISFACT STACK1 SSTAR   6*0.5  6*0.6  6*0.7  6*0.8 6*0.9  6*1.0
**              Season 4:
SO EMISFACT STACK1 SSTAR   6*0.5  6*0.6  6*0.7  6*0.8 6*0.9  6*1.0
```

Figura 2.3 Ejemplo de factores de emisión variable

Ajuste de las unidades de las tasas de emisión para los resultados

Por defecto las unidades de la tasa de emisión es g/s en el caso de fuentes puntuales y volumétricas y en unidades de g/sm2 para fuentes de área que automáticamente nos proporciona resultados de concentración en unidades de $\mu g/m^3$ y de g/m^2 para cálculos de deposición. Lo que implica un factor de conversión por defecto de 1E6 para cálculos de concentración y de 3600 para cálculos de deposición.

El código EMISUNIT da la posibilidad un factor de conversión de unidades diferente, y especificar las unidades deseadas en los resultados tanto para concentración como deposición.

Un ejemplo para la concentración en la figura A.2 en los anexos.

Si se utiliza al mismo tiempo tanto concentración como deposición se debe realizar por separado el ingreso de los factores de emsiión colocando luego de la ruta SO el código CONCUNIT para cambiar el factor de emisón para cálculos de concentración y DEPOUNIT para realizar los cálculos de deposición.

Especificación de variables para cálculos de asentamiento, remoción y sedimentación

Los códigos que nos permiten tomar en cuenta el asentamiento debido a la gravedad y la remoción de partículas debido a sedimentación seca son: PARTDIAM, MASSFRX, y PARTDENS. Las variables por asentamiento y remoción se pueden ingresar para una o un rango de fuentes.

La sintaxis y el tipo de variable se muestran en la tabla A.15 en los anexos.

En donde el parámetro Srcid al igual que Srcrng ya se explicaron anteriormente, en donde el arreglo Pdiam es el diámetro de partícula en micrones para cada categoría de tamaño de partículas en un máximo de 20 categorías. El arreglo Phi, corresponde a la fracción de masa que corresponde a cada categoría, y el arreglo Pdens es la densidad de partículas correspondiente a cada categoría en g/cm^3.

Especificación de un archivo de tasas de emisión horaria

El código que permite ingresar las tasas de emisión horaria es HOUREMIS, que está acompañada del parámetro Emifil que especifica el nombre de archivo (menor a 40 caracteres) que contiene las emisiones horarias, y los parámetros Srcid y

Srcrng identifican la fuente o fuentes a las cuales corresponde esas emisiones.

El formato que debe tener el archivo incluye la ruta y el código (SO HOUREMIS), seguido por el año, mes, día, hora, ident. De la fuente, tasa de emisión (en unidades apropiadas), y para fuentes puntuales la temperatura de salida de los gases en ºK y la velocidad de salida (m/s). Un ejemplo para dos fuentes se puede observar en la figura 2.4.

```
SO HOUREMIS  88  8 16  1  STACK1  52.467   382.604   12.27
SO HOUREMIS  88  8 16  1  STACK2  44.327   432.326   22.17
SO HOUREMIS  88  8 16  2  STACK1  22.321   377.882   9.27
SO HOUREMIS  88  8 16  2  STACK2  42.166   437.682   19.67
SO HOUREMIS  88  8 16  3  STACK1  51.499   373.716   11.87
SO HOUREMIS  88  8 16  3  STACK2  41.349   437.276   18.77
SO HOUREMIS  88  8 16  4  STACK1  36.020   374.827   9.63
SO HOUREMIS  88  8 16  4  STACK2  43.672   437.682   18.23
```

Figura 2.4 Ejemplo para dos fuentes con emisión horartia

Si no son incluidos los valores de la temperatura o la velocidad para una hora en particular, el modelo interpreta como que los datos de emisión en ese caso no están y colocará un valor de cero. Por lo tanto no se realizarán cálculos para dicha en dicha fuente.

2.3.3. Uso de grupos de fuentes

Este modelo nos permite agrupar las contribuciones de varias

fuentes en una sola contribución.

Al menos hay un grupo de fuentes en una ejecución, el cual puede consistir de todas las fuentes, así que el código SRCGROUP se ha hecho obligatorio en el modelo ISC. La sintaxis se muestra en los anexos, en la tabla A.16.

Donde el parámetro Grpid es una hilera de hasta 8 caracteres alfanuméricos que identifica al grupo. Srcid y Srcrng son las identificaciones de las fuentes individuales y/o rangos que forman el grupo de fuentes. Los rangos de fuentes, los cuales se describen con detalle en la descripción de BUILDHGT.

Se ha reservado una identificación de grupo especial para especificar el grupo de todas las fuentes. Cuando Grpid = ALL, el modelo automáticamente prepara un grupo de fuentes llamado ALL que incluye a todas las fuentes modeladas en esa ejecución.

2.4. Opciones de la ruta receptor

Esta ruta contiene los códigos necesarios para completar la información que define al receptor en una ejecución particular.

La ruta RE contiene códigos que permiten definir el arreglo de

coordenadas cartesianas y/o polares de uno o varios receptores, espaciadas uniformemente o no, lo que permite especificar un lugar para un receptor particular. El programa inicialmente se prepara para permitir cinco (5) redes cuadriculadas de receptores de uno (o ambos) tipos en una sola ejecución, más receptores discretos de cada tipo, hasta un límite máximo en el número total de receptores.

Las unidades predefinidas para elevaciones de receptores en el modelo ISC son los metros, el usuario puede especificar elevaciones de receptor para que sean en pies agregando la tarjeta RE ELEVUNIT FEET inmediatamente después de la tarjeta RE STARTING. Esta tarjeta optativa tiene el mismo efecto de la antigua tarjeta CO ELEVUNIT FEET.

2.4.1. Definición de la ubicación del receptor

En el modelo ISC se permiten dos tipos de redes de receptores. Una red cartesiana, que se define a través del código GRIDCART e incluye un arreglo de puntos definidos por sus coordenadas X (este-oeste) y Y (norte-sur). Una red polar, que se define por el código GRIDPOLR, es un arreglo de puntos que se identifica por la dirección y distancia de un origen definido por el usuario. Cada una de estos códigos tiene asociada una serie de códigos secundarios que se usan

para definir la red, incluyendo las elevaciones de cualquier receptor para alturas de terreno elevado y receptores de asta. códigos GRIDCART y GRIDPOLR pueden considerarse como sub-rutas, ya que sus códigos secundarios incluyen una tarjeta STArt y una END para indicar el inicio y el final de los datos de entrada para una determinada red.

```
RE GRIDCART CAR1 STA
RE GRIDCART CAR1 XPNTS  -500.  -400.  -200.  -100. 100.  200.  400.  500.
RE GRIDCART CAR1 YPNTS  -500.  -250.   250.  500.
RE GRIDCART CAR1 ELEV  1  10.  10.  10.  10.  10.  10. 10.  10.
RE GRIDCART CAR1 ELEV  2  20.  20.  20.  20.  20.  20. 20.  20.
RE GRIDCART CAR1 ELEV  3  30.  30.  30.  30.  30.  30. 30.  30.
RE GRIDCART CAR1 ELEV  4  40.  40.  40.  40.  40.  40. 40.  40.
RE GRIDCART CAR1 FLAG  1  10.  10.  10.  10.  10.  10. 10.  10.
RE GRIDCART CAR1 FLAG  2  20.  20.  20.  20.  20.  20. 20.  20.
RE GRIDCART CAR1 FLAG  3  30.  30.  30.  30.  30.  30. 30.  30.
RE GRIDCART CAR1 FLAG  4  40.  40.  40.  40.  40.  40. 40.  40.
RE GRIDCART CAR1 END
```

```
RE GRIDCART CAR1 STA
           XPNTS  -500.  -400.  -200.  -100. 100.  200.  400.  500.
           YPNTS  -500.  -250.   250.  500.
           ELEV  1  8*10.
           FLAG  1  8*10.
           ELEV  2  8*20.
           FLAG  2  8*20.
           ELEV  3  8*30.
           FLAG  3  8*30.
           ELEV  4  8*40.
           FLAG  4  8*40.
RE GRIDCART CAR1 END
```

Figura 2.5 Ejemplo de una red de receptors cuadricular

Redes de receptores de cuadrícula cartesiana.

La sintaxis y tipo del código GRIDCART se resumen en los anexos, en la tabla A.17.

Donde los parámetros se definen en la tabla 10.

TABLA 10

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA REDES CUADRICULADAS.

Netid	Nombre asignada a la red del receptor (máximo 8 caracteres)
STA	Indica el inicio de entrada gridcart para una determinada red. Se repite para cada nueva Netid
XYINC	Código que identifica una red cuadriculada uniforme generada con incrementos de x e y.
Xinit	Ubicación del inicio en el Eje-x en metros.
Xnum	Numero de receptores en el eje-x.
Xdelta	Espacio en metros entre receptor y receptor en el eje-x.
Yinit	Ubicación del inicio en el Eje-y en metros.
Ynum	Numero de receptores en el eje-x.
Ydelta	Espacio en metros entre receptor y receptor en el eje-y.
XPNTS	Código que identifica a una red definida para una serie de coordenadas discretas x e y. (se usa con YPNTS)
Gridx1	Valor de la primera coordenada-x en el plano cartesiano(m)
Gridxn	Valor de la n-sima coordenada-x en el plano cartesiano(m)
YPNTS	Código que identifica a una red definida para una serie de coordenadas discretas x e y. (se usa con XPNTS)
Gridy1	Valor de la primera coordenada-y en el plano cartesiano(m)
Gridyn	Valor de la n-sima coordenada-y en el plano cartesiano(m)
ELEV	Código que indica que siguen elevaciones de los receptores (Opcional)
Row	Indica cual fila (coordenada-y) está siendo ingresada (Row=1 significa primera ejm. La mas al sur)
Zelev	Un arreglo de las Alturas del terreno receptor en metros para una fila particular (las unidades por defecto en metros pueden ser cambiadas a pies usando RE ELEVUNIT o CO ELEVUNIT), el número de entradas por fila es igual al número de coordenadas x para esta red.
FLAG	Código que especifica que se utilizará receptores de asta (opcional)
Row	Indica cual fila (coordenada-y) está siendo ingresada (Row=1 significa primera ejm. La mas al sur)
Zflag	Un arreglo de las Alturas del terreno receptor en metros para una fila particular (las unidades por defecto en metros pueden ser cambiadas a pies usando RE ELEVUNIT o CO ELEVUNIT), el número de entradas por fila es igual al número de coordenadas x para esta red.
END	Indica el final de las entradas en GRIDCART para una red particular repetible para cada netid

Un ejemplo de esta red podemos visualizar en el figura 2.5.

El parámetro Row en los datos de entrada de ELEV y FLAG pueden proporcionarse como número de línea, ejm: 1, 2, etc., como el valor real en la coordenada Y, ejm:, -500., -250., etc. Que se muestra en la figura 2.5 del ejemplo.

Redes de receptores de cuadrícula polar.

La sintaxis y tipo del código GRIDPOLR se resumen en los anexos en la tabla A.18.

Donde los parámetros se definen en la tabla 11.

```
RE GRIDPOLR POL1 STA
              ORIG  500.  500.
              DIST  100.  300.  500.  1000.  2000.
              DDIR  90.   180.  270.  360.
              ELEV  90.  5. 10. 15. 20. 25.
              ELEV  180. 5. 10. 15. 20. 25.
              ELEV  270. 5. 10. 15. 20. 25.
              ELEV  360. 5. 10. 15. 20. 25.
              FLAG  90.  5. 10. 15. 20. 25.
              FLAG  180. 5. 10. 15. 20. 25.
              FLAG  270. 5. 10. 15. 20. 25.
              FLAG  360. 5. 10. 15. 20. 25.
RE GRIDPOLR POL1 END
```

Figura 2.6 Ejemplo de cuadrícula polar y origen distinto de cero

En la figura 2.6 se proporciona un ejemplo que muestra el uso de un origen distinto a cero, con radiales de dirección

discretos y especificación de alturas de terreno elevado y alturas de receptor de asta:

TABLA 11

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA REDES POLARES.

Netid	Nombre asignada a la red del receptor (máximo 8 caracteres)
STA	Indica el inicio de entrada gridcart para una determinada red. Se repite para cada nueva Netid
ORIG	Código para especificar el inicio de la red polar
Xinit	Coordenada-x del origen de la red polar.
Yinit	Coordenada-y del origen de la red polar.
Srcid	Identificación de la fuente usada como origen de la red polar
DIST	Código para especificar las distancias de la red polar
Ring1	Distancia al primer anillo de las coordenadas polares
Ringn	Distancia al n-simo anillo de las coordenadas polares
DDIR	Código para especificar una dirección radial discreta para la red polar
Dir1	Primera dirección radial en grados (1 a 360)
Dirn	La n-sima dirección radial en grados (1 to 360)
GDIR	Código para especificar una dirección radial generada para la red polar
Dirnum	Número de dirección usadas para definir el sistema polar
Dirini	Dirección inicial del sistema polar
Dirinc	Incremento en grados para definir las direcciones
ELEV	Código que indica que siguen elevaciones de los receptores (opcional)
Row	Indica cual fila (coordenada-y) está siendo ingresada (Row=1 significa primera ejm. La mas al sur)
Zelev	Un arreglo de las Alturas del terreno receptor en metros para una fila particular (las unidades por defecto en metros pueden ser cambiadas a pies usando RE ELEVUNIT o CO ELEVUNIT), el número de entradas por fila es igual al número de coordenadas x para esta red.
FLAG	Código que especifica que se utilizará recptores de asta (opcional)
Row	Indica cual fila (coordenada-y) está siendo ingresada (Row=1 significa primera ejm. La mas al sur)
Zflag	Un arreglo de las Alturas del terreno receptor en metros para una fila particular (las unidades por defecto en metros pueden ser cambiadas a pies usando RE ELEVUNIT o CO ELEVUNIT), el número de entradas por fila es igual al número de coordenadas x para esta red.
END	Indica el final de las entradas en GRIDPOLR para una red particular repetible para cada netid

Con el propósito de hacer cálculos, todas las ubicaciones de receptores, incluyendo aquellas especificadas como polares, se almacenan en los arreglos del modelo como coordenadas X, Y y Z y alturas de asta. Con el fin de reportar los resultados por receptor en el archivo principal impreso, las tablas se etiquetan con los datos de entrada polares, i.e., direcciones y distancia.

2.4.2. Uso de redes de receptores múltiples

Para algunas aplicaciones en la simulación, el usuario puede necesitar una red con rugosidad moderada cubriendo un área grande para identificar las partes de impacto significativo para una planta, y una red más densa que cubra un área más pequeña para identificar los impactos máximos. Para satisfacer esta necesidad, el modelo ISC le permite al usuario especificar redes de receptores múltiples en una sola ejecución.

El usuario puede definir redes de cuadriculado cartesiano o redes polares o ambas. Con el uso de la opción ORIG en la palabra clave GRIDPOLR, el usuario puede fácilmente colocar una red receptora con centro en las instalaciones que se están probando, y puede también colocar una red con

centro en otra fuente de fondo que se sabe que contribuye significativamente a las altas concentraciones. De forma alterna, la red polar puede centrarse en un receptor de interés especial, como un área cercana de Clase I.

2.4.3. Especificación de ubicación de receptores discretos

Además de las redes de receptores definidas por los códigos GRIDCART y GRIDPOLR descritas antes, el usuario puede especificar receptores de punto discretos para simular impactos en ubicaciones específicas de interés. Esto puede usarse para aplicaciones con receptores críticos, como las ubicaciones de escuelas o residencias, áreas cercanas de Clase I, o ubicaciones identificadas como de altas concentraciones en análisis de simulaciones anteriores. Los receptores discretos pueden escribirse como puntos cartesianos X y Y (código DISCCART) o como coordenadas de distancia y dirección polar (código DISCPOLR). Ambos tipos de receptores pueden identificarse en una sola ejecución. Además, para puntos receptores polares discretos, el usuario especifica la fuente cuya ubicación se usa como origen para el receptor.

