



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

*DETERMINACIÓN DE SITIOS PARA MONITOREAR AIRE
EN LAS REFINERÍAS DE PEMEX.*

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G O
P R E S E N T A N
JOSÉ LUIS FLORES SOLANO †
JOSÉ LUIS LÓPEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. EMMANUEL GONZÁLEZ ORTIZ.
I.M.P.

ASESOR INTERNO: M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ.
F.E.S. ZARAGOZA.



MÉXICO, D. F.

Agosto 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

EN MEMORIA A: JOSÉ LUIS FLORES SOLANO

AMIGO

Existen personas en nuestras vidas que nos hacen felices por la simple casualidad de haberse cruzado en nuestro camino.

Algunas recorren el camino a nuestro lado, viendo muchas lunas pasar, mas otras apenas vemos entre un paso y otro.

A todas las llamamos amigos y hay muchas clases de ellos.

Tal vez cada hoja de un árbol caracteriza uno de nuestros amigos.

El primero que nace del brote es nuestro amigo papá y nuestra amiga mamá nos muestra lo que es la vida. Después vienen los amigos hermanos, con quienes dividimos nuestro espacio para que puedan florecer como nosotros

Pasamos a conocer a toda la familia de hojas a quienes respetamos y deseamos el bien.

Mas el destino nos presenta a otros amigos, los cuales no sabíamos que iban a cruzarse en nuestro camino. A muchos de ellos los denominamos amigos del alma, de corazón. Son sinceros, son verdaderos. Saben cuando no estamos bien, saben lo que nos hace feliz.

Mas también hay de aquellos amigos por un tiempo, tal vez unas vacaciones o unos días o unas horas.

Ellos acostumbran a colocar muchas sonrisas en nuestro rostro, durante el tiempo que estamos cerca. Hablando de cerca, no podemos olvidar a amigos distantes, aquellos que están en la punta de las ramas y que cuando el viento sopla siempre aparecen entre una hoja y otra.

El tiempo pasa, el verano se va, el otoño se aproxima y perdemos algunas de nuestras hojas, algunas nacen en otro verano y otras permanecen por muchas estaciones. Pero lo que nos hace más felices es que las que cayeron continúan cerca, alimentando nuestra raíz con recuerdos de momentos maravillosos de cuando se cruzaron en nuestro camino.

"Te deseo, hoja de mi árbol, paz, amor, salud, suerte y prosperidad".

Hoy y siempre... Simplemente porque cada persona que pasa en nuestra vida es única. Siempre deja un poco de sí y se lleva un poco de nosotros. Habrá los que se llevarán mucho, pero no habrá de los que no nos dejarán nada.

Esta es la mayor responsabilidad de nuestra vida y la prueba evidente de que dos almas no se encuentran por casualidad.

Gracias mi hermano SOLANO por tu gran amistad, apoyo y compañía en la elaboración de la tesis y por todos esos grandes momentos que vivimos juntos.

DEDICATORIA

Con especial veneración, cariño y respeto.

A mis padres Emilia y Benigno por el apoyo y comprensión en el trayecto de mi formación profesional.

A mis hermanos Miguel, Rigoberto y Araceli por su cariño, por los bellos momentos que compartimos y mantenernos unidos.

A mi esposa Guillermina y a mi hija Emily por ser parte importante en la culminación de esta tesis.

A mis amigos por el apoyo en los momentos difíciles.

Una dedicatoria muy especial a Luisa Fernanda e Isabel por su cuidado, cariño y amor a Solano, así como los buenos momentos vividos con el.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las siguientes personas e instituciones las atenciones que tuvieron conmigo y que me permitieron concluir este trabajo tan importante para mi:

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y al laboratorio de contaminación atmosférica.

A la Gerencia de Ciencias del Ambiente del Instituto Mexicano del Petróleo por las facilidades brindadas para elaborar este proyecto.

A nuestro Director de tesis Emmanuel González Ortiz, por su asesoramiento a este trabajo obsequiándonos su valiosísimo tiempo y su invaluable conocimiento.

A nuestro asesor interno M. en C. German Calva Vázquez, por su apoyo, amistad, contribución y las observaciones para la mejora de la tesis.

A nuestros sinodales:

Biól. Ma. de los Angeles, Galván Villanueva, cuya asesoría y revisión del escrito fueron muy valiosa.

Biól. Maricela Arteaga Mejía, por compartir con nosotros su conocimiento y por sus atinados consejos en el desarrollo de este trabajo.

I. Q. Magine Juárez Villar, por las aceptables sugerencias en la revisión y corrección del escrito.

A los compañeros y amigos del IMP:

Biól. José Manuel Moran González, Biól. José Santos García Yee, M. en C. Julio Sandoval Fernández, Ing. Saturnino Gutiérrez Lujú, Doctor. José Luis Jaimes López, Ing. Marcos Vázquez García, M. en C. Edscott Wilson García, Téc. Juan Carlos Castro Juárez, Téc. Carmelo Castro Juárez, Téc. Gerardo Torres Gordillo y Téc. Enedina del Carmen Domínguez Rodríguez por sus conocimientos y los bellos momentos compartidos.

A mis buenos amigos Alberto Suárez Paniagua, Soledad Lucia Parrazalez Bravo, Carmen Ochoa Romero, Horacio López Ruelas, Adriana Acosta Aguilar por los grandes momentos vividos y su apoyo incondicional en las adversidades.

Finalmente quiero agradecer a los amigos del CUBO por permitirnos utilizar sus instalaciones para la consulta de internet.

Muchas son las personas que han intervenido en mi formación profesional y que involuntariamente he omitido, a todas ellas, mis agradecimientos.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	3
III.	OBJETIVOS.....	8
IV.	METODOLOGÍA.....	9
	4.1 Localización geográfica de las refinerías.....	9
	4.2 Localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.....	9
	4.3 Obtención de datos.....	10
	4.3.1 Servicio meteorológico nacional (SMN).....	10
	4.3.1.1. Área de Proyectos de Climatología.....	10
	4.3.1.2. Banco Nacional de Datos Climatológicos (CLICOM).....	11
	4.3.2 Instituto mexicano del petróleo (IMP).....	11
	4.3.3 Instituto nacional de estadística, geografía e informática (INEGI).....	11
	4.4 Captura de la información y arreglo de la base de datos.....	12
	4.5 Cálculo estadístico.....	12
	4.6 Validación de datos.....	12

4.7 Visualización de la información.....	13
4.8 Prueba de un modelo de dispersión de contaminantes.....	13
4.9 Ubicación perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del IMP.....	13
V. RESULTADOS.....	14
5.1 Localización geográfica de las refinерías.....	14
5.2 Localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.....	21
5.3 Obtención de datos.....	25
5.4 Captura de la información y arreglo de la base de datos.....	30
5.5 Elaboración de los planos para cada refinерía de PEMEX y la inserción a las ciudades correspondientes.....	33
5.6 Visualización de la información.....	37
5.7 Verificación del tipo de monitoreo a las refinерías y descripción de la unidad móvil de monitoreo ambiental del IMP.....	40
5.8 Prueba de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.....	44
5.9 Ubicación perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del IMP.....	44
5.10 Determinación de los sitios de monitoreo mediante un modelo de dispersión en la refinерía "Miguel Hidalgo".....	79
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
6.1 Sobre la localización geográfica de las refinерías.....	95
6.2 Sobre la localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.....	96

6.3 Sobre la validación de datos.....	100
6.4 Calculo estadístico.....	101
6.5 Sobre la determinación de los sitios de monitoreo mediante un modelo de dispersión en las refiné- rias..	103
VII. CONCLUSIONES.....	106
VIII. RECOMENDACIONES.....	107
IX. REFERENCIAS.....	109
X. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	117
XI. CARTOGRAFÍA.....	118
XII. ANEXOS.....	120
Anexo 1.....	120
Anexo 2.....	122