Los receptores cartesianos discretos se definen con el uso del código DISCCART. La sintaxis y el tipo se resumen en los anexos, en la tabla A.19

Donde los parámetros Xcoord y Ycoord son las coordenadas X e Y (m), de la ubicación del receptor respectivamente. El parámetro Zelev es una elevación de terreno opcional en metros para el receptor en simulaciones de terreno elevado.

Los receptores polares discretos se definen con el uso del código DISCPOLR. La sintaxis y el tipo se resumen en los anexos:

Los parámetros Dist y Direct son la distancia en metros y dirección en grados para la ubicación receptora polar. Los grados se miden en el sentido de las manecillas del reloj desde el norte. El parámetro Zelev es una elevación de terreno opcional del receptor para simulación de terreno elevado.

2.5. Opciones meteorológicas

En esta ruta como su nombre mismo lo indica se colocan las condiciones meteorológicas que tiene el emplazamiento con la ayuda de códigos y parámetros que se describen a continuación:

2.5.1. Especificación del archivo de datos de entrada

El nombre y formato del archivo de datos meteorológicos de entrada se identifican con el código INPUTFIL en la ruta ME. El modelo ISC utiliza datos meteorológicos por hora como uno de sus datos de entrada básicos. La sintaxis y tipo de este código se resumen en los anexos, en la tabla A.20.

Donde el parámetro Metfil es un campo de hasta 40 caracteres que identifica al archivo de datos meteorológicos. Que en le caso se ubique en el mismo directorio se coloca solo el nombre en caso contrario se debe colocar toda la ruta de donde se encuentra el archivo de datos.

El parámetro opcional Format especifica el formato del archivo de datos meteorológicos. El usuario tiene las siguientes cinco opciones para especificar el Formato::

a. Usar por predeterminación el formato ASCII para un archivo secuencial por hora (si es Format se deja en blanco);

b. Especificar el formato Fortran READ para un archivo ASCII secuencial por hora.

c. Usar READs de formato libre para un archivo secuencial por hora, escribiendo la palabra clave secundaria FREE

d. Usar un archivo sin formato generado por los preprocesadores PCRAMMET o MPRM, alimentando la palabra clave secundaria UNFORM; o

e. Usar datos de imagen de tarjeta usando un archivo ASCII predeterminado, especificando la palabra clave secundaria CARD - esta opción difiere de la opción 1) porque se le agregan los exponentes del perfil del viento por hora y gradientes térmicos potenciales verticales por hora en el archivo de datos de entrada.

f. Debido a que los algoritmos de deposición necesitan variables meteorológicas adicionales, el formato exacto de los datos meteorológicos ASCII dependerán del uso de los algoritmos de deposición seca y/o húmeda. Si se están usando los algoritmos de deposición, entonces el archivo de datos sin formato (opción 4 anterior) no puede usarse.

El primer registro del archivo de datos de entrada de datos meteorológicos contiene el número y año para ambas estaciones, superficiales y de aire superior (altura de

mezclado). Para los archivos con formato ASCII, estas cuatro variables enteras se leen usando un READ de formato libre, i.e., las variables deben separarse ya sea por una coma o por lo menos un espacio en blanco.

El modelo compara estas variables con los valores alimentados por el usuario en las tarjetas ME SURFDATA y ME UAIRDATA.

En el caso de utilizar el formato ASCII se debe colocar las variables en el orden y con su respectivo formato como se muestra en la tabla 12.

El archivo de datos meteorológicos normalmente consiste de un solo año completo de datos meteorológicos, empezando con la hora 0100 de enero 1 y terminando con la hora 2400 de diciembre 31. Para ciertas aplicaciones, como las evaluaciones de riesgo a largo plazo, podría ser deseable obtener promedios calculados sobre un período mayor a un solo año. Para estas aplicaciones, el modelo de corto plazo es capaz de leer datos meteorológicos de múltiples años en cualquiera de los formatos ASCII descritos anteriormente.

TABLA 12

ORDEN Y FORMATO ASCII DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS

Variable	Formato Fortran	Columnas
Año (últimos dos dígitos)	I2	1-2
Mes	I2	3-4
Día	I2	5-6
Hora	I2	7-8
Dirección del viento (deg.)	F9.4	9-17
Velocidad del viento (m/s)	F9.4	18-26
Temperatura ambiente (K)	F6.1	27-32
Clase de Estabilidad (A=1, B=2, ... F=6)	I2	33-34
Altura de mezcla rural (m)	F7.1	35-41
Altura de mezcla urbana (m)	F7.1	42-48
Exponente del perfil de velocidades (solo en CARD)	F8.4	49-56
Gradiente vertical de temperatura poteenical (K/m) (solo en CARD)	F8.4	57-65
Velocidad de fricción (m/s) (Solo para sedimentación seca o húmeda)	F9.4	49-57 (66-74 para CARD)
Longitud de Monin-Obukhov (m) (Solo para sedimentación seca o húmeda)	F10.1	58-67 (75-84 para CARD)
Longitud de la superficie de rugosidad (m) (Solo para sedimentación seca o húmeda)	F8.4	68-75 (85-92 para CARD)
Código de precipitación (00-45) (Solo para sedimentación húmeda)	I4	76-79 (93-96 para CARD)
Tasa de Precipitación (mm/hr) (Solo para sedimentación húmeda)	F7.2	80-86 (97-103 para CARD)

Especificación de información de la estación

Se usan dos códigos para especificar la información sobre estaciones meteorológicas, SURFDATA para la estación meteorológica superficial, y UAIRDATA para la estación de aire superior que se usa para determinar alturas de mezclado. La sintaxis y tipo de estas palabras clave se resumen en los anexos en la tabla A.23.

Donde Stanum es el número de estación, e.g., el número WBAN de 5 dígitos para estaciones del NWS, Year es el año de los datos que se procesan (2 ó 4 dígitos), Name es un campo alfanumérico opcional (hasta 40 caracteres sin espacios) que indican el nombre de la estación.

Especificación de un periodo de datos para procesar

Hay dos códigos que le permiten al usuario especificar determinados días o rangos de días para procesar de un archivo de datos de entrada secuencial para el modelo ISCST. El código STARTEND controla el período dentro del archivo de datos meteorológicos que se lee en el modelo, mientras que la palabra clave DAYRANGE controla los días o rangos de días (de aquellos que se leen) para procesar en el

modelo.

La sintaxis y tipo del código STARTEND se resumen en la tabla A.24 de los anexos.

Donde los parámetros Strtyr, Strtmn y Strtdy especifican el año, mes y día del primer registro para leer (e.g., 87 01 31 para enero 31, 1987), y los parámetros Endyr, Endmn y Enddy especifican el año, mes y día del último registro para procesar. Los parámetros Strthr y Endhr son opcionales y pueden usarse para especificar la hora inicial y final para el período de datos a leer.

La sintaxis y tipo del DAYRANGE se resumen en los anexos en la tabla A.25.

Donde el parámetro Range especifica determinados días o rangos de días para procesar. Los días pueden especificarse como días individuales (e.g. 1 2 3 4 5) o como un rango de días (e.g., 1-5). El usuario tiene también la opción de especificar números de días Julianos, de 1 a 365 (366 para años bisiestos), o especificar el mes y el día (1/31 para enero 31) o también usar combinación de estos.

2.5.2. Altura del anemómetro

Es la altura sobre el nivel del suelo a la cual se recolectaron los datos de velocidad del viento. Debido a que los modelos ajustan las velocidades del viento de entrada, desde la altura del anemómetro hasta la altura de descarga, la especificación exacta de la altura del anemómetro es importante para obtener resultados correctos del modelo.

La sintaxis y tipo de la palabra clave ANEMHGHT se muestran en la tabla A.22 de los anexos.

Donde el parámetro Zerf es la altura del anemómetro sobre el nivel del suelo, y el parámetro optativo Zrunit se usa para especificar las unidades de Zerf.

2.5.3. Corrección de la dirección del viento

El código WDROTATE permite al usuario corregir los datos meteorológicos de entrada en los problemas de alineación de dirección del viento. Todas las direcciones del viento de entrada o vectores de flujo se rotan una cantidad especificada por el usuario. Debido a que los resultados del modelo en determinados receptores son con frecuencia bastante sensitivos a la dirección del viento de transporte, éste código

opcional debe usarse solo con extremo cuidado y con una clara justificación.

2.5.4. Velocidad del viento

Se permite variar algunos de los parámetros en cuanto a la categoría de velocidad del viento. Algunos ejemplos son los exponentes del perfil de la velocidad del viento especificados por el usuario, gradientes térmicos potenciales verticales, y factores de tasa de emisión variable. El modelo usa seis categorías de velocidad del viento y se definen por el límite superior de la velocidad del viento para las primeras cinco categorías (la sexta categoría se supone que no tiene ningún límite superior). Los valores predefinidos para las categorías de velocidad del viento son como sigue: 1.54, 3.09, 5.14, 8.23, y 10.8 m/s. La sintaxis y tipo del código WINDCATS, la cual puede usarse para especificar los distintos límites de las categorías, se resumen en los anexos, en la tabla A.26.

Donde los parámetros Ws1 a Ws5 son los límites de velocidad del viento para las primeras cinco categorías en metros por segundo. Los valores del límite superior son inclusivos, i.e., una velocidad del viento igual al valor de Ws1 se colocará en la primera categoría de velocidad del viento.

2.5.5. Exponentes del perfil de velocidad

Aunque el modelo usa exponentes del perfil de velocidad del viento predefinidos si se selecciona la opción por defecto (ver CO MODELOPT en la Sección 3.3.2), en otras aplicaciones el usuario puede especificar exponentes del perfil de velocidades del viento a través del código WINDPROF en la ruta ME. La sintaxis y tipo de este código se resumen en la tabla A.27 de los anexos

Donde el parámetro Stab especifica la categoría de estabilidad para los siguientes seis valores y Prof1 hasta Prof6 son los exponentes del perfil de la velocidad del viento para cada una de las seis categorías de velocidad del viento.

```
ME WINDPROF  A  6*0.07
ME WINDPROF  B  6*0.07
ME WINDPROF  C  6*0.10
ME WINDPROF  D  6*0.15
ME WINDPROF  E  6*0.35
ME WINDPROF  F  6*0.55
```

Figura 2.7 Exponentes de perfil de velocidad predefinidos

El ejemplo que se muestra en la figura 2.7 se da los exponentes predefinidos para el modo rural, e ilustra el uso de un valor repetido para aplicar los exponentes a todas las seis categorías de velocidad del viento:

2.5.6. Gradiente de Temperatura

Aunque el modelo usa gradientes térmicos verticales potenciales predefinidos si se selecciona la opción por defecto (ver CO MODELOPT en la Sección 3.3.2), para otras aplicaciones el usuario puede especificar exponentes del perfil del viento a través del código DTHETADZ en la ruta ME. La sintaxis y tipo de este se resumen en los anexos en la tabla A.28

Donde el parámetro Stab especifica la categoría de estabilidad para los correspondientes seis valores, y Dtdz1 hasta Dtdz6 son los gradientes térmicos potenciales verticales para cada una de las seis categorías de velocidad del viento.

El ejemplo que se puede ver en la figura 2.8 da los valores predefinidos de DTDZ, e ilustra el uso de un valor repetido para aplicar los datos de entrada a todas las seis categorías de velocidad del viento.

2.6. Opciones del terreno

La ruta TG contiene los códigos que definen los datos de terreno cuadriculado de entrada que se usan para calcular la reducción seca de la pluma en terreno elevado o complejo.

```
ME DTHETADZ  A  6*0.00
ME DTHETADZ  B  6*0.00
ME DTHETADZ  C  6*0.00
ME DTHETADZ  D  6*0.00
ME DTHETADZ  E  6*0.020
ME DTHETADZ  F  6*0.035
```

Figura 2.8 Ejemplo de gradientes térmicos verticales predefinidos

El código TG LOCATION es usado para especificar la ubicación de los datos de la cuadrícula del terreno relativo a las coordenadas del sistema usado para definir las ubicaciones de la fuente y el receptor.

El archivo de los datos de la cuadrícula del terreno pueden estar en coordenadas UTM, mientras que las coordenadas de la fuente y receptor pueden estar en un sistema de coordenadas especificado por el usuario, tal como coordenadas en planta.

La sintaxis y el tipo del código se muestran en los anexos, en la tabla A.29 de los anexos.

En donde los parámetros Xorig y Yorig son los valores necesitados para transformar las ubicaciones dadas para fuentes y receptores en las coordenadas especificadas por el usuario a coordenadas UTM. Las coordenadas del usuario se transforman agregando Xorig y Yorig a las coordenadas X y Y, respectivamente, de las fuentes y receptores.

El archivo de terreno cuadriculado contiene 1 registro a la cabeza, seguido de cualquier número de registros de datos. El archivo se lee como ASCII de formato libre. El registro a la cabeza contiene la siguiente información:

nx, ny, xllm, yllm, xurm, yurm, sizem

Donde:

nx, ny número de puntos en las direcciones X (al este) y Y (al norte);

xllm, yllm coordenadas UTM (en metros) del punto en la esquina inferior izquierda del cuadriculado;

xurm, yurm coordenadas UTM (en metros) del punto en la esquina superior derecha del cuadriculado;

sizem espaciamiento entre puntos del cuadriculado en ambas direcciones X y Y, en metros.

Los registros de datos se ordenan por filas. La primera fila contiene nx elevaciones de terreno ordenadas de oeste a este, empezando en el punto (XLLM, YLLM). La fila 2 contiene los datos para la siguiente fila al norte en el cuadriculado. Hay un total de ny filas de datos en el archivo de terreno cuadriculado.

2.7. Opciones de salida

Como su nombre indica la ruta de salida OU contiene los datos que definen las opciones de salida para la ejecución del modelo. El modelo ISCST tiene tres códigos que controlan distintos tipos de información de salida tabular para el principal archivo de información de salida en el modelo, y cuatro palabras clave que controlan las distintas opciones en el archivo de información de salida con propósitos especiales.

2.8. Ejecución del modelo

En el anexo E podemos observar un ejemplo del fichero que se introduce como archivo de entrada, cuyo nombre debe ir seguido del nombre del archivo ejecutable y antes del nombre del archivo de salida en la línea de comando de la pantalla de DOS, de esta manera se puede ejecutar el modelo y realizar la simulación deseada.

CAPITULO 3

3. APLICACIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN EN LA CENTRAL TERMICA DE TARRAGONA

En este apartado se realizará una discusión a cerca de la selección de cada uno de los parámetros que el modelo ISC3 tiene disponible para que las inmisiones que se producen debido a esta central sean mas cercanas a la realidad, para lo cual plantearemos las decisiones tomadas en cada una de las opciones que hemos descrito en el capítulo anterior.

3.1. Selección de las Opciones de Control

Para las opciones disponibles de dispersión hemos tomado en cuenta los siguientes parámetros:

- Se calcularán los valores de concentración.

- Debido a que la sedimentación seca es despreciable para gases y para partículas menores a 1um, y además que la sedimentación húmeda no es aplicable ya que tanto el óxido de azufre y los óxidos nítricos se oxidan rápidamente en la atmósfera para formar ácido sulfúrico y ácido nítrico respectivamente, no tomaremos en cuenta ninguno de estos dos fenómenos para la simulación.

- Para el caso de la opción del medio, se ha utilizado el criterio de uso de la tierra (Dawidowski Laura et al 1998), seleccionándose el tipo urbano, debido a que la central se encuentra en un polígono industrial Tarragona.

- No se toma en cuenta la estela producida por los edificios cercanos ya que no se cumplen las condiciones que se especifican en el volumen II de la guía del usuario de este modelo. Por lo tanto se aplica un ascenso gradual de la pluma.

- Se utiliza la caída de flujo debido a la estela producida por el extremo de la chimenea y el ascenso de la pluma debido a flotación, ya que no se cumplen las condiciones para utilizar las ecuaciones de Schulman-Scire para caída de flujo, descritos en el Volumen II de la Guía de Usuario de este modelo.

- Se tomará en cuenta los algoritmos de terreno simple, complejo e intermedio, ya que existen variaciones en la topografía del terreno que no nos permite especificar solamente una de estas opciones.

- Usaremos la rutina para procesar los datos no encontrados o faltantes.

- Hemos seleccionado un tiempo promedio de 1h, 24h, y anual para este estudio, ya que según la normativa los valores límite y umbrales de inmisión de exposición humana, está estipulada en estos márgenes de tiempo.

- Los contaminantes seleccionados a analizar son el SO_2 y NO_2,

- En el caso de la vida media se utilizará para el SO_2 de 4 horas ya que este valor es recomendado por la EPA.

- En el caso del proyecto objeto de este estudio, el principal contaminante a considerar es el NO_2.

Tanto en los datos de emisión como en la aplicación del modelo los valores presentados de NOx corresponden al NO_2, es decir, se parte de la relación:

$$NOx/NO_2 = 1$$

No se ha considerado las diferentes formas en que puede presentarse este gas en la emisión y las reacciones subsecuentes que determinan una vida media en función de diferentes factores.

Así el NO generado en las instalaciones se transforma rápidamente en NO_2 según la reacción:

$$NO_2/NO\ (1-e^{(693t/\lambda)})$$

siendo λ de 10 minutos.

El esquema real de transformación en términos de las reacciones elementales es muy complejo e involucra a cientos de ecuaciones que caen fuera del alcance de este trabajo.

Como resumen puede indicarse que una vez en la atmósfera las principales reacciones corresponden a:

$$\text{a) } NO_2 + \lambda\upsilon \xrightarrow{k_1} NO + O$$

$$\text{b) } O + O_2 + M \xrightarrow{k_2} O_3 + M$$

$$\xrightarrow{k_3}$$

c) $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$

siendo $[NO_2] = k_3/k_1 [O_3] [NO]$

El efecto de estas reacciones se ha introducido en el modelo como factor de desactivación de 2 horas para este contaminante.

- Se ha seleccionado la opción ELEV, en la que se especificará la altura que posee cada punto del área seleccionada para el estudio, dados por el mapa topográfico de la zona, facilitados por cartografía de l'Institut Cartogràfic de Catalunya

- Escogeremos la opción NOT en el código RUNORNOT que permite detener la ejecución del programa cuando encuentra cualquier tipo de error, de esta manera nos podemos dar cuenta en donde estamos cometiendo algún error y poder rectificarlo.

3.2. Selección de las opciones de la fuente

Se ha seleccionado fuentes puntuales de emisión de contaminantes debido a que la central consta de dos chimeneas, que se colocan de acuerdo al sistema UTM de coordenadas en el huso 31, cuya descripción es la siguiente:

Chimenea 1.- Denominada en el modelo como STACK1, que es una chimenea de 60 metros de altura y 6,4 m de diámetro, que está

emitiendo los gases producidos por la turbina de gas del ciclo combinado y cuyas coordenadas UTM son:

X: 348245

Y: 4552 500

Chimenea 2.- Denominada en el modelo como STACK2, que es una chimenea de 40 metros de altura y 2,5 m de diámetro, que está emitiendo los gases producidos por la caldera de soporte y cuyas coordenadas UTM son:

X: 348250

Y: 4552 448

Los parámetros de emisión se recogen en tabla 13, facilitados por la central de ciclo combinado y que fueron multiplicados por un factor debido a la confidencialidad de los datos.

Se ha simulado las situaciones que representan una mayor emisión de contaminantes y que pueden producir el mayor impacto atmosférico.

La central funciona con combustible gas-oil durante todo el año y la caldera al 20 % de la carga nominal de funcionamiento.

TABLA 13

PARÁMETROS DE EMISIÓN DE LAS FUENTES

Parámetros	Turbina de Gas		Caldera de soporte 20 % de capacidad	
	GN	Gas oil	GN	Gas oil
Temperatura ºC	91	135	125	125
Velocidad (m/s)	20.94	22.91	1.16	1.18
Carga másica (kg/h) NO_x	136.41	213.01	2.219	4.723
Carga másica (kg/h) SO_2	20.007	237.86	-	3.542

La central funciona con combustible gas natural durante todo el año y la caldera al 20 % de la carga nominal de funcionamiento.

El fichero utilizado para la aplicación del modelo, que sigue el formato y las unidades por defecto que se describen en la sección 3.4.2., se lo puede visualizar en la figura 3.1.

3.3. Selección de las opciones del receptor

Para el estudio se han considerado una malla cuadricular, con una separación de 200 metros entre receptor y receptor.

Para considerar los efectos del terreno se ha introducido, en cada uno de los nodos de las mallas definidas, la cota real del terreno, de acuerdo a la cartografía de Instituto Cartográfico de Cataluña. Una representación gráfica de la misma se recoge en la figura 3.2 en

donde además se señala con el punto rojo la ubicación de la fuente y con puntos color verde las estaciones de medida de los contaminantes.

```
**CASO I. Emisiones de SO2
 SO STARTING
  LOCATION  STACK1  POINT  348245   4552500   16
  LOCATION  STACK2  POINT  348250   4552448   16
** Point Source              QS     HS    TS       VS   DS
** Parameters:                ----   ----     ----     ----     ---
   SRCPARAM STACK1 66.00   60.0   408.  22.91   6.4
   SRCPARAM STACK2  0.98    40.0   398.  1.16    2.5
   SRCGROUP ALL
SO FINISHED
**CASO I. Emisiones de NO2
SO STARTING
   LOCATION  STACK1  POINT  348245   4552500   16
   LOCATION  STACK2  POINT  348250   4552448   16
** Point Source              QS     HS    TS       VS    DS
** Parameters:                ----   ----     ----     ----      ---
   SRCPARAM  STACK1 59.17  60.0   408.   22.94    6.4
   SRCPARAM  STACK2   1.31  40.0   398.    5.90   1.18
   SRCGROUP  ALL
SO FINISHED
**CASO II. Emisiones de SO2
SO STARTING
   LOCATION  STACK1  POINT  348245   4552500   16
   ** Point Source            QS     HS    TS    VS    DS
** Parameters:                ----    ----   ----    ----     ---
   SRCPARAM  STACK1   5.56  60.0  364.  20.94  6.4
     SRCGROUP  ALL
SO FINISHED
**CASO II. Emisiones de NO2
SO STARTING
   LOCATION  STACK1  POINT  348245   4552500   16
   LOCATION  STACK2  POINT  348250   4552448   16
** Point Source              QS     HS    TS       VS    DS
** Parameters:                ----   ----     ----     ----      ---
   SRCPARAM  STACK1 37.89  60.0  364.  20.94   6.4
   SRCPARAM  STACK2   0.62  40.0  398.    1.18   2.5
   SRCGROUP  ALL
SO FINISHED
```

Figura 3.1 Parámetros y valores utilizados en la ruta fuente

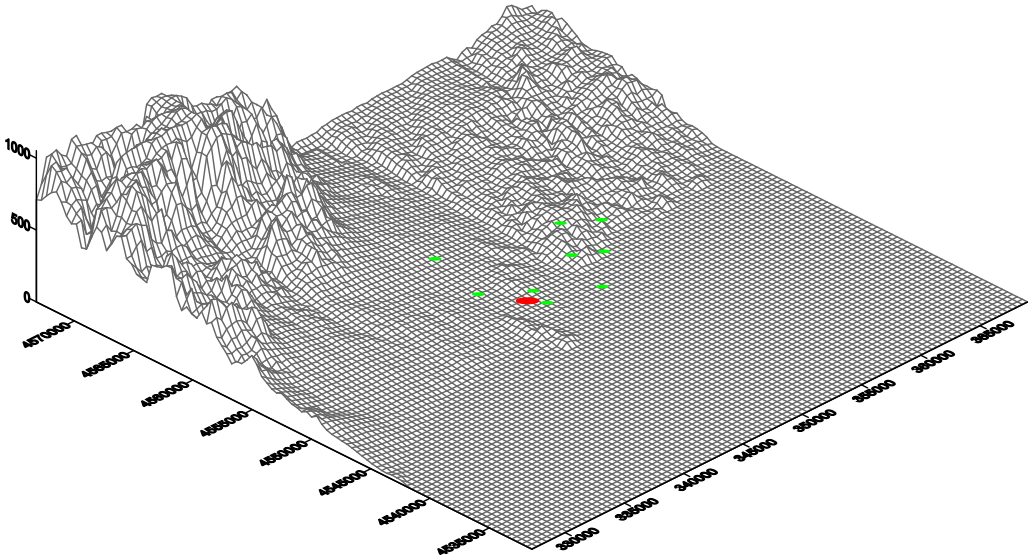


Figura 3.2 Malla topográfica de la zona de estudio

Por último se han introducido en el modelo la ubicación de las estaciones de la Xarxa de Vigilància de la Contaminació Atmosfèrica a efectos de conocer la contribución de la central a los niveles de inmisión actuales. Las estaciones se detallan en la tabla 14.

3.4. Selección de las opciones meteorológicas

Como se muestra en el capítulo anterior es necesario seleccionar los datos de cada hora de un año natural completo de cada variable que se va a utilizar en la ejecución del programa. Por lo tanto el fichero consta de 10 columnas de datos con el respectivo formato de Fortran exigido por el modelo, de las cuales las primeras cuatro son

el año, mes, día y hora, las siguientes variables son: dirección del viento, velocidad del viento, temperatura, estabilidad, altura de mezcla rural y altura de mezcla urbana.

TABLA 14

ESTACIONES DE INMISIÓN DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA EN LA ZONA

Estación	Coordenada UTM		Elevaciones
	X	Y	Z (m)
Constante	350550	4557690	59
La Pobla Mafumet-El Morell	349910	4561470	100.5
Perafort	352230	4561950	100
Reus	342340	4557430	103
Tarragona (Bonavista)	348300	4553400	40
Tarragona (Pl. Generalitat)	352410	4553900	32
Tarragona (Universitat Laboral)	349010	4552030	8
Tarragona (St. Salvador)	352405	4558155	80
Vilaseca	344920	4553050	4

Los datos disponibles que mejor se adaptan a representar las condiciones climatológicas de la estructura del viento del emplazamiento son los de la estación meteorológica de Universidad Laboral debido a que está situada en las cercanías de la central y a los registros de vientos disponibles.

Se ha seleccionado el año 1999-2000 como el año representativo para proceder a la simulación basándonos en el estudio de datos meteorológicos en Tarragona que realizó dicha central, siendo este año el que mas alta correlación presenta con respecto a la media de diez años seguidos, comprendidos entre el año 1989 hasta el año 1999, del que consta el estudio.

Como los datos entregados por la estación meteorológica son en períodos de tiempo de diez minutos se procede a encontrar el promedio para cada hora siguiendo el procedimiento recomendado en el capítulo 6 de Monitoring Metereological Guidance.

CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

Para el cálculo de la estabilidad atmosférica según la clasificación de Pasquill-Gifford, se ha seguido el procedimiento del método de Turner que permite la evaluación de la estabilidad utilizando la velocidad del viento en la superficie, la altitud solar durante el día y la nubosidad durante el día y la noche, cuyo método lo recomienda la EPA y su aplicación práctica se resume en la sección 2.2.5.

Cálculo de la altitud solar

Para obtener la altitud solar para cada hora y día del año en estudio si utilizó las ecuaciones que se describen en la sección 2.2.5.

Utilizando como datos constantes los siguientes:

Latitud del lugar (ϕ): 41,11º

Longitud del lugar (L): 1,19º

Longitud del huso horario de referencia (LR): 0

Adelanto horario (AD): 2 h desde el 27 de marzo al 30 de Octubre

Adelanto horario (AD): 1 h el resto del año.

Nubosidad

La nubosidad se la estima tomando como referencia la nubosidad existente a las 7 horas, 13 horas y 18 horas, de cada día, de acuerdo a los datos proporcionados por la estación meteorológica de “Reus Aeroport “, situada a pocos kilómetros de la central.

El fichero de datos proporcionados por la estación de “Reus Aeroport” consta de las posiciones mostradas en la tabla 15, en el que nubes bajas se refiere a menos de 2000 m, nubes medias entre 2000 m y 6000 m y altas entre 6000 m y 10000 m, con los que realizamos un algoritmo para estimar la nubosidad para cada hora del día, asumiendo que no se pasa de completamente nublado a completamente despejado de una hora a otra.

TABLA 15

POSICIONES DE LA VARIABLE NUBOSIDAD

POSICIONES DE LA VARIABLE NUBOSIDAD	
01-06	CODIGO VARIABLE (010700)
07-11	CUENCA/INDICATIVO HIDROLOGICO
12-15	AÑO DE LA OBSERVACION
16-17	MES DE LA OBSERVACION
18-19	DIA DE LA OBSERVACION
20-21	PRIMERA CLASE NUBES BAJAS 7 HORAS
22-23	SEGUNDA
24-24	TOTAL NUBES BAJAS A 7 HORAS
25-26	PRIMERA CLASE NUBES MEDIAS 7 HORAS
27-28	SEGUNDA
29-30	PRIMERA CLASE NUBES ALTAS 7 HORAS
31-32	SEGUNDA
33-33	TOTAL NUBES A 7 HORAS
34-35	PRIMERA CLASE NUBES BAJAS 13 HORAS
36-37	SEGUNDA
38-38	TOTAL NUBES BAJAS A 13 HORAS
39-40	PRIMERA CLASE NUBES MEDIAS 13 HORAS
41-42	SEGUNDA
43-44	PRIMERA CLASE NUBES ALTAS 13 HORAS
45-46	SEGUNDA
47-47	TOTAL NUBES A 13 HORAS
48-49	PRIMERA CLASE NUBES BAJAS 18 HORAS
50-51	SEGUNDA
52-52	TOTAL NUBES BAJAS A 18 HORAS
53-54	PRIMERA CLASE NUBES MEDIAS 18 HORAS
55-56	SEGUNDA
57-58	PRIMERA CLASE NUBES ALTAS 18 HORAS
59-60	SEGUNDA
61-61	TOTAL NUBES A 18 HORAS

Altura de la capa de mezcla

Para la estimación de la altura de la capa de mezcla se siguieron los criterios facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología para

obtener una adecuada representatividad de los datos meteorológicos. De acuerdo con estos criterios, se ha utilizado la altura de la capa de mezcla propuesta por Klug (1969), para las diferentes estabilidades atmosféricas, mostradas en la tabla 16.

3.5. Selección de las opciones de la cuadrícula del terreno

En las opciones del terreno hemos introducido el fichero con los datos de las cotas reales del terreno ordenados como se especifica en la sección 3.7. con los siguientes datos para el primer registro:

nx: 210

ny: 210

nllm, yllm: (327200 m, 4531400 m) en coordenadas UTM

xurm, yurm (369000 m, 4573200 m) en coordenadas UTM

sizem: 200 m

TABLA 16

ALTURA DE CAPA DE MEZCLA DE ACUERDO A LA ESTABILIDAD

Estabilidad	Altura de Capa de mezcla (m)
A	1500
B	1500
C	1000
D	500
E	200
F	200

3.6. Selección de las opciones de la ruta de salida

En esta parte hemos seleccionado la opción del modelo que nos permite realizar tratamientos especiales con los datos, correspondientes a los valores de máximas concentraciones en cada punto de la malla cuadricular ingresada en la ruta receptor, además de los puntos en los que se encuentran las estaciones de inmisión. Estas máximas concentraciones son escogidas para un promedio de 1h, 24h y el año natural, ya que según la normativa los valores límite y umbrales de inmisión de exposición humana, está estipulada en estos márgenes de tiempo.

En los anexos se coloca un CD con los ficheros de entrada utilizados para cada caso de estudio, contienen además sus respectivos resultados.