ÍNDICE DE CUADROS

CUADROS	PÁGINAS
1. Puntos y sus coordenadas obtenidas mediante el geoposicionador en la refinería "Miguel Hidalgo".....	14
2. Ubicación geográfica de la refinería "Francisco I. Madero".....	16
3. Ubicación geográfica de la refinería "Héctor R. Lara Sosa".....	17
4. Ubicación geográfica de la refinería "Antonio Dovalí Jaime".....	18
5. Ubicación geográfica de la refinería "Antonio M. Amor".....	19
6. Ubicación geográfica de la refinería "Lázaro Cárdenas".....	20
7. Estaciones automáticas del SMN.....	22
8. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Francisco I. Madero".....	23
9. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime".....	24
10. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".....	24
11. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Miguel Hidalgo".....	24
12. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".....	24
13. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Antonio M. Amor".....	24
14. Registro de temperatura en °C del CLICOM, para la estación climática de Juchitán, Oax.....	25
15. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Lázaro Cárdenas".....	25
16. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Antonio Dovalí Jaime".....	25
17. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Francisco I. Madero".....	25
18. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Miguel Hidalgo".....	26
19. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Héctor Lara Sosa".....	26
20. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Antonio M. Amor".....	26
21. Tarjeta de resumen mensual y anual.....	26
22. Cantidad de parámetros meteorológicos obtenidos desde 1980 a 1998 por observatorio.....	27
23. Formato original de los datos en Itzamná.....	28
24. Clave, nombre y localidad de las estaciones satelitales seleccionadas a las diferentes refinерías de PEMEX.....	28
25. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Francisco I. Madero" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	29

26.	Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Antonio M. Amor" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	29
27.	Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Héctor R. Lara Sosa" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	29
28.	Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Miguel Hidalgo" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	29
29.	Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Antonio Dovalí Jaime" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	29
30.	Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Gral. Lázaro Cárdenas" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.....	30
31.	Captura y ordenamiento de la temperatura por estación climatológica.....	30
32.	Captura y ordenamiento de los datos meteorológicos para el observatorio de Tampico.....	31
33.	Arreglo final de los datos obtenidos del Itzamná.....	31
34.	Base de datos general de los parámetros meteorológicos de la estaciones climatológicas, observatorio e Itzamná integrados en la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".....	32
35.	Normas Oficiales Mexicanas y criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a varios contaminantes.....	42
36.	Información poblacional del Municipio Tula De Allende Hgo.....	48
37.	Información poblacional de algunos municipios del estado de Hidalgo. Se incluye el municipio Tula de Allende por contener el centro de refinación "Miguel Hidalgo".....	48
38.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la ciudad de Pachuca.....	53
39.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Miguel Hidalgo".....	51
40.	Refinería "Miguel Hidalgo". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	54
41.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Miguel Hidalgo".....	55
42.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la ciudad de Tampico Tamps.....	55
43.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Francisco I. Madero".....	56
44.	Refinería "Francisco I. Madero". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	59
45.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Francisco I. Madero".....	60

46.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la Ciudad de Monterrey N. L., y a la base de datos de Itzamná.....	60
47.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Héctor R. Lara Sosa".....	61
48.	Refinería "Héctor R. Lara Sosa". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	64
49.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".....	65
50.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de Salina Cruz, Oax. y la base de datos de Itzamná.....	65
51.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Antonio Dovalí Jaime".....	66
52.	Refinería "Antonio Dovalí Jaime" Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	69
53.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Antonio Dovalí Jaime".....	69
54.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes a la base de datos de Itzamná.....	70
55.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Antonio M. Amor".....	70
56.	Refinería "Antonio M. Amor". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	73
57.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Antonio M. Amor".....	74
58.	Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al base de datos de Itzamná.....	74
59.	Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".....	75
60.	Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio.....	78
61.	Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".....	78
62.	Valores de las constantes que se utilizaron en las ecuaciones algebraicas.....	82
63.	Valores de ΣY Y ΣZ obtenidos en los primeros 1 500 m de distancia en una condición atmosférica inestable.....	82
64.	Se observan los distintos valores de la velocidad del viento a la altura de la chimenea según el mes del año.....	83
65.	Valores Δh obtenidos mediante la aplicación de ecuaciones en una hoja de cálculo de Excel.....	84

66.	Cálculos de cada uno de los términos matemáticos correspondientes al modelo de dispersión atmosférica.....	86
67.	Distancia a la cual se encontraron los valores máximos de concentración del SO ₂ , emitidos por la refinería "Miguel Hidalgo".....	86
68.	Distancias máximas y mínimas del valor más alto de concentración, C _{max}	87
69.	Geoposicionamiento de los vértices de la zona de establecimiento de sitios.....	91
70.	Ubicación de los sitios de monitoreo de manera geoposicional.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
1. Descripción esquemática de los puntos seleccionados en la Refinería "Miguel Hidalgo". Fuente Informe Final Inmisiones GCA 98043 Agosto, 1998.....	14
2. La ciudad de Madero con la refinería "Francisco I. Madero". Fuente SICORI.....	15
3. Vista aérea de la Ciudad Madero, Tamps. Se observa la refinería "Francisco I. Madero" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica.....	16
4. Vista aérea de la refinería "Héctor R. Lara Sosa" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica.....	17
5. Vista aérea de la Ciudad de Salina Cruz, Oax. Se observa la refinería "Antonio Dovalí Jaime" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica.....	18
6. Vista aérea de la Ciudad de Salamanca, Gto. Se observa la refinería "Antonio M. Amor" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica.....	19
7. Ciudad de Minatitlán, Ver. Se observa la refinería "Lázaro Cárdenas" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica.....	20
8. Plano de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" digitalizado por el personal de monitoreo del IMP. Se muestran también, los puntos de monitoreo perimetral a la refinería hasta el año de 1999.....	33
9. Digitalización en Autocad de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" con partes y sus nombres que la conforman.....	35
10. Digitalización de la Ciudad de Salina Cruz Oax. elaborada por INEGI sin la refinería digitalizada "Antonio Dovalí Jaime".....	36
11. Inserción de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" en la Ciudad de Salina Cruz Oax.....	37
12. Pasos a seguir para observar la base de datos meteorológicos de la refinería "Miguel Hidalgo" en el programa "X-Mon".....	38
13. Representación visual en el programa "X-Mon" de la ubicación geográfica y percepción visual de las unidades de refinación en el centro "Miguel Hidalgo".....	39
14. Representación de un muestreador de partículas totales en suspensión por alto volumen PST.....	41
15. Analizador de Bióxido de Azufre, Marca Thermo Environmental Modelo 43a.....	41
16. Vista lateral de la unidad móvil de monitoreo ambiental.....	42
17. Vista lateral interna del laboratorio móvil mostrando el sistema automático.....	43
18. Vista de los sistema de medición meteorológica y muestreador de PST.....	43
19. Representación esquemática de una Rosa de Vientos. Se aprecia la coloración en cada punto cardinal y su amplitud gradual para una mejor visión.....	47

20.	sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en el plano F14-11 (Pachuca) y E14-2 (Cd de México).....	54
21.	Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en el plano F14-3 (Tampico).....	58
22.	Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en el plano G14-08 (Río Bravo) y G14-07 (Monterrey).....	63
23.	Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica E15-10 (Salina cruz).	68
24.	Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en el plano F 14-03 (Querétaro).....	73
25.	Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en el plano E15-07 (Minatitlán).....	77
26.	Un modelo de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva, H, de la chimenea.....	79
27.	El uso de una fuente imaginaria para describir matemáticamente la reflexión gaseosa en la superficie terrestre.....	81
28.	Distancia mínima (Cmín) 600 m.....	88
29.	Distancia máxima (Cmáx) 2200 m.....	88
30.	Representación del área triangular mayor.....	89
31.	Representación del área triangular menor.....	89
32.	Área donde se ubicaron los sitios de monitoreo.....	90
33.	Zona de geoposición de los sitios en cualquier estación del año.....	90
34.	Ubicación de los sitios de monitoreo.....	91

RESUMEN

Se determinaron los sitios de medición de contaminantes atmosféricos alrededor de una refinería con la ayuda de un modelo de dispersión para bióxido de azufre y un procesamiento detallado de datos meteorológicos de diversas fuentes en seis regiones del país.

Los centros de refinación estudiados en este trabajo regional fueron: "Miguel Hidalgo" en Tula de Allende, Hidalgo; "Antonio M. Amor" en Salamanca, Guanajuato; "Francisco I. Madero" en ciudad Madero, Tamaulipas; "Antonio Dovalí Jaime" en Salina Cruz, Oaxaca; "Héctor Lara Sosa" en Cadereyta, Nuevo León y "Lázaro Cárdenas del Río" en Minatitlán, Veracruz.