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Rosa de frecuencias y rosa de velocidades medias

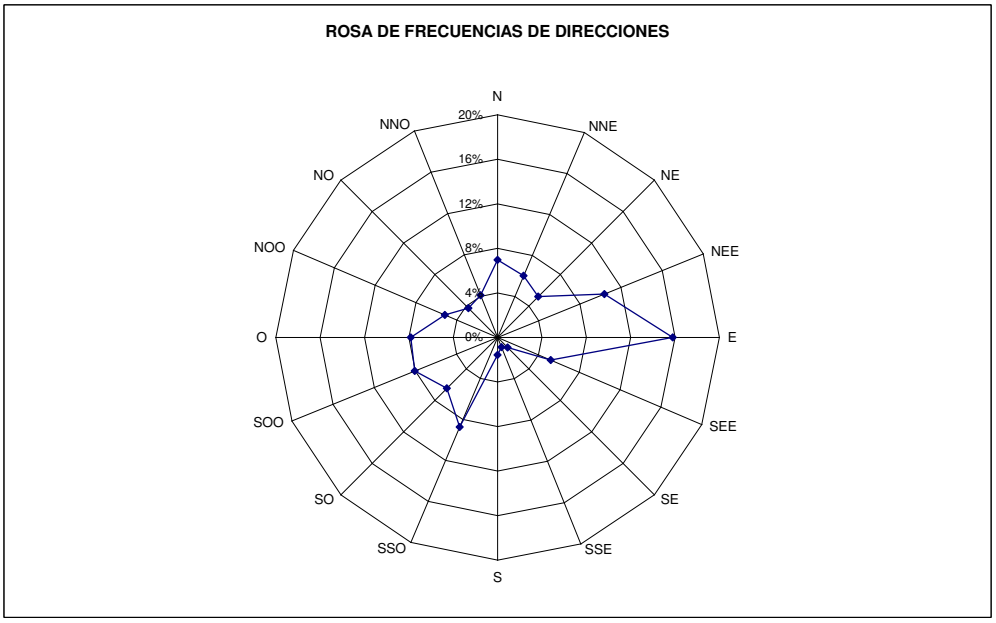


Figura 4.1 Rosa de frecuencias de direcciones

Observando la rosa de frecuencias de direcciones de la figura 4.1 en donde se indica desde dónde está soplando el viento pudimos notar que la dirección del viento predominante durante todo el año es la que se

dirige de este a oeste y las mínimas las que soplan hacia los puntos que comprenden del norte al noroeste

Al analizar las velocidades medias durante el año, que se muestran en la figura 4.2 pudimos observar que las máximas velocidades se producen en los vientos que soplan desde el oeste-sur-oeste, este y oeste. Las mínimas se producen en los vientos que soplan desde los puntos comprendidos entre el noreste y el noroeste, y por el otro extremo entre el sur y el sur-este.

El análisis de los resultados lo haremos para los dos casos en los que mayor emisión de contaminantes se está produciendo, que se describieron en la sección 4.2.

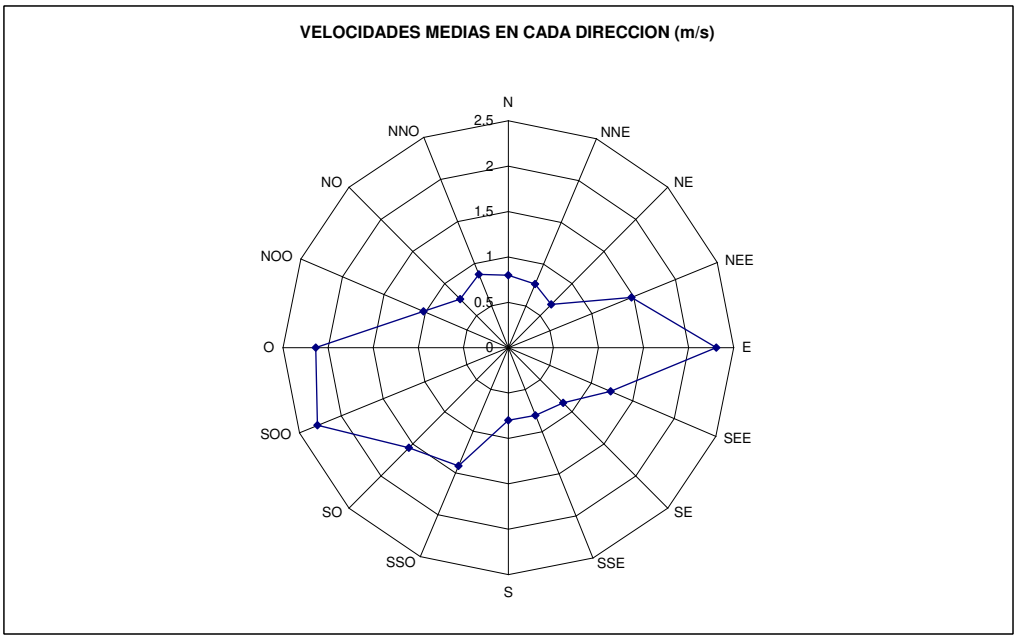


Figura 4.2 Velocidades medias en cada dirección en m/s

CASO I

- ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE SO_2

Promedio Anual

En el caso de que el terreno fuera completamente plano, es decir, sin ingresar sus cotas reales, y tomando en cuenta las concentraciones máximas que se generan en cada punto de la malla considerada, en el año seleccionado, tenemos el resultado gráfico que se muestra en la figura 4.3, en donde claramente se observa que las máximas concentraciones se encuentran al este de la fuente que se denota por el punto rojo, que aunque la dirección predominante del viento no es en esa dirección sino en la contraria podemos deducir que las velocidades en este sector son más pequeñas. Además se puede notar que hacia el norte en donde la frecuencia del viento es pequeña las concentraciones también son pequeñas.

En la tabla 17 mostramos los valores de las diez máximas concentraciones con sus respectivas distancias hasta el foco emisor. Los valores negativos de las X o de las Y quiere decir que están en dirección oeste y sur respectivamente.

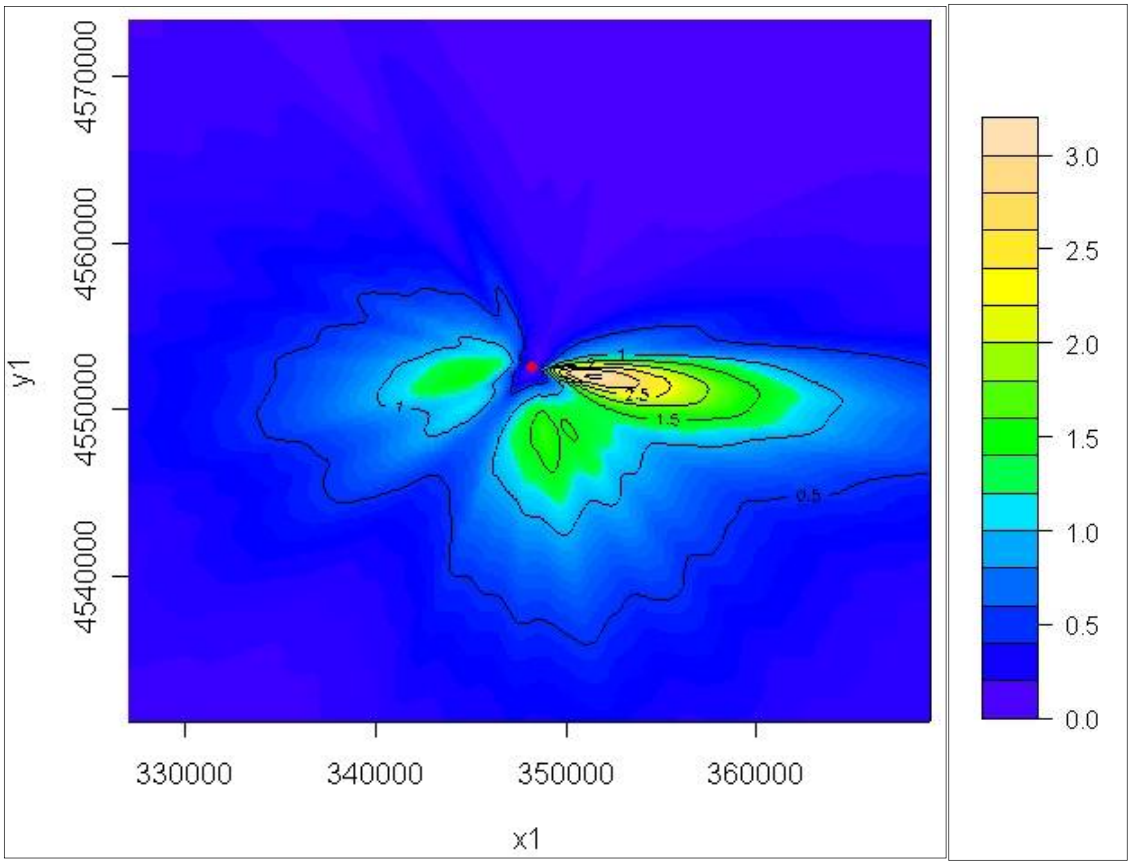


Figura 4.3 Concentraciones de SO_2 sin elevación promedio anual.

TABLA 17

CONCENTRACIONES DE SO_2, DISTANCIAS A LA FUENTE

	Concentración promedio anual ($\mu g/m^3$)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	3.56351	3200	-500	0
2	3.55456	3400	-500	0
3	3.55025	3000	-500	0
4	3.52829	3600	-500	0
5	3.50881	2800	-500	0
6	3.49292	3600	-700	0
7	3.48854	3800	-500	0
8	3.4861	3800	-700	0
9	3.47838	3400	-700	0
10	3.46256	4000	-700	0

Los resultados gráficos una vez introducidas las cotas del terreno se muestran en la figura 4.4, en donde se observa que se mantienen las máximas concentraciones en la dirección este del foco contaminante, y que las máximas concentraciones son menores que en el caso anterior.

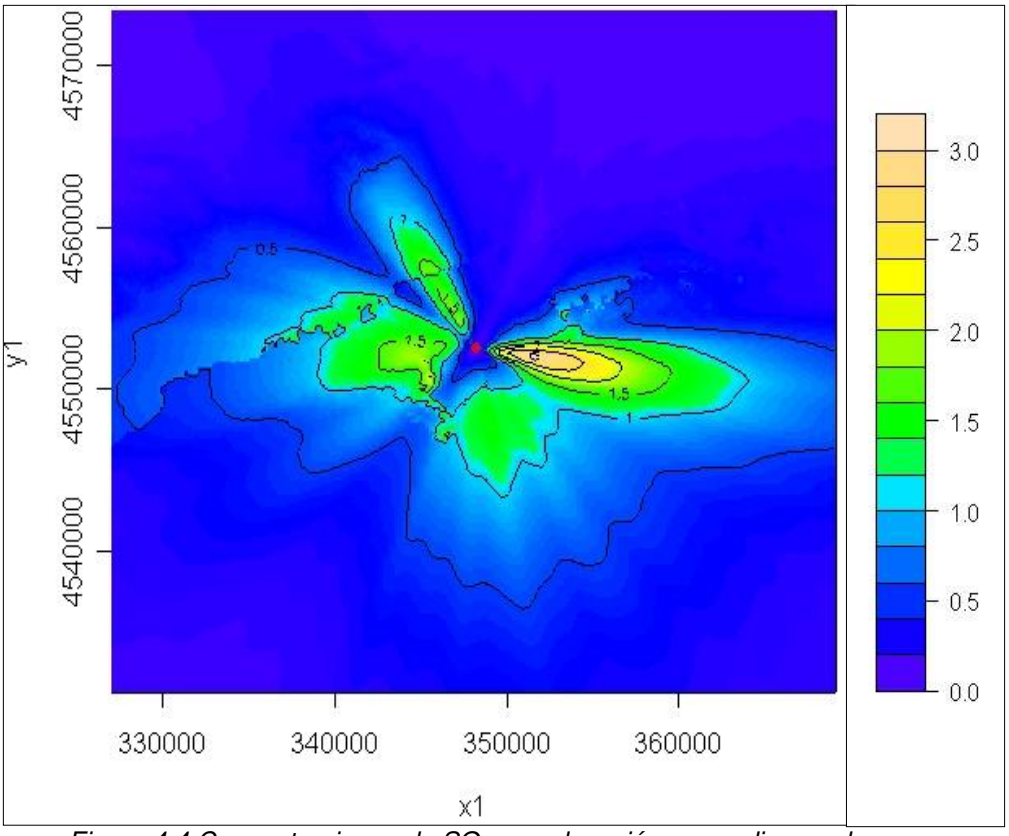


Figura 4.4 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio anual

También se observa que los valores de concentración son más altos en los puntos del terreno que están a una altura mayor a la de la

fuente comparadas con las concentraciones en el mismo punto si fuera el terreno plano.

Debido a la topografía del terreno aparecen concentraciones considerables en lugares donde existen cualquier tipo de elevaciones.

Pudimos notar que las concentraciones alrededor de la fuente son muy pequeñas y van aumentando hasta que llegan a un valor máximo para luego ir disminuyendo.

En la tabla 18 mostramos los valores de las diez máximas concentraciones con sus respectivas distancias hasta el foco emisor y sus elevaciones. Los valores negativos de las X o de las Y quiere decir que están en dirección oeste y sur respectivamente.

TABLA 18

CONCENTRACIONES DE SO_2, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio anual ($\mu g/m^3$)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	3.12252	3400	-500	5.2
2	3.08872	3600	-500	4.4
3	3.07972	3200	-500	4.4
4	3.00306	2800	-500	4.8
5	3.00261	3400	-700	4.1
6	2.99424	3200	-300	5.1
7	2.98675	4200	-700	2.7
8	2.98154	3400	-300	5.1
9	2.96673	3000	-300	4.4
10	2.9301	4400	-700	1.6

Promedios de una hora

Los valores máximos de concentraciones generados en cada punto durante un tiempo promedio de una hora, los podemos visualizar en la figura 4.5 y los 20 máximos valores con sus respectivas distancias a la fuente y elevaciones se los puede ver en la tabla 19, al igual que en el caso anterior cantidades negativas en X o Y denotan el oeste y el sur respectivamente.

Nos dimos cuenta que se generan concentraciones despreciables en la dirección donde el viento casi no sopla durante todo el año que es en la dirección nornoroeste (NNO).

Se pudo observar que las máximas concentraciones se producen en los puntos en los que sus cotas son mayores o similares a las de la altura de la fuente.

Las concentraciones máximas generadas asumiendo que el terreno es completamente plano, que se muestran en la figura 4.6 y los 20 máximos valores en la tabla 20, mostraron que para las mismas coordenadas los valores de las concentraciones son mucho menores que cuando se introdujo la topografía.

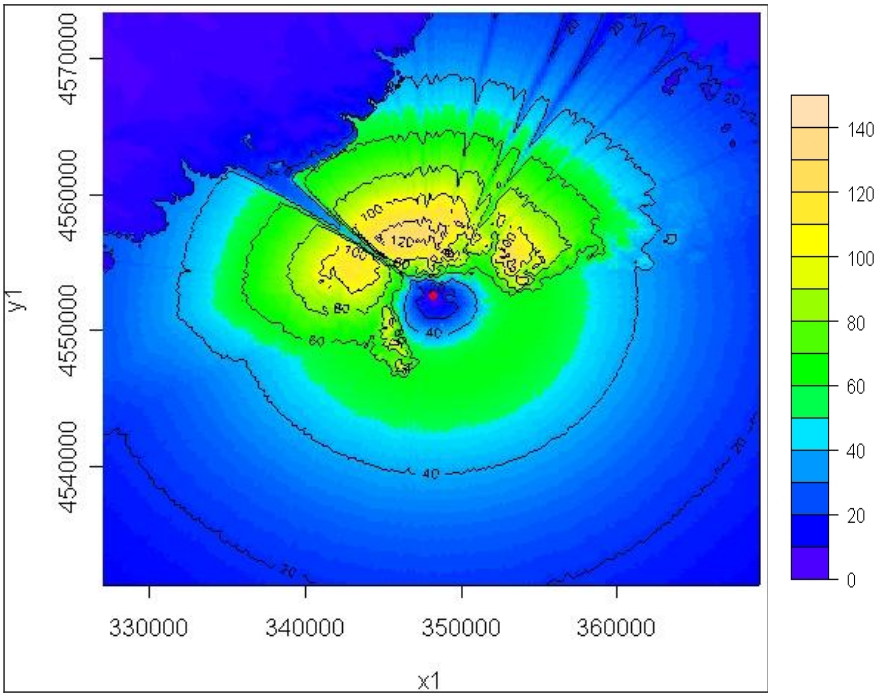


Figura 4.5 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio una hora

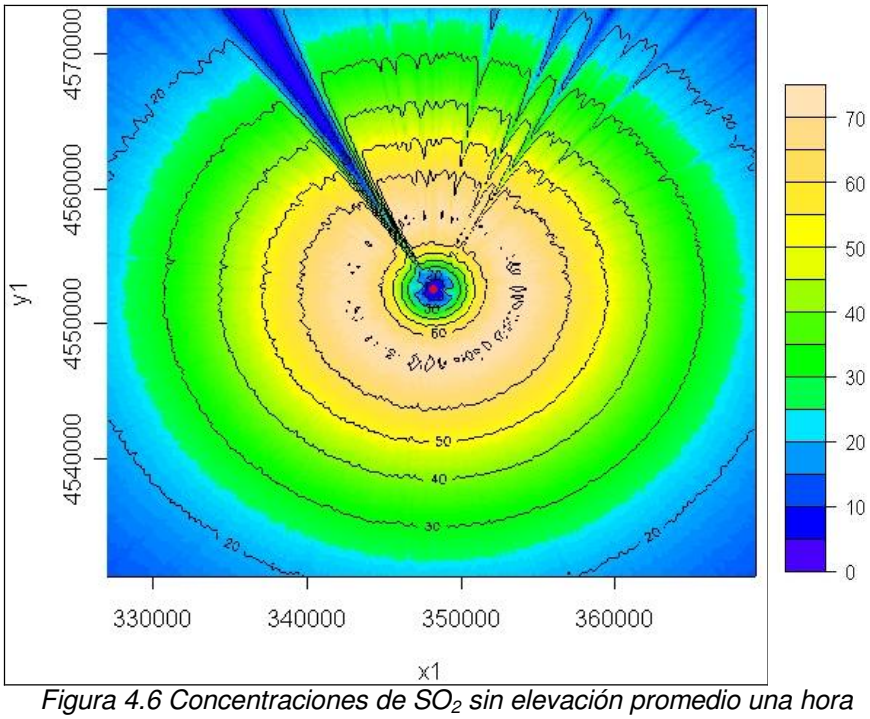


Figura 4.6 Concentraciones de SO_2 sin elevación promedio una hora

TABLA 19

CONCENTRACIONES DE SO_2, PROMEDIO HORARIO, DISTANCIA A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio horaria ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	145.1417	99082322	755	3300	78.4
2	144.3159	99072423	955	3300	76.6
3	143.5621	99072423	955	3100	79.2
4	139.4519	99060123	955	3100	79.2
5	138.8193	99102219	955	3300	76.6
6	138.2382	99050920	955	3100	79.2
7	138.1552	99091509	1155	3100	73.6
8	135.7604	99040603	755	3300	78.4
9	135.6175	99041420	755	3300	78.4
10	135.079	99110118	755	3300	78.4
11	134.7496	99120616	955	3300	76.6
12	133.9305	99072207	355	4100	71.9
13	132.3669	99012621	955	3300	76.6
14	132.259	99081506	355	4100	71.9
15	131.8748	99012621	955	3100	79.2
16	131.7762	99091822	-45	2700	71.8
17	130.3712	99102219	955	3100	79.2
18	129.7084	99061606	-45	2700	71.8
19	128.997	99080123	-2045	4700	75.6
20	128.7948	99072323	-445	4300	69.9

Se pudo observar en la misma figura 4.6 que se generan concentraciones muy pequeñas cerca de la fuente que van aumentando hasta cierto punto para luego empezar nuevamente a disminuir. La distribución de concentraciones máximas sobre el terreno es casi uniforme a excepción del sector en donde no se ha producido viento durante el año que es el nornoroeste (NNO).

TABLA 20

CONCENTRACIONES DE SO_2, PROMEDIO HORARIO, DISTANCIA A LA FUENTE SIN ELEVACIÓN

	Concentración promedio horaria ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)
1	71.16281	99090208	-1245	-5100
2	70.72388	99082609	-2845	-4900
3	70.65794	99081001	-2845	-4500
4	70.62147	99082722	5155	1300
5	70.58963	99091008	4955	-2900
6	70.58485	99082422	-1245	-5500
7	70.56966	99082323	5555	-500
8	70.56004	99082323	5355	-500
9	70.54971	99081707	4955	1700
10	70.53884	99090208	-1445	-5900
11	70.53674	99080424	2755	-4500
12	70.5246	99082723	-245	-5300
13	70.52397	99080824	4155	-3300
14	70.52309	99082223	-645	5300
15	70.51537	99083001	5355	100
16	70.51155	99090122	2155	-4700
17	70.50311	99081007	5355	-1300
18	70.50068	99081707	5355	1900
19	70.50035	99083001	5555	100
20	70.48531	99082322	1155	5100

Promedios de 24 horas

Los valores máximos de concentraciones en un promedio de tiempo de 24 horas con las cotas de terreno respectivas se las puede visualizar en la figura 4.7 y los veinte máximos valores se muestran en la tabla 21, con sus respectivas distancias hasta la fuente y elevaciones

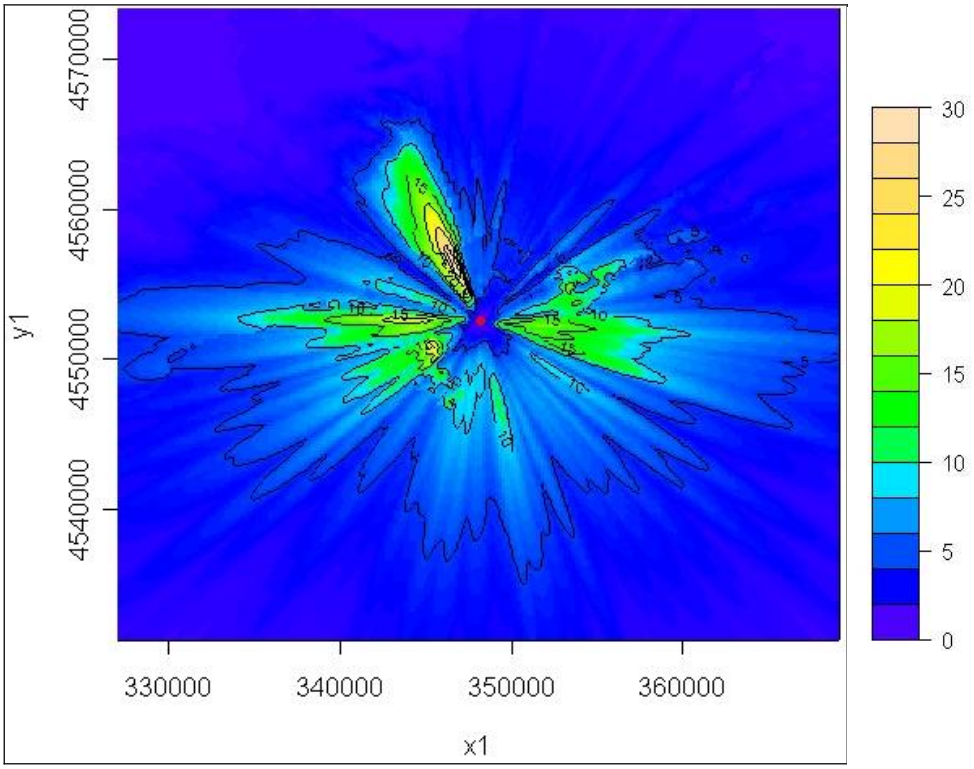


Figura 4.7 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio 24 horas

Como pudimos observar las máximas concentraciones se generaron en puntos donde las elevaciones son muy cercanas a la altura en el que se encuentra el foco emisor y al noroeste del mismo, además pudimos notar que las máximas concentraciones se produjeron el mismo día en diferentes puntos, lo que quiere decir que en ese día las condiciones atmosféricas son las menos favorable para la dispersión

TABLA 21

CONCENTRACIONES DE SO_2, 24 HORAS, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio en 24horas ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	32.85121	99081624	-1445	3500	62.3
2	32.76187	99081624	-1245	3100	59.3
3	31.9788	99081624	-1645	3900	64.8
4	31.86309	99081624	-1445	3300	59.4
5	31.59611	99081624	-1845	4300	70.8
6	31.55837	99081624	-1645	4100	67.2
7	31.55351	99081624	-845	2100	56.5
8	31.55205	99081624	-1645	3700	64.2
9	31.49555	99081624	-1445	3700	63.2
10	31.2581	99081624	-1845	4500	72.4
11	31.01472	99081624	-2045	4900	78.6
12	30.82241	99081624	-1245	2900	53.5
13	30.46868	99081624	-2045	4700	75.6
14	30.30489	99081624	-1245	3300	58.8
15	30.17003	99081624	-2045	5100	81.8
16	30.14516	99081624	-1845	4700	74.9
17	29.93347	99081624	-1645	4300	69.3
18	29.92578	99081624	-1845	4100	66.1
19	29.79177	99081624	-1445	3100	58.6
20	29.59449	99081624	-1645	3500	63.4

- ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE NO_2

Promedios de una hora

Los resultados obtenidos para las concentraciones máximas para un promedio de tiempo de una hora los podemos observar en la figura 4.8 y los máximos 20 valores con sus respectivas coordenadas, fechas y elevaciones en la tabla 22.

Pudimos notar que las máximas concentraciones se producen en el noreste y en puntos que se encuentran a una altura aproximada a la de la fuente y a las distancias que se muestran en la tabla 22.

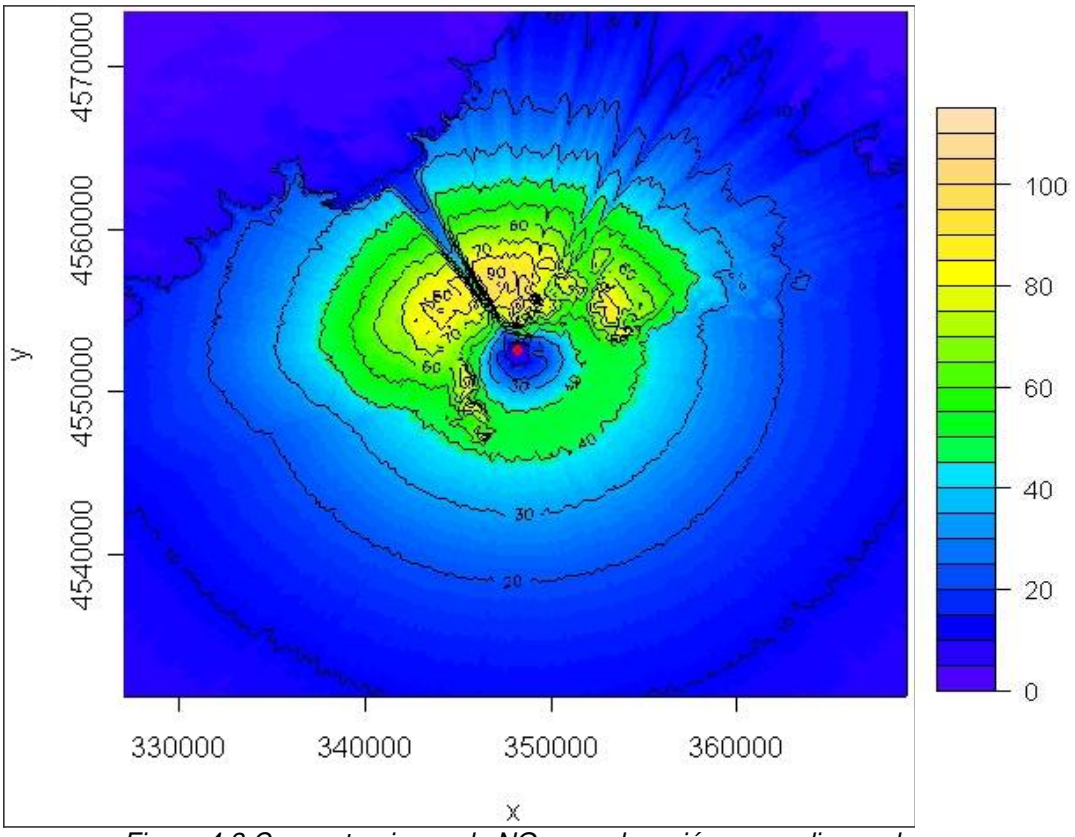


Figura 4.8 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio una hora

Se observó que las máximas concentraciones horarias de NO_2 se localizan en el mismo sector que las máximas concentraciones de SO_2, y muy cercanos entre sí. También nos pudimos dar cuenta que en el mismo punto se pueden generar en varias ocasiones altas concentraciones en diferentes fechas del año como en el caso de los numerales 13 y 17 de la tabla 5-6.

TABLA 22

CONCENTRACIONES DE NO_2, UNA HORA, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio horaria ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	113.4792	99082322	755	3300	62.3
2	113.1878	99072423	955	3100	59.3
3	112.4935	99072423	955	3300	64.8
4	109.898	99060123	955	3100	59.4
5	108.9904	99050920	955	3100	70.8
6	108.5794	99091509	1155	3100	67.2
7	108.5584	99012621	955	3100	56.5
8	108.4298	99041420	755	3300	64.2
9	108.3189	99102219	955	3300	63.2
10	108.0645	99012621	955	3300	72.4
11	107.6082	99091822	-45	2700	78.6
12	106.2331	99040603	755	3300	53.5
13	105.9529	99061606	-45	2700	75.6
14	105.6095	99110118	755	3300	58.8
15	105.2061	99120616	955	3300	81.8
16	104.2528	99062407	1155	3100	74.9
17	103.6916	99070802	-45	2700	69.3
18	102.9014	99102219	955	3100	66.1
19	102.7226	99062407	955	3100	58.6
20	102.1581	99081705	155	2700	63.4

Promedio de 24 horas

Las máximas concentraciones en tiempos promedios de 24 horas se pueden ver en la figura 4.9 y en la tabla 23 se muestran los 20 máximos valores para este caso con la misma denotación que en la tabla 22.

Como ocurrió con el SO_2 los valores máximos de concentraciones generados se produjeron en el mismo día y en el mismo sector.

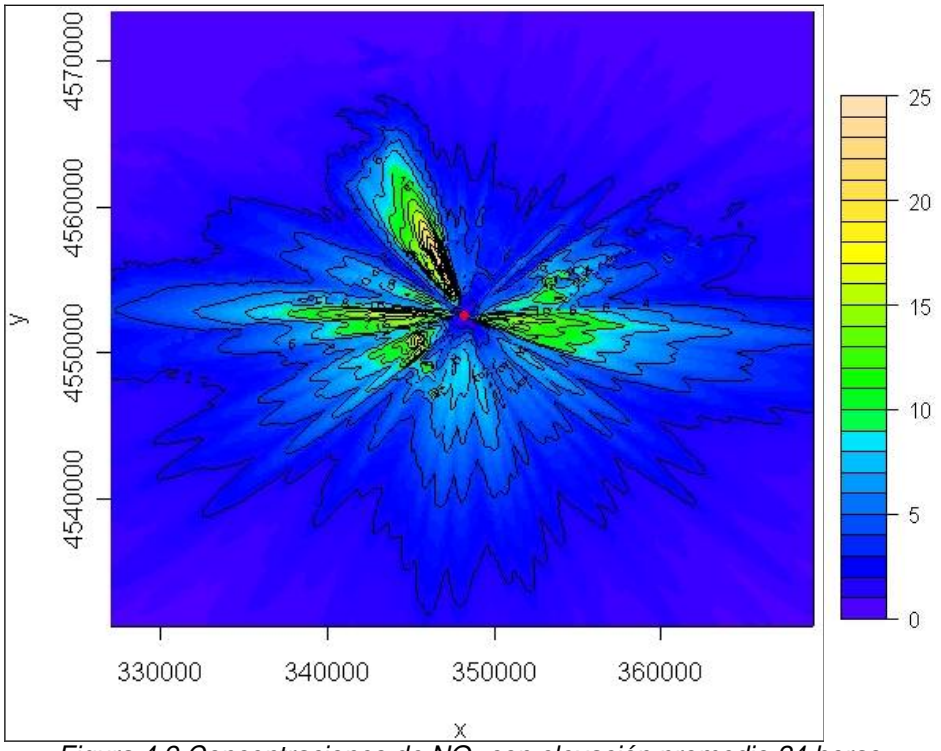


Figura 4.9 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio 24 horas.