La información histórica meteorológica consultada del país fue entre los años 1980 y 1998 considerando para ello los siguientes parámetros: dirección y velocidad del viento, temperatura ambiente, precipitación pluvial y humedad relativa, entre otros. Dos de las grandes fuentes de información fueron el Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Por otro lado, se ubicó con un geoposicionador el área que ocupa cada refinería, así como la localización geográfica de las estaciones climatológicas u observatorios más cercanos a los centros de refinación.

Todos los datos fueron validados y procesados para organizarlos en hojas de cálculo. Las refinerías fueron dibujadas a coordenadas geográficas precisas hasta delimitar las calles con sus plantas de proceso que las componen.

El conjunto de información fue procesada con un programa de cómputo, incluyendo un modelo de dispersión, mismos que arrojaron los sitios recomendados en cualquier fecha del año donde se debe ubicar un laboratorio móvil que monitoree la calidad del aire producida por uno, o todos, los contaminantes normados en México, en especial el bióxido de azufre, ya que es el mayormente emitido en todas las refinerías petroleras. El modelo de dispersión se aplicó al centro de refinación "Miguel Hidalgo" en Tula de Allende, Hidalgo.

Los resultados observables son las predicciones meteorológicas que ocurrirán con mayor frecuencia durante el programa de monitoreo; también fue posible ver la dispersión ocurrida en campañas anteriores. Cabe resaltar que los sitios recomendados resultaron ser los mismos para una fecha determinada en cualquiera de las refinerías, ya que era necesario introducir mayor cantidad de datos meteorológicos.

Este estudio es el primer paso que se da en los monitoreos en los centros de refinación de México, además se podrán complementar con trabajos posteriores para obtener así resultados con mayor precisión.

Este estudio se realizó en el Instituto Mexicano del Petróleo con la participación de especialistas en las áreas de protección ambiental, calidad del aire e informática.

I. INTRODUCCIÓN

Toda la sociedad se maneja por costumbres, reglas y leyes en la mayoría de sus actividades cotidianas. Durante mucho tiempo no hubo un código para atender los problemas ambientales uniformemente en las diversas regiones y países del mundo; por consiguiente se derivó a un mal manejo de los recursos naturales provocando el deterioro en su ambiente; uno de esos deterioros es el que afecta a la atmósfera por el incremento de la cantidad de partículas por actividades antropogénicas originando una crisis en la calidad del aire en varias ciudades del mundo.

La observación de éstas transformaciones y daños que se están ocasionando en la biósfera han comenzado a preocupar al hombre y es por eso que, a partir del último tercio del siglo XX, en el ámbito mundial se inició la promoción de reuniones regionales, nacionales e internacionales con el fin de establecer los criterios necesarios para instituir normas y reglamentaciones que permitan proteger el ambiente de manera adecuada.

De forma particular en atención a esa problemática ambiental, en la República Mexicana, se debe asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico; para tal motivo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece dichas garantías desde enero de 1988. Tal ordenamiento también, en sus disposiciones generales, determina las medidas de control y de seguridad de las emisiones contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles.

Por otra parte, la SEMARNAT es la secretaría responsable para emitir los requerimientos ambientales, en cuanto la LGEEPA en su Título IV, capítulo II, fracción IV, VI y VII la faculta para formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera; requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción federal (las industrias química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, etc.) el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes; y de expedir las normas oficiales mexicanas (NOM) para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

En los centros de refinación de PEMEX se emiten concentraciones contaminantes a la atmósfera, por lo cual se contratan, periódicamente, servicios de monitoreo de la calidad del aire al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Es así, como las refinerías, petroquímicas, industrias textiles y otras mas, con emisiones contaminantes a la atmósfera, cumplen lo requerido por el reglamento de la LGEEPA.

Las inversiones económicas que se hacen en los estudios, para estar dentro de los lineamientos ambientales, son muy costosos; pero esta fuerte inversión no supone que los resultados obtenidos sean representativos ya que dicho reglamento no ha establecido una metodología para determinar sitios y periodos de monitoreo ambiental en centros industriales.

En el presente estudio se propone una metodología con respaldo científico en el monitoreo ambiental a las refinerías de PEMEX (que en la actualidad no se tenía). Los elementos que permitieron tal propuesta fueron: la recopilación histórica de algunos parámetros meteorológicos, inventario de emisiones del SO₂ (al menos en una refinería) y, en conjunto, la simulación de dispersión en la atmósfera con la aplicación de un modelo gaussiano. De lo anterior derivó la determinación exacta de los sitios de monitoreo a los cuales los laboratorios móviles de calidad del aire tuvieron su ubicación.

Los sitios y los laboratorios tienen por objeto primordial el posibilitar la detección de las concentraciones máximas del contaminante a nivel del suelo relacionado a las fuentes fijas de emisión en las refinerías. Además, permiten verificar el cumplimiento de los estándares vigentes en el país.

II. ANTECEDENTES

Para iniciar los antecedentes de este estudio, es necesario hacer un paréntesis mencionando primero algunos antecedentes de la empresa petrolera.

Petróleos Mexicanos, como empresa paraestatal, siempre se ha preocupado por atender las actividades y servicios que originan emisiones o emanaciones causantes de daños al ambiente, o que afecten los recursos naturales, la salud humana o el bienestar de la población, por lo tanto, es merecedor de los siguientes antecedentes que sirven como prueba fehaciente de tal preocupación.

Cuando surgió el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica originada por la emisión de humos y polvos (el 17 de septiembre de 1971), PEMEX tomó las medidas necesarias en sus chimeneas, para regular las emisiones a la atmósfera.

En 1976, pero en el ámbito internacional, la OMS (Organización Mundial de Salud) publicó un libro sobre contaminación urbana, en el que proporciona criterios para seleccionar sitios de monitoreo. Mas adelante, La Environment Protection Agency (EPA) en 1988 publicó un manual para la determinación de sitios de monitoreo.

El 29 de noviembre de 1982 quedaron establecidos los lineamientos para determinar el criterio que serviría de base para evaluar la calidad del aire en un determinado momento, en éste se daban los límites máximos de contaminantes que deberían existir en la atmósfera. A partir de entonces, PEMEX solicitó al IMP la realización de mediciones contaminantes dentro de sus instalaciones, como medida de protección a sus trabajadores y población que habita a sus alrededores.

En enero de 1988 se emitió en México la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que establece que la calidad del aire debe ser SATISFACTORIA en todos los asentamientos humanos y regiones del país (Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 110, Fracciones I y II). Posteriormente, en noviembre de ese año, surgió el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera donde se señala que se debe llevar a cabo el monitoreo perimetral de emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas, suburbanas o que colinde en áreas naturales protegidas y de acuerdo con sus características de operación, puedan causar grave deterioro a los ecosistemas (Capítulo II, Artículo 17, Fracción V). Para ese entonces, se realizaban monitoreos perimetrales anuales en las instalaciones de las seis refinerías petroleras.

Para octubre de 1993 se publican las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los métodos de medición para determinar la concentración de contaminantes atmosféricos y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Estos métodos y procedimientos ya se aplicaban en el IMP al realizar monitoreos para PEMEX.

En diciembre de 1994 surgieron las Normas Oficiales Mexicanas y Criterios para Evaluar la Calidad del Aire Ambiente. Para ese entonces PEMEX tenía un amplio historial de los monitoreos, aún así, solicitó al IMP la realización de dos, tres y hasta cuatro monitoreos perimetrales en forma anual en algunas de sus refinerías.

Las investigaciones enfocadas a la ubicación y selección de los sitios de monitoreo para evaluar la calidad del aire, son escasas; sin embargo, la principal es la reportada por el American Petroleum Institute (API) (1995a, 1995b, 1995c) la cual menciona que esto depende de las condiciones meteorológicas donde se llevará a cabo el monitoreo. Por ejemplo, para una sola refinería, es necesario tener un registro mínimo de 10 años de datos meteorológicos para los 12 meses del año, y con esto, calcular la probabilidad de saber hacia donde soplará el viento en cierto mes del año. La refinería modelo es una de Arabia, la cual está ubicada en terreno plano, soplan los vientos generalmente de una sola dirección y para asegurar la captación de contaminantes, instalaron una red de estaciones de monitoreo fijas, cubriendo un abanico hasta de 45°, caso de difícil inversión en nuestro país. Con esto, adaptaron un modelo de dispersión el cual no comete errores, ya que, dependiendo de la pluma y las condiciones meteorológicas, calcula la concentración hasta 10 km a la redonda y, para comprobar los resultados cuentan con unidades móviles que se desplazan a esa distancia. Este caso no es aplicable para el caso de la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas" de Minatitlán, Ver., ya que donde se encuentra ubicada, es en un terreno escarpado.