Promedio anual

En la figura 4.10 se puede observar gráficamente las máximas concentraciones que se producen en cada punto de la malla de receptores en la que trabajamos y en la tabla 24 podemos ver los máximos 10 valores que se producen en el año escogido.

Pudimos notar que las máximas concentraciones se producen en la dirección este (E) que es en una de las direcciones donde el viento sopla con frecuencia y aunque no es predominante si de menor

velocidad que en el oeste que es la dirección que más veces ha soplado el viento durante todo el año.

TABLA 23

CONCENTRACIONES DE NO_2, 24 HORAS, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio en 24 horas ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	24.05856	99081624	-845	2100	56.5
2	24.04049	99081624	-1245	3100	59.3
3	23.30909	99081624	-1445	3500	62.3
4	23.2162	99081624	-1445	3700	63.2
5	23.01564	99081624	-1245	3300	58.8
6	22.60349	99081624	-1645	4100	67.2
7	22.08528	99081624	-1645	4300	69.3
8	21.99767	99081624	-1445	3900	64.3
9	21.97671	99081624	-1645	3900	64.8
10	21.76381	99081624	-1845	4500	72.4
11	21.68195	99081624	-1845	4700	74.9
12	21.55154	99081624	-1245	2900	53.5
13	21.52665	99012124	-2645	-1700	52.8
14	21.4338	99081624	-1445	3300	59.4
15	21.34015	99100624	-2645	-1700	52.8
16	21.11434	99081624	-1245	3500	59.6
17	21.11258	99081624	-1045	2700	48
18	21.03756	99081624	-1845	4300	70.8
19	20.72539	99081624	-1645	4500	71.4
20	20.46895	99081624	-1645	3700	64.2

Los puntos de la malla en los que se generan las máximas concentraciones tanto para el SO_2 y el NO_2 coinciden en los dos contaminantes en todos los promedios considerados, esto quiere decir

que la dispersión de los contaminantes está dominada por las situaciones meteorológicas y topográficas del emplazamiento.

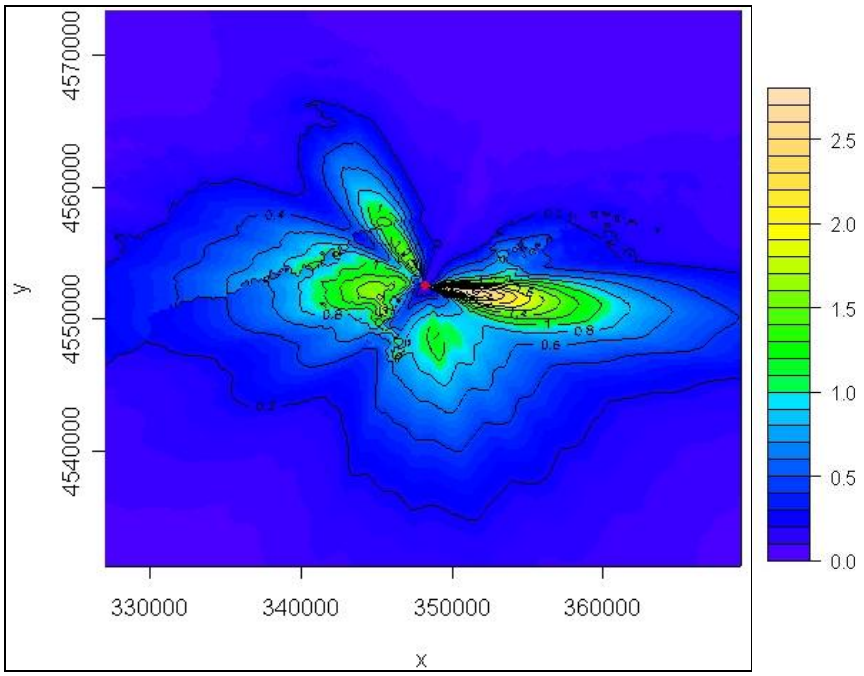


Figura 4.10 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio anual

TABLA 24

CONCENTRACIONES DE NO_2, DISTANCIAS A LA FUENTE.

	Concentración promedio anual ($\mu g/m^3$)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	2.67278	3355	-500	5.2
2	2.65631	3155	-500	4.4
3	2.63204	2755	-500	4.8
4	2.6259	3555	-500	4.4
5	2.58533	3155	-300	5.1
6	2.58215	2955	-300	4.4
7	2.56231	3355	-700	4.1
8	2.55532	3355	-300	5.1
9	2.52687	2555	-300	3
10	2.50211	2955	-500	0

CASO II

- ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE SO_2

Promedio anual

Pudimos observar claramente en la figura 4.11 que las máximas concentraciones anuales en la malla de receptores tienen sus máximos valores al este de la fuente, sus respectivas distancias en X e Y y sus elevaciones se pueden ver en la tabla 25.

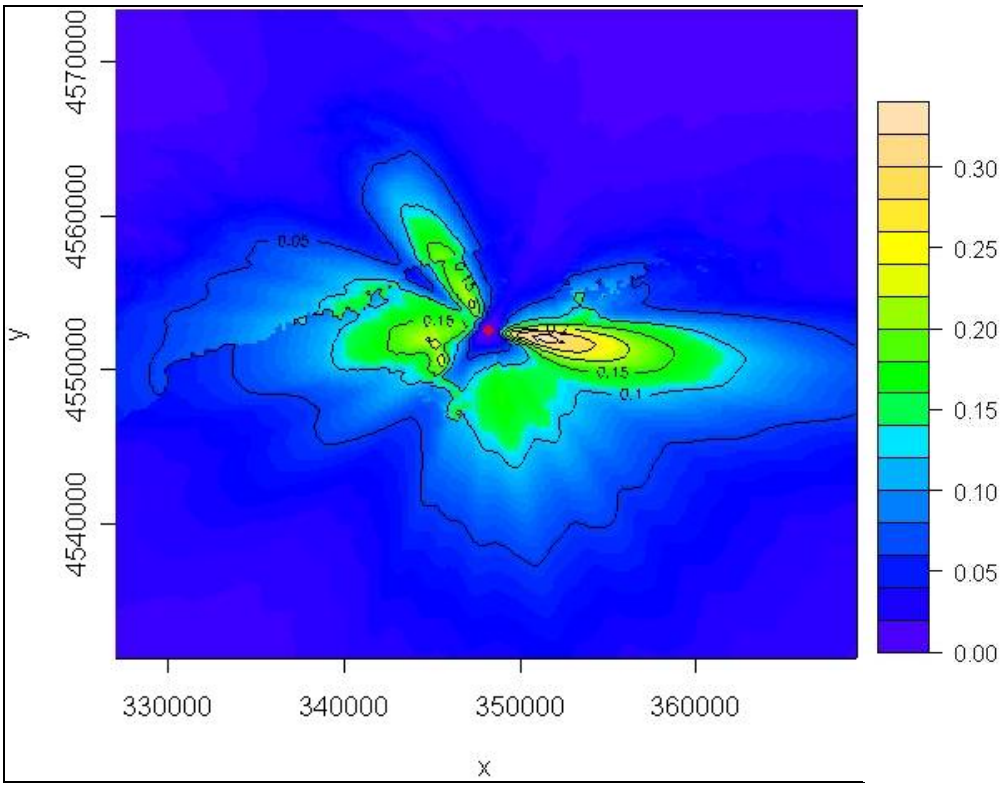


Figura 4.11 Concentraciones de SO_2 promedio anual (CASO II)

Como pudimos observar los resultados obtenidos para el SO_2 en este segundo caso son mucho menores debido lógicamente a la menor

carga másica emitida por la fuente, lo que si, los puntos en los que se producen las máximas concentraciones coinciden en los dos casos.

TABLA 25

CONCENTRACIONES DE SO_2, ANUAL, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN

	Concentración promedio anual ($\mu g/m^3$)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.32613	3355	-500	5.2
2	0.32336	3155	-500	4.4
3	0.32086	3555	-500	4.4
4	0.31851	2755	-500	4.8
5	0.31596	3155	-300	5.1
6	0.3147	2955	-300	4.4
7	0.31348	3355	-700	4.1
8	0.31293	3355	-300	5.1
9	0.30545	2555	-300	3
10	0.30534	3555	-300	4.1

Promedio de 24 horas

De igual manera que en el caso anterior los resultados obtenidos para promedios de 24 horas son menores en magnitud pero están ubicados en puntos coincidentes de la malla de 1600 km^2 que hemos escogido, como pudimos visualizar en la figura 4.12 y ver en la tabla 26 los 20 máximos valores encontrados con sus respectivas distancias y elevaciones, nuevamente repitiéndose el mismo día en todos los numerales de las máximas concentraciones.

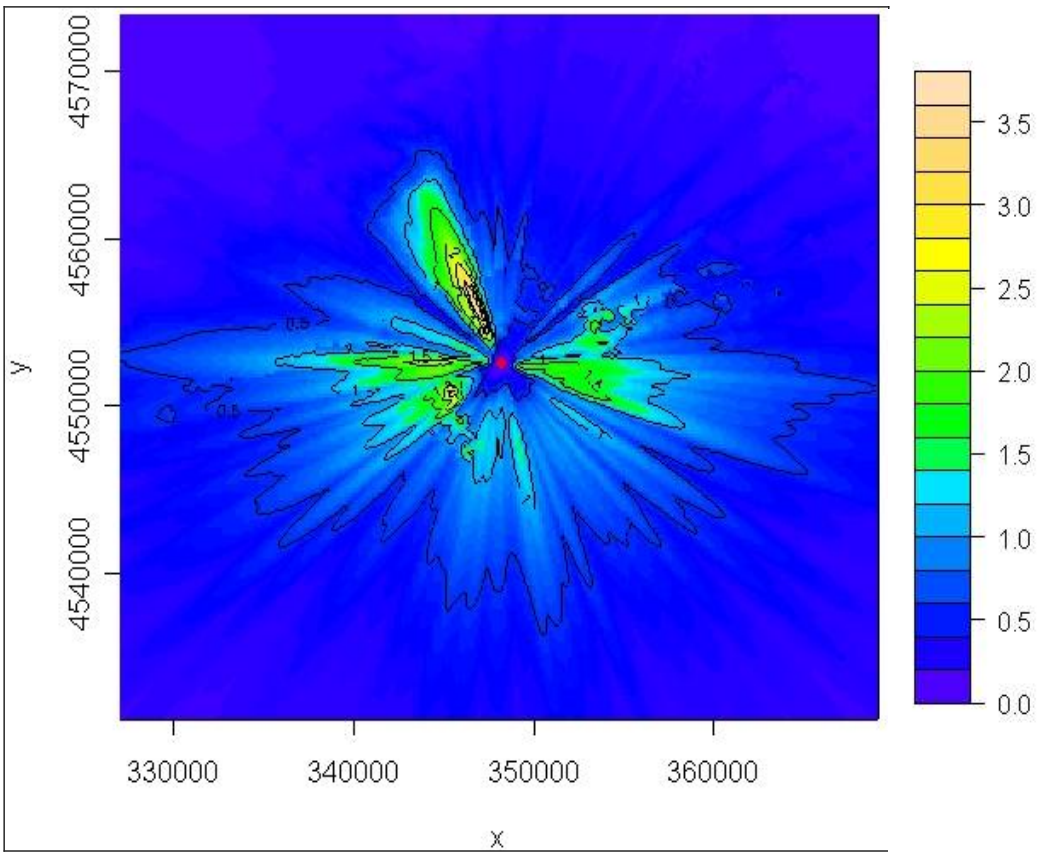


Figura 4.12 Concentraciones de SO_2 promedio 24 horas (CASO II)

Promedio de una hora

Los resultados que se obtuvieron para las concentraciones máximas de SO_2 en promedios horarios en este caso, que se muestran en la tabla 27 y la figura 4.13, son muy parecidos a los promedios anteriores, ya que si comparamos los resultados mostrados en la tabla 27 con los obtenidos en el caso anterior ubicados en la tabla 19, pudimos notar que las magnitudes son considerablemente menores y las ubicaciones aunque no son iguales se encuentran muy cercanas y en algunos casos coincidentes.

TABLA 26

CONCENTRACIÓN DE SO_2, 24 HORAS, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN (CASO II)

	Concentración promedio de 24 horas ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	3.62924	99081624	-845	2100	56.5
2	3.50849	99081624	-1245	3100	59.3
3	3.43859	99081624	-1445	3500	62.3
4	3.38413	99081624	-1445	3300	59.4
5	3.36259	99081624	-1245	2900	53.5
6	3.28165	99081624	-1645	3900	64.8
7	3.27594	99081624	-1645	3700	64.2
8	3.2542	99081624	-1445	3700	63.2
9	3.23093	99081624	-845	1900	52
10	3.19995	99081624	-1445	3100	58.6
11	3.1992	99081624	-1645	4100	67.2
12	3.19755	99081624	-1245	3300	58.8
13	3.1795	99081624	-1845	4300	70.8
14	3.1131	99081624	-1845	4500	72.4
15	3.10194	99081624	-1645	3500	63.4
16	3.07277	99081624	-1045	2700	48
17	3.06658	99081624	-1045	2500	45.1
18	3.0507	99081624	-1245	2700	49.9
19	3.04926	99081624	-1845	4100	66.1
20	3.04595	99081624	-2045	4900	78.6

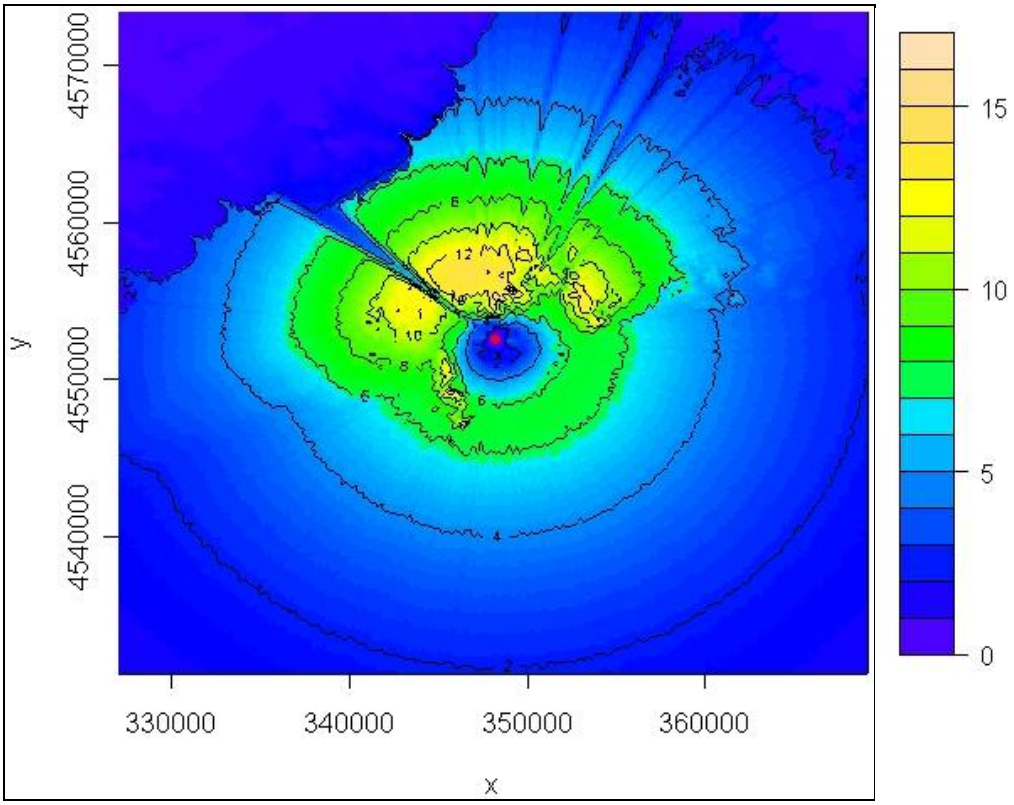


Figura 4.13 Concentraciones de SO_2 promedio una hora (CASO II)

- ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE NO_2

Promedio anual

Los resultados obtenidos para el año seleccionado que se los puede visualizar en la figura 4.14 nos mostraron que las máximas concentraciones al igual que en el caso anterior se encuentran al este del foco emisor y a las distancias y elevaciones colocadas en la tabla 28.

TABLA 27

CONCENTRACIÓN DE SO_2, UNA HORA, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN (CASO II)

	Concentración promedio horario ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	16.70077	99082322	755	3300	78.4
2	16.59778	99072423	955	3100	79.2
3	16.51584	99072423	955	3300	76.6
4	15.93806	99060123	955	3100	79.2
5	15.79603	99091509	1155	3100	73.6
6	15.66736	99091822	-45	2700	71.8
7	15.59773	99050920	955	3100	79.2
8	15.55762	99102219	955	3300	76.6
9	15.2784	99061606	-45	2700	71.8
10	15.20694	99110118	755	3300	78.4
11	14.95848	99040603	755	3300	78.4
12	14.94441	99081705	155	2700	66.9
13	14.85555	99072207	355	4100	71.9
14	14.79441	99120616	955	3300	76.6
15	14.75083	99041420	755	3300	78.4
16	14.73101	99102219	955	3100	79.2
17	14.64521	99081506	355	4100	71.9
18	14.61976	99091822	-45	2900	67.3
19	14.52655	99060123	955	3300	76.6
20	14.51428	99072207	155	2700	66.9

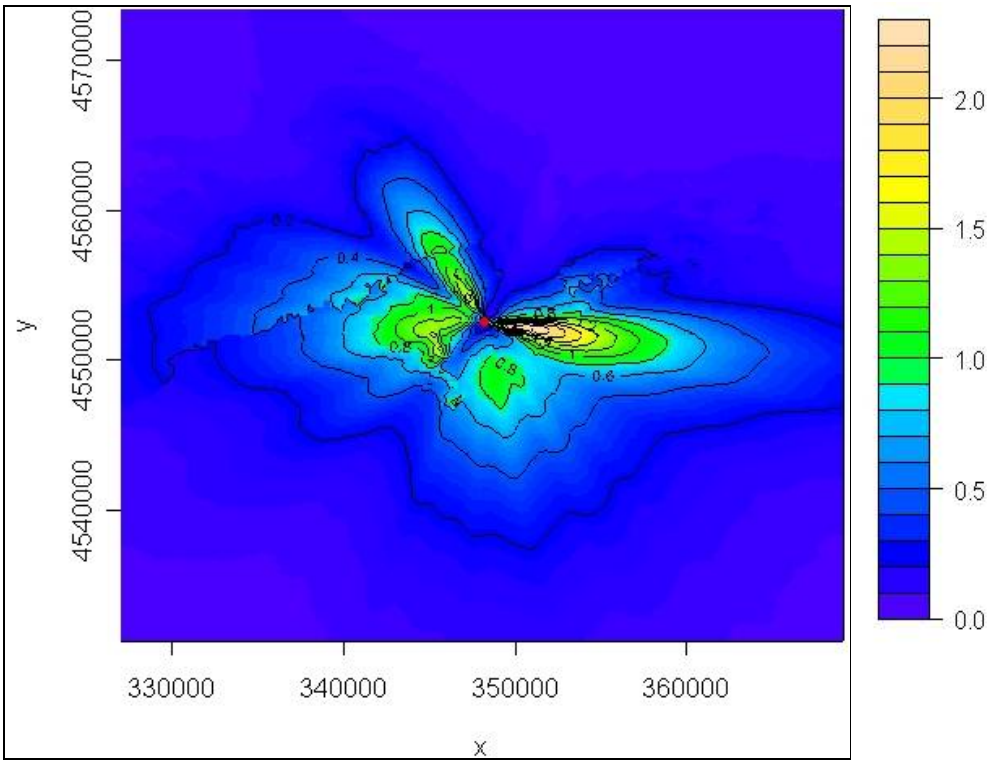


Figura 4.14 Concentraciones de NO_2 promedio anual (CASO II)

TABLA 28

CONCENTRACIÓN DE NO_2, ANUAL, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN (CASO II).

	Concentración promedio anual ($\mu g/m^3$)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	2.2206	2755	-500	4.8
2	2.1969	3155	-500	4.4
3	2.1905	3355	-500	5.2
4	2.1623	2955	-300	4.4
5	2.1606	2555	-300	3
6	2.1447	3155	-300	5.1
7	2.1421	2155	-300	3.3
8	2.1382	2355	-300	2.4
9	2.1344	3555	-500	4.4
10	2.1325	1955	-300	4.5

Promedio de 24 horas

Los resultados obtenidos cuando tomamos en cuenta un promedio horario de 24 horas indicaron en este caso que los valores máximos se encuentran al noroeste de la fuente de emisión y a elevaciones del terreno que están a alturas muy parecidas a las del foco emisor, los cuales se los puede observar en la figura 4.15 y en la tabla 29, es decir, que estos resultados son muy cercanos a los que se obtuvieron en el caso anterior y que se muestran en la tabla 23; nuevamente pudimos ver que existe una disminución de las concentraciones, sin encontrar demasiado diferencia en los puntos en los que se producen estas concentraciones.

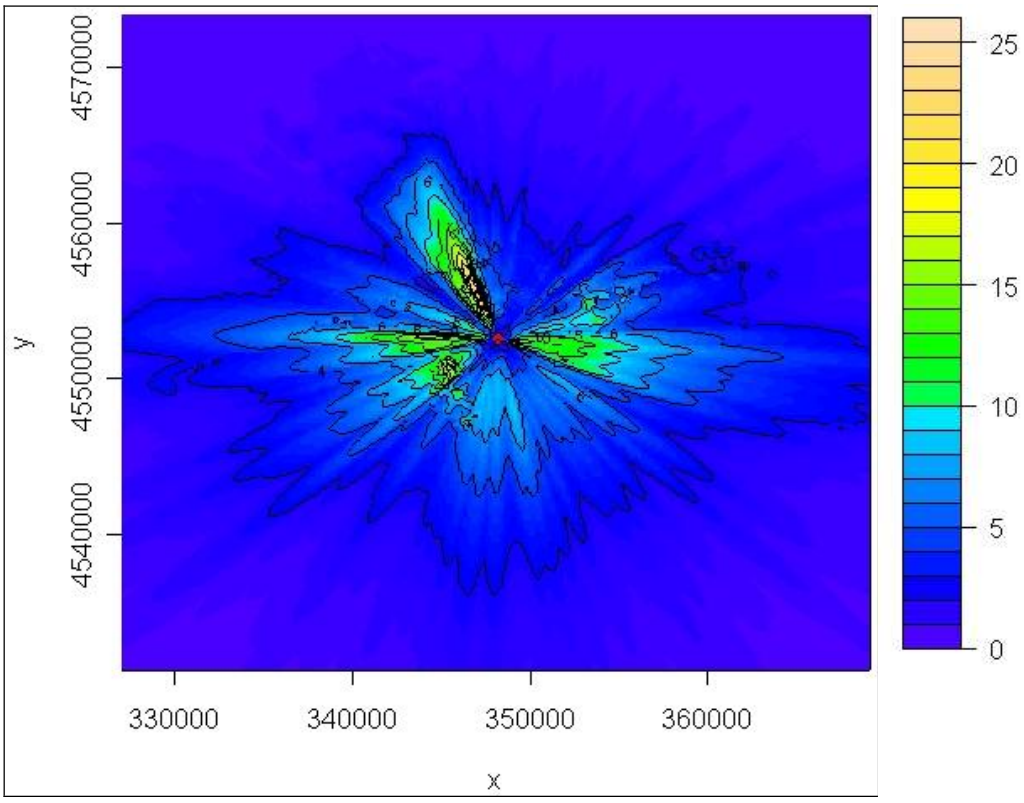


Figura 4.15 Concentraciones de NO_2 promedio 24 horas (CASO II)

TABLA 29

CONCENTRACIÓN DE NO_2, 24 HORAS, DISTANCIAS A LA FUENTE Y ELEVACIÓN (CASO II)

	Concentración promedio de 24 horas ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	25.19841	99081624	-845	2100	56.5
2	22.95962	99081624	-1245	3100	59.3
3	22.88779	99081624	-845	1900	52
4	22.17691	99081624	-1245	2900	53.5
5	22.06896	99081624	-1445	3500	62.3
6	21.83421	99081624	-1445	3300	59.4
7	20.83958	99081624	-1245	3300	58.8
8	20.81049	99081624	-1045	2500	45.1
9	20.79926	99081624	-1445	3700	63.2
10	20.78998	99081624	-1445	3100	58.6
11	20.72835	99081624	-1645	3700	64.2
12	20.69541	99081624	-1645	3900	64.8
13	20.60417	99081624	-1045	2700	48
14	20.3225	99081624	-1245	2700	49.9
15	20.09859	99081624	-1645	4100	67.2
16	19.74744	99081624	-1645	3500	63.4
17	19.70379	99081624	-1845	4300	70.8
18	19.26646	99081624	-1045	2300	42.8
19	19.23658	99081624	-1845	4500	72.4
20	18.97667	99081624	-1845	4100	66.1

Promedio de una hora

Con respecto a las concentraciones obtenidas para promedios de tiempo iguales a una hora nos dimos cuenta que estas concentraciones al igual que en los casos anteriores se distribuyen alrededor de la fuente emisora a excepción del sector en el cual el

viento está soplando con menos frecuencia o no sopla que es el sector coloreado con azul en el parte noroeste que se extiende desde la fuente y se lo puede ver en la figura 4.16 y en la tabla 30 se colocan los 20 máximos valores de las concentraciones.

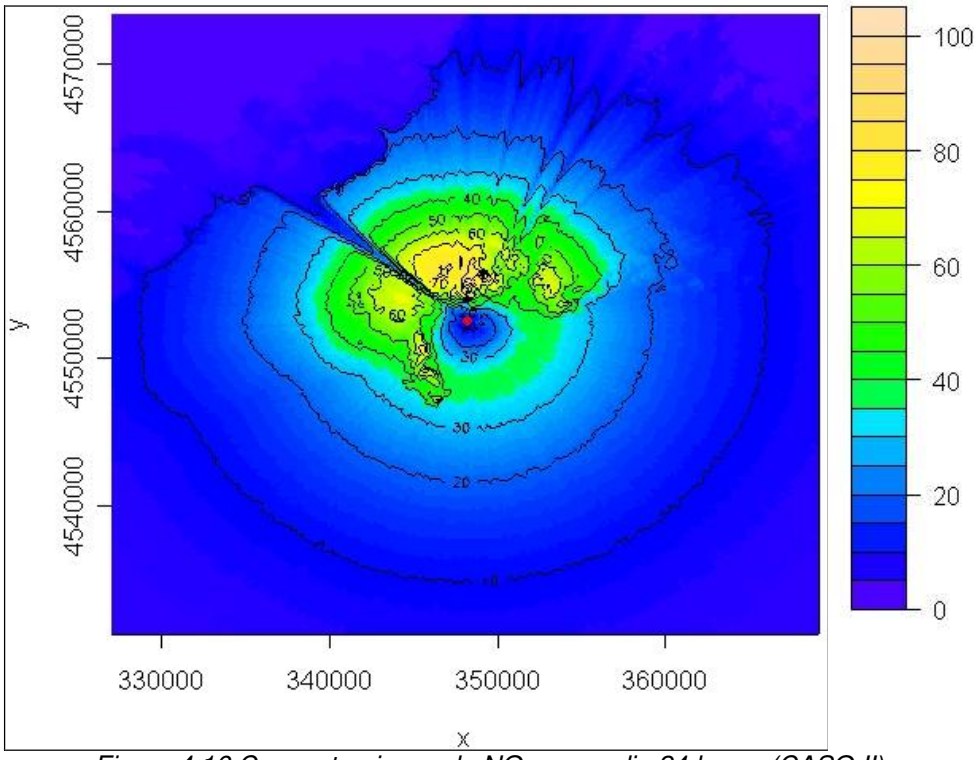


Figura 4.16 Concentraciones de NO_2 promedio 24 horas (CASO II)

En esta tabla 30 pudimos observar claramente que los máximos horarios de las concentraciones son menores que en el caso anterior que se mostraron en la tabla 22, sin que varíen mucho las ubicaciones de los puntos en los que se generan estas concentraciones.

En los anexos podemos observar en los archivos que contiene el CD que se adjunta los resultados numéricos totales para cada caso de

estudio.

TABLA 30

CONCENTRACIÓN DE NO_2, 1 HORA, DISTANCIA A LA FUENTE Y ELEVACIÓN (CASO II)

	Concentración promedio horario ($\mu g/m^3$)	YYMMDDHH	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	101.8959	99072423	955	3100	79.2
2	101.5283	99082322	755	3300	78.4
3	100.4115	99091822	-45	2700	71.8
4	100.067	99072423	955	3300	76.6
5	98.0464	99061606	-45	2700	71.8
6	97.82993	99060123	955	3100	79.2
7	96.70692	99091509	1155	3100	73.6
8	96.13592	99081705	155	2700	66.9
9	95.89627	99050920	955	3100	79.2
10	94.55054	99102219	955	3300	76.6
11	93.2254	99072207	155	2700	66.9
12	92.90282	99070802	-45	2700	71.8
13	92.627	99091822	-45	2900	67.3
14	92.59624	99093023	-45	2700	71.8
15	92.5534	99110118	755	3300	78.4
16	92.18179	99060323	155	2700	66.9
17	92.02473	99041420	755	3300	78.4
18	91.99194	99091822	-45	1900	67
19	91.66782	99072323	-245	2300	64
20	91.30849	99040603	755	3300	78.4

RESUMEN DE RESULTADOS

El resumen de los resultados está disponible en la tabla 31, que consta de las máximas concentraciones tanto para el NO_x y el SO_2 en los promedios de tiempo analizados que son de 1h, 24h y un año, a estos valores se los

comparó con la normativa vigente para estos contaminantes y en estos periodos de tiempo observándose que no sobrepasan en ningún caso los límites permisible de los óxidos de nitrógeno fijados en el real decreto R. D. 1073/2003, y del SO_2 en el real decreto R. D. 1073/2002, que las podemos observar en el Anexo B y un resumen en la misma tabla 31.

TABLA 31

RESUMEN DE RESULTADOS

PROMEDIOS DE TIEMPO	CONCENTRACIONES MAXIMAS (μg/m3)				CONCENTRACIONES PERMISIBLES (μg/m3)	
	CASO I		CASO II			
	NO_2	SO_2	NO_2	SO_2	NO_2	SO_2
UNA HORA	113,4792	145,1417	101,8959	16,70077	200	350
24 HORAS	24,05856	32,8512	25,19841	3,62924	--	125
UN AÑO	2,67278	3,1252	2,2206	0,3213	40	20

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De los análisis hechos se puede verificar que en ninguno de los casos se sobrepasa el límite de calidad de aire fijados por la normativa española.