Por otro lado, Aguirre *et al.* (1982) realizaron una recopilación de los vientos máximos que ocurren sobre el territorio mexicano entre los años de 1941 y 1976. Estos datos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); con esta información se realizaron diferentes proyectos encaminados a considerar, tanto los diferentes tipos de terreno y su influencia en la velocidad del viento, como la variación en el tiempo de la velocidad del viento. Además, con estos datos se realizó una zonificación de la República Mexicana, que aunada a factores de topografía y ráfagas de viento, permitió determinar la velocidad máxima del viento en cualquier sitio.

En algunas investigaciones anteriores han permitido el desarrollo de modelos matemáticos para el pronóstico de la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Por lo tanto, los modelos utilizados tienen el comportamiento de una curva de distribución normal de Gauss y para verificarla Mejía e Isaza en 1983 realizaron un estudio experimental de los modelos de dispersión mediante la utilización de técnicas fotográficas; dicho estudio consistió en fotografiar una pluma específica bajo diferentes condiciones climatológicas (viento, lluvia, sol y nubes) a diferentes horas del día (mañana, tarde, noche). Después de confirmar el comportamiento gaussiano de dispersión, se pudo observar que la velocidad del viento es un factor que influye en la elevación de la pluma, así como la estabilidad de la atmósfera la cual determina el comportamiento de la misma.

Wetzel en 1985 propuso una metodología para realizar una evaluación rápida de las fuentes contaminantes aprovechando las experiencias de otros países y de la extensa literatura técnica disponible y encontró que con las evaluaciones rápidas sobre aportes contaminantes de las diferentes fuentes, se pueden orientar las prioridades en los programas de control (por ejemplo en el cumplimiento de las normas ambientales), así como la caracterización más exacta de las fuentes importantes de contaminación.

En 1985 el potencial de impacto atmosférico por transporte de contaminantes de la Refinería Gral. Lázaro Cárdenas en Minatitlán, Veracruz fue evaluado por Bravo *et al.* demostrándose la alta correlación de la meteorología de este impacto. En los resultados arrojados por la investigación meteorológica, se observó que existen dos direcciones del viento dominante que determinan el potencial de impacto atmosférico, estas son vientos que soplan tanto del norte como del sur en esa zona. Con base en la información meteorológica y a las fuentes de emisión, se elaboró un programa que estima la concentración de los contaminantes y representa los resultados numéricamente.

Para utilizar el modelo gaussiano de dispersión, Bravo *et al.* en 1986 consideraron la información meteorológica y las fuentes de contaminación en la zona industrial conurbada de Coatzacoalcos-Minatitlán. Por consiguiente, se evaluó el impacto en la calidad del aire mediante: la identificación y evaluación de las fuentes de contaminación atmosférica, determinación de las emisiones de contaminantes, y estimación de las concentraciones de contaminantes en la zona. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Las concentraciones estimadas a nivel de piso en la zona, se encontraron por encima de las normas de la calidad del aire para los siguientes contaminantes: hidrocarburos, partículas, bióxido de azufre y plomo. En el cuadro siguiente se muestran los contaminantes normados en la legislación ambiental en México.

CONTAMINANTE	NORMA	ppm	µg/m ³	TIEMPO DE PROMEDIACION
O ₃	NOM-020-SSA1-1993	0.110	216	en una hora una vez al año, en un periodo de 3 años.
CO	NOM-021-SSA1-1993	11.0	12,595	promedio móvil de 8 horas una vez al año.
SO ₂	NOM-022-SSA1-1993	0.130	341	promedio móvil de 24 horas una vez al año.
		0.030	79	media aritmética anual.
NO ₂	NOM-023-SSA1-1993	0.210	395	en una hora una vez al año.
PST	NOM-024-SSA1-1993		260	en 24 horas una vez al año.
			75	media aritmética anual.
PM-10	NOM-025-SSA1-1993		150	en 24 horas una vez al año.
			50	media aritmética anual.
Pb	NOM-026-SSA1-1993		1.5	promedio aritmético en 3 meses.

- Un fuerte impacto por hidrocarburos en Minatitlán ya que se alcanzaron concentraciones por arriba del criterio recomendable que es de 0.24 ppm.
- Debido a la localización de las industrias, la ciudad siempre va sufriendo problemas de contaminación atmosférica, independientemente de la dirección del viento.

Bedoya y Jacko en 1988 adoptaron modelos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para el cálculo matemático de la dispersión de contaminantes a corto plazo; para llevar a cabo este proyecto de monitoreo del aire, se colectaron datos sobre la operación de centrales térmicas, meteorología y concentración de dióxido de azufre (SO₂) a través del estado de Indiana en los Estados Unidos.

Sin modelación alguna, pero si de un amplio historial de contaminación ambiental y a la salud humana en algunas regiones aledañas a la refinería "18 de Marzo" (hoy un parque ecológico) ubicada entre las delegaciones Miguel Hidalgo y

Azcapotzalco del Distrito Federal fue cerrada por decreto presidencial por el entonces presidente Lic. Carlos Salinas de Gortari en 1991. Principalmente el motivo de su cierre se debió a dos causas; la primera, poco o nulo control de las emisiones contaminantes a la atmósfera que afectaban severamente a los habitantes, y la segunda, al escaso mantenimiento a la infraestructura refinadora.

Desde 1990 hasta la actualidad el IMP realiza mediciones de calidad del aire y parámetros meteorológicos en los centros refinación de PEMEX dos veces por año.

De 1991 a 1997, personal del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) realizó diversos estudios relacionadas con representaciones reales de situaciones ambientales que se han presentado en cierta época del año, esto con la ayuda de algunos programas de cómputo visuales, como los que se mencionan enseguida.

- La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de 1985 a 1990 realizó la medición de parámetros meteorológicos con los cuales se desarrollaron los primeros programas en tiempo real; por otra parte, sirvieron para el análisis de información de la contaminación y para establecer algunos sitios de monitoreo de la calidad del aire en el valle de México.
- En el valle de México se desarrolló un estudio titulado *Monitoreo de vientos en la Zona Metropolitana de la Cd. de México* en donde se destaca la importancia de la procedencia de los vientos mas representativos para cada mes y estación del año. con lo anterior se pudo establecer la dirección de los contaminantes atmosféricos emitidos en esta urbe.
- Con la integración de parámetros meteorológicos y datos de contaminantes atmosféricos se llevó a cabo un estudio de impacto en la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México concluyendo que la mayor cantidad de contaminantes se emiten en la zona noreste (NE) de la ciudad y se transportan por el viento a la zona suroeste (SW).
- Aunado a los dos trabajos anteriores, se realizó la *Caracterización de combustibles en México, Guadalajara y Monterrey para 1998*, esto basado en las normas American Society for Testing and Materials (ASTM), y la NOM-086-ECOL-1994, donde se recomendaron los tipos de gasolina para estas zonas metropolitanas, con el cual se previnieron grandes contaminaciones al aire y fue de gran utilidad a PEMEX, ya que se podían ver en computadora las zonas metropolitanas y el tipo de gasolina a distribuir para cada mes del año.
- Dado a que se hizo un buen tratamiento estadístico en la que destacan temperaturas máximas y mínimas del país, es decir, recolección de datos meteorológicos en cada estación del SMN, se pudo establecer la zonificación de combustibles automotores en la República Mexicana.

Salcido y Saldaña en 1993 desarrollaron en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) una metodología para organizar, validar y determinar una base de datos meteorológica requerida en diferentes estudios, como por ejemplo, el desarrollo de modelos alternativos para los fenómenos de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera; así como, programas de cómputo que permiten realizar de manera automatizada los procesos de depuración y decodificación de los mensajes sinópticos y de radiosondeo.