- De los análisis realizados a los resultados del modelo se deduce que los puntos donde se producen las concentraciones máximas anuales, en el orden de 3.5 $\mu g/m^3$ al sector este del foco emisor, cuando el terreno es completamente plano, son en los lugares en donde el viento está soplando con frecuencia a lo largo del año seleccionado para la aplicación del modelo.

- Observando los resultados puede concluirse que cuando se introduce la topografía del terreno y esta contiene ciertas elevaciones, las concentraciones son mayores con respecto a los obtenidos si se asume que el terreno es plano, en el CASO I en promedios de tiempo de una hora para el SO_2, si el terreno es plano la máxima

concentración fue de 70.71 μg/m^3; en cambio si introducimos la topografía el resultado fue 145.17 μg/m^3.

- Puede concluirse que en los sectores donde el viento no sopla a lo largo del año se encuentran las menores concentraciones de los contaminantes considerados en el estudio.

- De los resultados obtenidos puede decirse que las mayores concentraciones de 145.14 μg/m^3 para el SO_2 y 113.48 μg/m^3 para el NO_2 en el CASO I, a 78.4 m y 62.3 m de altura respectivamente, y de 16.7 μg/m^3 para el SO2 y 101.89 μg/m^3 para el NO2 en el CASO II, a 78.4 m y 79.2 m de altura respectivamente, se dan en los puntos que se encuentran a la misma o a una altura parecida a la del foco emisor y no necesariamente en la dirección del viento predominante, esto indica que estas mayores concentraciones se producen en los lugares donde la velocidad del viento es la menor detectada.

- De los datos que se obtuvieron se puede decir que aunque se varíe el tipo de contaminante, las concentraciones máximas de cada uno de ellos se ubican en puntos coincidentes, lo que indica que la dispersión de los agentes está dominada por las condiciones atmosféricas y topográficas del lugar.

- Es recomendable para tener unos mejores resultados realizar mediciones locales de velocidad del viento y temperatura a diferentes

alturas, para obtener con estos datos el perfil de velocidad y el gradiente térmico vertical respectivamente, que reflejen la situación meteorológica real del lugar.

- Además se recomienda introducir las tasas de emisión horaria de la central, ya que el programa lo permite, para tener unos resultados menos conservadores.

- Es recomendable que se revisen y se analicen los límites de los valores de las variables utilizadas recomendados en el uso de las ecuaciones del modelo matemático, de tal manera que estos valores sean consistentes con los resultados que predice el programa.

BIBLIOGRAFÍA

1. CESGA, (1999): Modelos de la calidad del aire http://www.cesga.es/telecursos/MedAmb/

2. DAWIDOWSKI L., GÓMEZ D. y REICH S. (2000), Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental Atmosférico.

3. EPA, (1995): User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3), Dispersion Models, Volume I, User instruction, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards.

4. EPA, (1995): User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3), Dispersion Models, Volume II, Description of model algorithms, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards.

5. EPA, (2000): Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modelling Applications, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards.

6. EPA, (2005): Support Center for Regulatory Air Models http://www.epa.gov/scram001

7. INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE CATALUÑA (2002): Productos digitales. http://www.icc.es/castella/muestras.html

8. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (2004), España http://www.inm.es

9. Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico, España

10. MARCANO, Juan, (2000): Educación Ambiental, Recursos Naturales, La contaminación Atmosférica. http://www.jmarcano.com/recursos/rrnn_index.html

11. SCHNELLE K. y DEY P. (1999): Atmospheric Dispersion modelling compliance guide, McGraw-Hill, United States of America

RESUMEN

En el presente proyecto se ha hecho un análisis del impacto atmosférico que produce una Planta de Cogeneración de Ciclo Combinado debido a la emisión de SO_2 y NO_2 desde sus instalaciones ubicadas en el polígono industrial Tarragona localizado en la ciudad del mismo nombre en la provincia de Cataluña – España.

Para ello se ha aplicado un modelo matemático para simular la dispersión de estos dos gases emitidos a la atmósfera con la ayuda del programa ISC (Industrial Source Complex) recomendado por la Environmental Protection Agency (EPA), que para su correcto funcionamiento es necesario ingresar un fichero que contiene las diferentes opciones de dispersión que se van a utilizar, los datos meteorológicos del lugar, las ubicaciones específicas de receptores, las propiedades de los gases que se están emitiendo, la topografía del terreno y finalmente seleccionar las opciones de salida que uno desea obtener.

Una de las grandes dificultades es la necesidad de contar con los datos meteorológicos, ya que se requiere un registro hora a hora de por lo menos un año de la velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, nubosidad y con la ayuda de estos datos estimar la estabilidad atmosférica y la capa de mezcla para las 8760 horas que tiene el año.

Los datos de la topografía del terreno y a su vez la ubicación de los receptores fueron extraídos de la base de datos que facilita el Instituto Cartográfico de Cataluña.

La opción de salida escogida para este análisis son las máximas concentraciones de los dos contaminantes que se generan en cada punto de la malla de receptores y a nivel del suelo.

Al analizar los resultados obtenidos en la simulación pudimos concluir que en ninguno de los casos se sobrepasa el límite de calidad de aire fijados por la normativa española.

CONCENTRACIONES PERMISIBLES ($\mu g/m^3$)		
	NO_2	**SO_2**
UNA HORA	200	350
24 HORAS	--	125
UN AÑO	40	20

PROMEDIOS DE TIEMPO	**CONCENTRACIONES MAXIMAS ($\mu g/m^3$)**			
	CASO I		**CASO II**	
	NO_2	**SO_2**	**NO_2**	**SO_2**
UNA HORA	113.4792	145.1417	101.8959	16.70077
24 HORAS	24.05856	32.8512	25.19841	3.62924
UN AÑO	2.67278	3.1252	2.2206	0.3213

Además, los puntos donde se producen las concentraciones máximas

anuales, cuando el terreno es completamente plano es en los lugares donde el viento está soplando con frecuencia y las menores concentraciones en los sectores que el viento casi no ha soplado a lo largo del año seleccionado.

Cuando se introduce la topografía las concentraciones son mucho mayores en los puntos que se encuentran a la misma o a una altura parecida a la del foco emisor, comparadas con el terreno plano, y no necesariamente en la dirección del viento predominante, esto indica que estas mayores concentraciones se producen en los lugares donde la velocidad del viento es la menor detectada.

De los datos que se obtuvieron se puede decir que aunque se varíe el tipo de contaminante las concentraciones máximas de cada uno de ellos se ubican en puntos coincidentes, lo que indica que la dispersión de los agentes está dominada por las condiciones atmosféricas del emplazamiento.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN……...II

ÍNDICE GENERAL……V

ABREVIATURAS……..IX

SIMBOLOGÍA……X

ÍNDICE DE FIGURAS……..XI

ÍNDICE DE TABLAS……..XIII

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO 1 3

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 3

1.1. Contaminación atmosférica 3

1.1.1. Definición 4

1.1.2. Clasificación de contaminantes 4

1.1.2.1. Contaminantes Primarios 5

1.1.2.2. Contaminantes secundarios 14

1.1.3. Origen de los contaminantes atmosféricos 14

1.1.3.1. Fuentes Industriales 16

1.1.4. Calidad del aire 20

1.1.5. Unidades 20

1.2. Principios meteorológicos 21

1.2.1. Radiación solar 22

1.2.2. Circulación del viento 23
1.2.3. Gradiente vertical de Temperatura 27
1.2.3.1. Gradiente vertical adiabático seco 28
1.2.3.2. Gradiente vertical ambiental 30
1.2.3.3. Potencial de temperatura 32
1.2.4. Altura de la capa de mezcla 32
1.2.5. Estabilidad Atmosférica 34
1.2.6. Perfiles de Velocidad del viento 42
1.2.7. Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica 44
1.3. Modelos de Dispersión 47
1.3.1. Definición 48
1.3.2. Tipos de modelos de dispersión 48

CAPITULO 2 56
2. MODELO DE DISPERSIÓN DE LA FUENTE INDUSTRIAL COMPLEJA (ISCST3) 56
2.1. Descripción del modelo 56
2.2. Opciones de control 59
2.2.1. Información de título 59
2.2.2. Opciones de dispersión 59
2.2.3. Opciones de Tiempo Promedio 64

2.2.4. Especificación del tipo de contaminante 64
2.2.5. Modelación con descomposición exponencial 65
2.2.6. Opciones para Terreno Elevado 65
2.2.7. Opciones de altura del receptor 66
2.3. Opciones de la fuente 67
2.3.1. Identificación de la fuente tipos y ubicación 68
2.3.2. Uso de velocidad de emisión 80
2.3.3. Uso de grupos de fuentes 84
2.4. Opciones de la ruta receptor 85
2.4.1. Definición de la ubicación del receptor 86
2.4.2. Uso de redes de receptores múltiples 91
2.4.3. Especificación de ubicación de receptores discretos 92
2.5. Opciones meteorológicas 93
2.5.1. Especificación del archivo de datos de entrada 94
2.5.2. Altura del anemómetro 99
2.5.3. Corrección de la dirección del viento 100
2.5.4. Velocidad del viento 101
2.5.5. Exponentes del perfil de velocidad 102
2.5.6. Gradiente de Temperatura 103
2.6. Opciones del terreno 103
2.7. Opciones de salida 106
2.8. Ejecución del modelo 106

CAPITULO 3 107

3. APLICACIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN EN LA CENTRAL TERMICA DE TARRAGONA 107

3.1. Selección de las Opciones de Control 107

3.2. Selección de las opciones de la fuente 111

3.3. Selección de las opciones del receptor 113

3.4. Selección de las opciones meteorológicas 115

3.5. Selección de las opciones de la cuadrícula del terreno 120

3.6. Selección de las opciones de la ruta de salida 121

CAPITULO 4 123

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 123

CAPITULO 5 152

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 152

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

atm	Atmósfera
ºC	Grados centígrados
ºK	Grados Kelvin
g	Gramo
km	Kilómetros
m	Metros
m/s	Metros por segundo
$\mu g/m^3$	Microgramos por metro cúbico
mb	Milibar
mg/m^3	Miligramos por metro cúbico
ppm	Partes por millón
s	Segundos

SIMBOLOGIA

γ	Gradiente de temperatura adiabático seco
T	Temperatura
z	Altura
c_p	Calor específico del aire a presión constante
V	Volumen de aire del sistema
p	Presión
g	Aceleración debido a la gravedad
ρ	Densidad del aire
Θ	Potencial de temperatura
δ	Angulo de declinación solar
ϕ	Latitud del sitio
ω	Angulo horario
Φ	Altitud solar
Γ	Ángulo diario relativo a la posición de la tierra
d_n	Número del día
H	Hora civil
AD	Adelanto de la hora oficial.
L	Longitud del lugar
LR	Longitud del huso horario de referencia
ET	Tiempo solar verdadero
$\overline{C}$	Concentración en tiempo promedio
Q	Flujo másico de contaminantes desde la fuente
U	Velocidad media del viento
K	Coeficiente de escala
Y	Coordenada transversal a la dirección horizontal del viento
σ_y	Desviación estándar de la distribución de concentración lateral
σ_z	Desviación estándar de la distribución de concentración vertical
u_s	Velocidad media del viento en la altura de emisión

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación gráfica general de la contaminación atmosférica. 19
Figura 1.2 Imagen de rayos infrarojos 25
Figura 1.3 Gradiente vertical adiabático seco 30
Figura 1.4 Gradiente vertical ambiental 31
Figura 1.5 Altura de mezcla (adaptado de 34
Figura 1.6 Forma de la distribución de Gauss 53
Figura 1.7 Representación de la distribución gaussiana en un penacho ... 55
Figura 2.1 Representación exacta y aproximada de Fuentes de línea por fuentes de volumen 73
Figura 2.2 Relación de los parámetros de fuente de area para el rectángulo rotado 77
Figura 2.3 Ejemplo de factores de emisión variable 81
Figura 2.4 Ejemplo para dos fuentes con emisión horartia 84
Figura 2.5 Ejemplo de una red de receptors cuadricular 87
Figura 2.6 Ejemplo de cuadrícula polar y origen distinto de cero 89
Figura 2.7 Exponentes de perfil de velocidad predefinidos 102
Figura 2.8 Ejemplo de gradientes térmicos verticales predefinidos 104
Figura 3.1 Parámetros y valores utilizados en la ruta fuente 114
Figura 3.2 Malla topográfica de la zona de estudio 115
Figura 4.1 Rosa de frecuencias de direcciones 123
Figura 4.2 Velocidades medias en cada dirección en m/s 124
Figura 4.3 Concentraciones de SO_2 sin elevación promedio anual. 126
Figura 4.4 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio anual 127
Figura 4.5 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio una hora ... 130
Figura 4.6 Concentraciones de SO_2 sin elevación promedio una hora 130
Figura 4.7 Concentraciones de SO_2 con elevación promedio 24 horas ... 133
Figura 4.8 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio una hora ... 135
Figura 4.9 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio 24 horas ... 137
Figura 4.10 Concentraciones de NO_2 con elevación promedio anual 139
Figura 4.11 Concentraciones de SO_2 promedio anual (CASO II) 140
Figura 4.12 Concentraciones de SO_2 promedio 24 horas (CASO II) 142
Figura 4.13 Concentraciones de SO_2 promedio una hora (CASO II) 144
Figura 4.14 Concentraciones de NO_2 promedio anual (CASO II) 146

Figura 4.15 Concentraciones de NO_2 promedio 24 horas (CASO II) 147
Figura 4.16 Concentraciones de NO_2 promedio 24 horas (CASO II) 149

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los contaminantes antropogénicos 15
Tabla 2 Comparación entre contaminantes naturales y antropogénicos 16
Tabla 3 Escalas de movimiento atmosférico 24
Tabla 4 Categorías de estabilidad atmosférica definidas por Pasquill (1962). 36
Tabla 5 Método de turner 37
Tabla 6 Clases de insolacion en función de la altitud solar 37
Tabla 7 Valores estadísticos del exponente de perfil de viento. 44
Tabla 8 Exponentes del perfil de velocidad y gradiente potencial vertical de temperatura 63
Tabla 9 Resumen de los procedimientos sugeridos para estimar las dimensiones iniciales tanto verticales como laterales 74
Tabla 10 Definición de los parámetros para redes cuadriculadas. 88
Tabla 11 Definición de los parámetros para redes polares. 90
Tabla 12 Orden y formato ASCII de las variables meteorologicas 97
Tabla 13 Parámetros de emisión de las fuentes 113
Tabla 14 Estaciones de inmisión de la generalitat de catalunya en la zona 116
Tabla 15 Posiciones de la variable nubosidad 119
Tabla 16 Altura de capa de mezcla de acuerdo a la estabilidad 121
Tabla 17 Concentraciones de SO_2, distancias a la fuente 126
Tabla 18 Concentraciones de SO_2, distancias a la fuente y elevación 128
Tabla 19 Concentraciones de SO_2, promedio horario, distancia a la fuente y elevación 131
Tabla 20 Concentraciones de SO_2, promedio horario, distancia a la fuente sin elevación 132
Tabla 21 Concentraciones de SO_2, 24 horas, distancias a la fuente y elevación 134
Tabla 22 Concentraciones de NO_2, una hora, distancias a la fuente y elevación 136
Tabla 23 Concentraciones de NO_2, 24 horas, distancias a la fuente y elevación 138
Tabla 24 Concentraciones de NO_2, distancias a la fuente. 139

Tabla 25 Concentraciones de SO_2, anual, distancias a la fuente y elevación 141
Tabla 26 Concentración de NO_2, 24 horas, distancias a la fuente y elevación (CASO II) 143
Tabla 27 Concentración de NO_2, una hora, distancias a la fuente y elevación (CASO II) 145
Tabla 28 Concentración de NO_2, anual, distancias a la fuente y elevación (CASO II). 146
Tabla 29 Concentración de NO_2, 24 horas, distancias a la fuente y elevación (CASO II) 148
Tabla 30 Concentración de NO_2, 1 hora, distancia a la fuente y elevación (CASO II) 150
Tabla 31 Resumen de resultados 151