Mediante la utilización de la metodología de Evaluación del Impacto en el Ambiente y la Salud (EIAS), de la cuantificación por unidades de la mismas y el análisis de los patrones de los vientos con técnicas computacionales Wilson *et al.* en 1994, desarrollaron un sistema gráfico para la evaluación del impacto de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Estudios que realizaron Hurtado y Fernández en 1998 en centrales termoeléctricas para determinar la repercusión que tienen los contaminantes emitidos al medio ambiente establecieron una metodología que permitió determinar un estimado del alcance de las emisiones a partir del comportamiento de los vientos en la región y una visión integradora del aporte a la contaminación atmosférica de todo un complejo industrial .

A partir de 1996 hasta 1998, Martínez. *et al* realizaron varios estudios sobre la dispersión de contaminantes a nivel de la superficie y el área de impacto ambiental que ellos generan mediante la ayuda de un modelo de dispersión, el ISC (Industry Source Complex) proporcionado y avalado por la EPA (Environment Protection Agency). Este modelo para adquirir su carácter simulador requirió entre otros parámetros, las características de la fuente fija emisora y la meteorología horaria que incluye, la dirección e intensidad de los vientos, la temperatura atmosférica y altura de mezcla. En los siguientes lugares que se enlistan a continuación, tal modelo tuvo su aplicación:

- Centros Petroquímicos, Cactus, Nvo. PEMEX, Cd. PEMEX, Matapionche, Poza Rica y Cangrejera.
- Seis refinerías de PEMEX, en dos épocas del año.
- Las emisiones de las industrias ubicadas en la cuenca alta del Río Coatzacoalcos.
- Área de influencia en cinco refinerías de PEMEX.
- En la refinería de Tula y CFE simulando condiciones actuales de las emisiones y una reducción del contenido de azufre en el combustóleo.

Posteriormente, se concluyó que el ISC puede ser evaluado en dos versiones, a corto y largo plazo. En el primer caso, estima la dispersión de contaminantes para unas condiciones meteorológicas existentes en un intervalo de tiempo corto, es decir, un diagnóstico de la dispersión en dicha región bajo condiciones particulares; en el segundo, estima la dispersión de contaminantes para una amplia gama de condiciones meteorológicas existentes en un intervalo de tiempo mas grande (un año), es decir, un estudio histórico de la región. Aún más, el ISC a demostrado ser uno de los simuladores mas completos y robustos que existente actualmente.

III. OBJETIVOS

Objetivo General:

Determinar sitios de monitoreo con un modelo de dispersión para el SO₂, en refinerías de PEMEX, a fin de evaluar la calidad del aire y de esa manera, dar cumplimiento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

Objetivos Particulares:

- Ubicar geográficamente con ayuda del geoposicionador, las Refinerías:
 - a) "Ing. Héctor R. Lara Sosa", Cd. Cadereyta de Jiménez, N. L.
 - b) "Francisco I. Madero", Cd. Madero, Tamps.
 - c) "Gral. Lázaro Cárdenas del Río", Minatitlán, Ver.
 - d) "Ing. Antonio M. Amor", Salamanca, Gto.
 - e) "Ing. Antonio Dovalí Jaime", Salina Cruz, Oax.
 - f) "Miguel Hidalgo", Tula de Allende, Hgo.
- Localizar geográficamente las estaciones climatológicas y observatorios del Servicio Meteorológico Nacional más próximos a las refinerías en estudio y realizar un levantamiento de humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento de cada una de ellas.
- Obtener la información de registros de humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento en las estaciones climatológicas y los observatorios del Servicio Meteorológico Nacional, las cartas climáticas publicadas por INEGI y la página de intranet del Instituto Mexicano del Petróleo.
- Interpretar estadísticamente los valores de la humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento obtenidos de las fuentes ya citadas para obtener el comportamiento meteorológico.
- Visualizar en computadora, la base:
 - i. De datos de los parámetros meteorológicos evaluados para, las Refinerías.
 - ii. El plano digitalizado de cada una de las refinerías de PEMEX realizados en Autocad 2000, la integración de los planos digitalizados de las refinerías a sus respectivas ciudades en formato dxf editados por INEGI.
- Aplicar un modelo de dispersión de contaminantes utilizando como referencia el dióxido de azufre emitido por las refinerías con registros del IMP, los planos refinería-ciudad y su respectiva base de datos meteorológicos.
- Establecer, con base en lo anterior, los sitios para el monitoreo perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del Instituto Mexicano del Petróleo a las refinerías de PEMEX, para dar cumplimiento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y a su Reglamento en materia de Control de la Contaminación a la Atmósfera.

IV. METODOLOGÍA

Este estudio se realizó en las seis refinерías de PEMEX localizadas en: Salina Cruz, Oax., Salamanca, Gto., Cd. Madero, Tamps., Cadereyta de Jiménez, N. L., Minatitlán, Ver. y Tula de Allende, Hgo. considerando nueve etapas que fueron:

- 4.1. Localización geográfica de las refinерías.
- 4.2. Localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.
- 4.3. Obtención de datos.
- 4.4. Captura de la información y arreglo de la base de datos.
- 4.5. Cálculo estadístico.
- 4.6. Validación de datos.
- 4.7. Visualización de la información
- 4.8. Prueba de un modelo de dispersión de contaminantes.
- 4.9. Ubicación perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del IMP.

4.1 Localización geográfica de las refinерías.

Para conocer la ubicación geográfica exacta de cada una de las refinерías, se obtuvo la información de dos maneras; la primera fué consultando las Gacetas Petroleras editadas por las mismas refinерías, y la segunda utilizando un geoposicionador marca Garmin, modelo 12 xl, No. serie 35341012, No. de inventario 0001811 propiedad del IMP. Este instrumento permitirá determinar, con una exactitud de ± 10 metros, la posición perimetral de la refinерía con respecto a nuestro planeta.

4.2 Localización geográfica de los observatorios y las estaciones climatológicas.

Un observatorio se diferencia de una estación climatológica en que el primero registra una gran cantidad de parámetros meteorológicos y transmite automáticamente esos parámetros a un centro receptor localizado en la Cd. de México, como es el caso del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los datos de cada observatorio son muy útiles, entre otros casos, para todos los aeropuertos, ya que se reportan de manera instantánea como apoyo y seguridad de todas las aeronaves. Estos observatorios están distribuidos en toda la República Mexicana ubicándose en las ciudades más importantes de cada estado.

La estación climatológica registra menor número de parámetros con respecto al observatorio y no envía información automática, solo lo hace en forma manual a través de cartas climáticas que se van archivando mensualmente en el SMN local y central.

De acuerdo con lo anterior, la localización de los observatorios y las estaciones climatológicas, se consultó de forma bibliográfica, es decir, directamente de los reportes mantenidos en el SMN.

Para el caso de los observatorios meteorológicos, la localización geográfica se obtuvo de las papeletas meteorológicas informativas que maneja la biblioteca del SMN.

La correspondiente a las estaciones climatológicas fueron obtenidas con la ayuda de los nombres y claves que contienen las Cartas Climáticas de la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, escala 1:1'000,000 y que edita el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), posteriormente, con estos datos se tradujeron a los mismos que maneja el SMN y de esa manera, se consiguió la posición geográfica.

Los pasos que se siguieron para seleccionarlas obedecieron los siguientes criterios: la cercanía y semejanza a las condiciones climáticas de las refinéras.

4.3 Obtención de datos.

Por lo anterior, se consideraron las siguientes fuentes de información para la obtención de datos:

4.3.1 Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

4.3.1.1. Área de Proyectos de Climatología.

4.3.1.2. Banco Nacional de Datos Climatológicos CLICOM.

4.3.2 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

4.3.3 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

4.3.1 Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En la sede localizada en Tacubaya, D. F., se clasificaron según la procedencia, esto es, de observatorios meteorológicos y de estaciones climatológicas, para lo cual se manejaron según sus diferentes áreas de la fuente, Proyectos de Climatología y CLICOM, respectivamente.

4.3.1.1. Área de Proyectos de Climatología.

En esta área cuenta con un banco de información meteorológica de toda la red sinóptica (observatorios) del país. Los observatorios registran una gran variedad de parámetros meteorológicos. Para este estudio únicamente se solicitaron los parámetros mensuales de temperatura máxima, mínima, humedad relativa promedio, dirección del viento y velocidad promedio del viento. La información está recopilada en tarjetas que contienen resúmenes de cada diez años, los cuales proporcionan información mensual de los diferentes parámetros (ver ejemplo). De esta manera se obtuvo una relación de los observatorios requeridos para este estudio con los parámetros antes mencionados de las dos últimas décadas para cada uno de ellos. Los datos se obtuvieron de la *Unidad de Información del Servicio Meteorológico*

Nacional. La información obtenida de éstos consideran registros de seis observatorios que fueron de las ciudades de Salina Cruz, Oax., Querétaro, Oro., Tampico, Tamps., Monterrey, N. L., Coatzacoalcos, Ver. y Pachuca, Hgo.

TARJETA DE RESUMEN MENSUAL Y ANUAL

D.G.G. y M. No.____
 NOMBRE DE EST. _____
 ELEMENTO MET. _____
 UNIDADES _____

ANOS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Novbre	Diebre	ANUAL
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
SUMA													
MEDIA													

4.3.1.2. Banco Nacional de Datos Climatológicos (CLICOM).

El CLICOM maneja una base de datos de las estaciones climatológicas en la cual incluye parámetros diarios como es temperatura máxima, mínima y promedio, así como la precipitación, nubosidad y presión atmosférica; la cantidad de datos varía dependiendo de la estación climatológica, ya que algunas de éstas han dejado de funcionar o de mandar información al SMN. Esta información será capturada en forma electromagnética; los datos se ordenaron y, posteriormente, se les hará un tratamiento estadístico obteniendo generalmente los promedios mensuales.

4.3.2 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

Esta información se consiguió a partir de la página informativa Intranet correspondiente al IMP cuyo nombre es Itzamná; esta página cuenta con una base de datos meteorológicos en forma diaria, que fue adquirida del Centro Nacional de Datos Climatológicos, proveniente del Servicio Nacional Satélite Ambiental de Datos e Información, dirigido por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, todos ellos forman parte del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data and Information Service, National Climatic Data Center), con sede en Asheville, NC. El criterio que se usó para determinar las estaciones climatológicas fue el mismo que se empleó en los observatorios. A la información obtenida fue necesario realizarle algunos cambios como fueron la transformación de archivos de un formato *.ftp* a *.xls* y la corrección del tiempo, que consistió en la adaptación del horario del meridiano Greenwich al horario correspondiente a la República Mexicana, entre otros cálculos estadísticos.

4.3.3 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Este instituto edita mapas de diferentes temas referentes a la República Mexicana. En particular, se consultaron los mapas climáticos de Villahermosa, México, Monterrey y Guadalajara (escala 1:1'000,000). La distribución de

las estaciones climáticas y observatorios se encuentran dentro del mosaico climático que corresponde a la República Mexicana. En la mapoteca del Servicio Meteorológico Nacional se consultaron estas cartas. La información que está al reverso de cada mapa, es el registro promedio mensual de temperaturas y precipitación reportados por las estaciones climáticas y observatorios de cada mes del año, como el resultado de la información comprendida entre 20 y 50 años.

4.4 Captura de la información y arreglo de la base de datos.

Toda la información que se obtuvo de las diversas fuentes fue capturada en una hoja de cálculo para ser utilizada en un programa de cómputo. La hoja de cálculo que se usó en este estudio es la de Microsoft Excel, ya que es de fácil manejo en cualquier formato de operación en diversos programas.

Toda la información que se obtuvo de las diversas fuentes, fue capturada de la siguiente manera:

Para la base de datos se agruparon de manera horizontal en cada celda de la hoja de cálculo, siguiendo este orden: CLAVE, FUENTE, AÑO, MES, temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), temperatura promedio (TPROM), humedad relativa máxima (HRMAX), humedad relativa mínima (HRMIN), humedad relativa promedio (HRPROM), dirección dominante (DIR-DOM) y velocidad promedio (VEL-PROM). A continuación se muestra un ejemplo del cuadro utilizado.

REFINERÍA ANTONIO M. AMOR											
LOS RAZOS											
CLAVE	FUENTE	AÑO	MES	TMAX	TMIN	TPROM	HRMAX	HRMIN	HRPROM	DIR-DOM	VEL-PROM
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

4.5 Cálculo estadístico.

A los elementos meteorológicos que fueron la humedad relativa, temperatura y velocidad del viento de cada estación climatológica u observatorio, se les determinó los valores mensuales máximos, mínimos y promedios. Además, a la dirección del viento, se le obtuvo su frecuencia mensual y la velocidad promedio.

4.6 Validación de datos.

A los datos obtenidos se le realizó una validación; esta revisión tuvo como objetivo saber si se cumpliría al menos con el 75 % de datos durante un mes determinado. Por otro lado, fue indispensable realizar una búsqueda de algún error que pudiera existir entre los datos, es decir, alguna incongruencia. Esto se llevó a cabo con gráficas respectivas a los valores finales de la

base de datos; en aquellos casos donde se obtuvo comportamientos irregulares (picos), se procedió a la revisión y corrección de los mismos llegando hasta la raíz del problema.

4.7 Visualización de la información.

Con toda la información que se obtuvo se realizó:

- Una base de datos de los parámetros meteorológicos evaluados para cada zona donde se encuentran las refinerías. Ésta, permitió visualizar la información meteorológica por año, con la opción de tablas y/o gráficas.
- El plano digitalizado de cada una de las refinerías de PEMEX realizado en Autocad. El programa Autocad, tiene diferentes versiones, de las cuales se manejaron las dos últimas, Autocad 14 y Autocad 2000. Este software, permitió elaborar los mapas de las refinerías de PEMEX, considerando su ubicación geográfica exacta y la percepción visual de sus componentes de refinación como son: tanques de almacenamiento, plantas de refinación primaria y secundaria, plantas desulfuradoras; así también, como los diferentes edificios de las áreas administrativas.
- La integración de los planos digitalizados de las refinerías a sus respectivas ciudades en formato "dxf", editadas por INEGI. Para cada ciudad, donde se encuentran localizadas las refinerías, INEGI cuenta con la digitalización de los mismos, por lo que solo faltó hacer la inserción de los planos digitalizados de las refinerías en los límites enmarcados por las ciudades.
- Un programa de cómputo. Se integraron las tres etapas anteriores en uno solo, con el fin de realizar el programa de cómputo que permitió la visualización general de los datos meteorológicos de cada refinería y su plano digitalizado (plano digitalizado refinería-ciudad).

4.8 Prueba de un modelo de dispersión de contaminantes.

Se utilizó un modelo de dispersión de contaminantes con referencia de:

- Los registros del dióxido de azufre evaluados por el área de monitoreo del IMP.
- La base de datos meteorológicos.
- Los planos digitalizados refinería-ciudad

4.9 Ubicación perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del IMP.

Con toda la información recabada, se establecieron los sitios para el monitoreo que realiza periódicamente en forma perimetral los laboratorios móviles de calidad del aire del Instituto Mexicano del Petróleo a las refinerías de PEMEX, para dar cumplimiento LGEEPA y a su Reglamento en materia de Control de la Contaminación a la Atmósfera.

V. RESULTADOS

5.1 Localización geográfica de las refinерías.

Inicialmente en la metodología planteada se utilizaría un geoposicionador para ubicar cada una de las refinерías. Pero, solo utilizando este método, se ubicó la refinерía "Miguel Hidalgo" localizada en la ciudad de Tula. Se viajó a dicho centro de refinación para la toma directa de sus coordenadas geográficas por medio del geoposicionador.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente: nos ubicamos con el geoposicionador en seis puntos perimetrales de la refinерía y así obtuvimos latitudes y longitudes; encendimos el instrumento para que comenzara a operar y establecer contacto con los satélites de forma automática; del menú, seleccionamos la opción "page" para el despliegue de datos como las coordenadas geográficas, altitud (msnm), ubicación del norte, tiempo de México y velocidad km/h (opción en caso de que se estuviera en movimiento); e hicimos la lectura hasta que los registros se mantuvieran constantes. En cada una de las lecturas anotadas, observamos que el número de satélites involucrados fue de por lo menos nueve en cada punto. En la **Figura 1** y en el **Cuadro 1** se describen los puntos seleccionados y su ubicación geográfica en la refinерía.

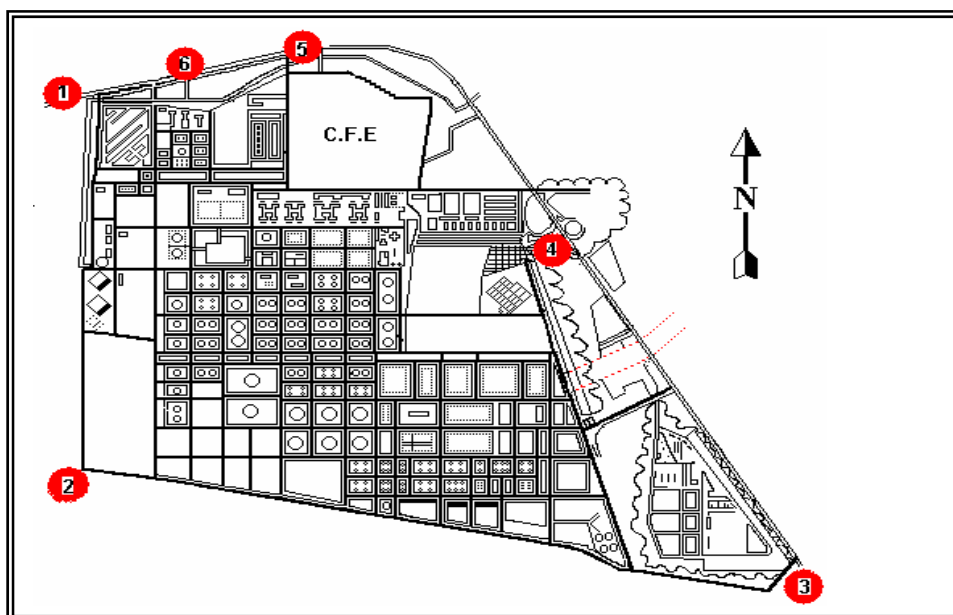


Figura 1. Descripción esquemática de los puntos seleccionados en la Refinería "Miguel Hidalgo". Fuente Informe Final Inmisiones GCA 98043 Agosto, 1998.

Cuadro 1. Puntos y sus coordenadas obtenidas mediante el geoposicionador en la refinерía "Miguel Hidalgo".

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	99° 17' 26"	20° 03' 24.75"
2	99° 17' 29"	20° 01' 54"
3	99° 15' 48.6"	20° 01' 20.12"
4	99° 16' 20.3"	20° 02' 54.5"
5	99° 16' 37.2"	20° 03' 39.4"
6	99° 17' 10.4"	20° 03' 30.8"

Clima: BS₁kw^(w)(t) según Koppen, modificado por García.

En la ubicación de cuatro de las cinco refinерías restantes, se realizó mediante la consulta de informes que se elaboran en el IMP, permitiendo así una forma más práctica y menos costosa para la localización geográfica de éstas. Para acceder a tal información, se efectuó una búsqueda en discos compactos de la Gerencia de Ciencias del Ambiente los cuales guardan los informes técnicos realizados para algunas refinерías desde 1990 a la fecha. Los informes corresponden a estudios sobre la determinación del impacto ambiental en zona perimetral y de influencia de las refinерías de PEMEX.

De forma general, los informes se encuentran distribuidos en carpetas conteniendo la información de la Calidad del Aire. En particular existe una carpeta cuyo nombre es "planos" en la cual presenta mapas de las ciudades de Cadereyta de Jiménez, Salamanca, Cd. Madero y Salina cruz con sus respectivas refinерías editados por el Sistema Corporativo de Información Geográfica (SICORI) que pertenece a la Dirección Corporativa de Administración de PEMEX. SICORI publica los mapas en octubre de 1996 y son adquiridos en 1997 por esta área. Los mapas se utilizaron para esquematizar los puntos de monitoreo perimetral a las refinерías en sus informes.

En cada mapa se observa la refinерía insertada dentro de la ciudad; también se describen varios aspectos como: las coordenadas sexagesimales en los límites del plano así como los cuadrantes dentro del mismo; una escala gráfica que varía según la refinерía (ver cuadro anexo en cada refinерía); y por último, una simbología que refiere a carreteras, brechas, lagunas, ríos, zonas urbanas, etc. por ejemplo en la **Figura 2**.

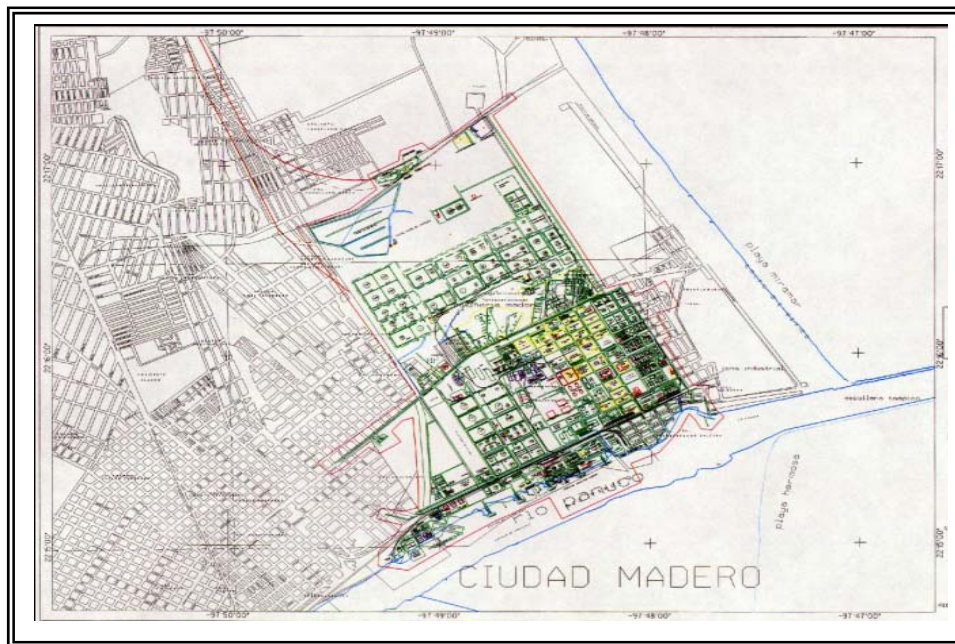


Figura 2. La ciudad de Madero con la refinera "Francisco I. Madero". Fuente SICORI 1996. Escala 1:0.2 km

La determinación geográfica de cada refinera a partir de los mapas de SICORI fueron de la siguiente manera:

1. Situamos los puntos que se tomarían como referencia en el perímetro de la refinera. Los mapas habían sido guardados como imagen y para poderlos editar fue necesario transportarlos al programa de Paint Brush de Windows XP.
2. Trazamos los cuadrantes más próximos a los puntos seleccionados para reducir al mínimo el error originado al superponer una regla en la imagen.

- Calculamos la distancia en milímetros a paralelos y meridianos.
- Obtuvimos la relación algebraica existente entre milímetros (distancia) y segundos (dato sexagesimal) para las coordenadas.
- Nos posicionamos con regla a los puntos seleccionados de la refinera para obtener los milímetros de distancia con el cuadrante más cercano.
- Realizamos la operación algebraica y convertirlos a segundos; finalmente sumamos o restamos los segundos al paralelo o meridiano utilizado como referencia.
- Vaciamos las coordenadas obtenidas a la tabla correspondiente. Ver cuadros de la ubicación geográfica de las refineras 2 a 6 y su respectiva Figura de la 3 a la 6.

Cuadro 2. Ubicación geográfica de la refinera "Francisco I. Madero".

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	97° 49' 36"	22° 16' 41"
2	97° 49' 10"	22° 14' 55"
3	97° 47' 45"	22° 15' 45"
4	97° 48' 46"	22° 17' 16"

Clima: BS1kw(w)(t)g según Koppen, modificado por García.

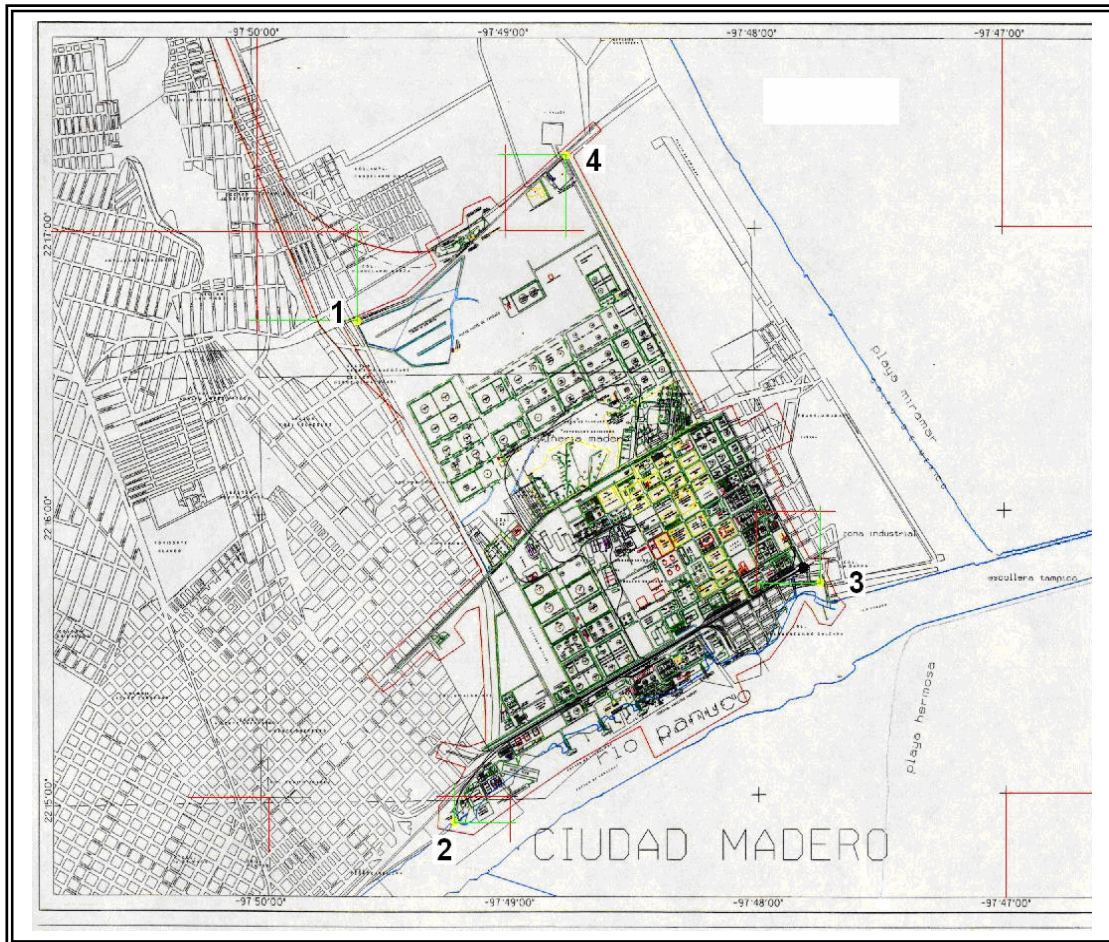


Figura 3. Vista aérea de la Ciudad Madero, Tamps. Se observa la refinera "Francisco I. Madero" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica. Fuente SICORI. 1996 Escala 1:0.2 km.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de la refinería "Héctor R. Lara Sosa"

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	99° 57' 37"	25° 35' 52"
2	99° 57' 01"	25° 34' 51"
3	99° 56' 37"	25° 35' 06"
4	99° 56' 07"	25° 34' 31"
5	99° 55' 37"	25° 34' 59"
6	99° 55' 39"	25° 35' 42"

Clima: (A)Cx'a(e) según Koppen, modificado por García.

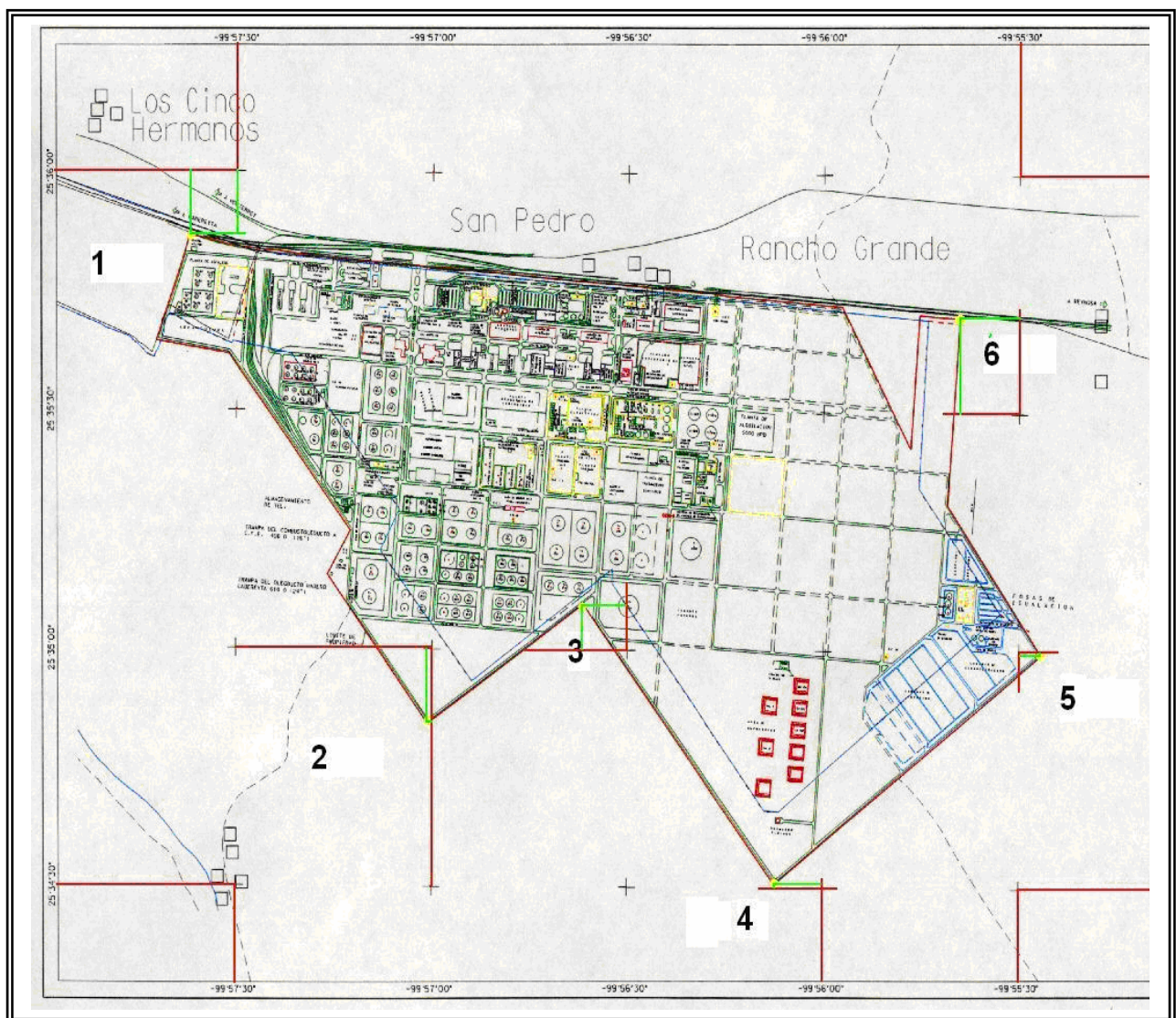


Figura 4. Vista aérea de la refinería "Héctor R. Lara Sosa" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica. Fuente SICORI. 1996 Escala 1:0.2 km.

Cuadro 4. Ubicación geográfica de la refinera "Antonio Dovalí Jaime"

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	95° 10' 51"	16° 13' 03"
2	95° 10' 48"	16° 10' 48"
3	95° 10' 30"	16° 10' 48"
4	95° 08' 51"	16° 11' 11"
5	95° 08' 52"	16° 13' 02"

Clima: Aw^o(w)ig según Koppen, modificado por García.

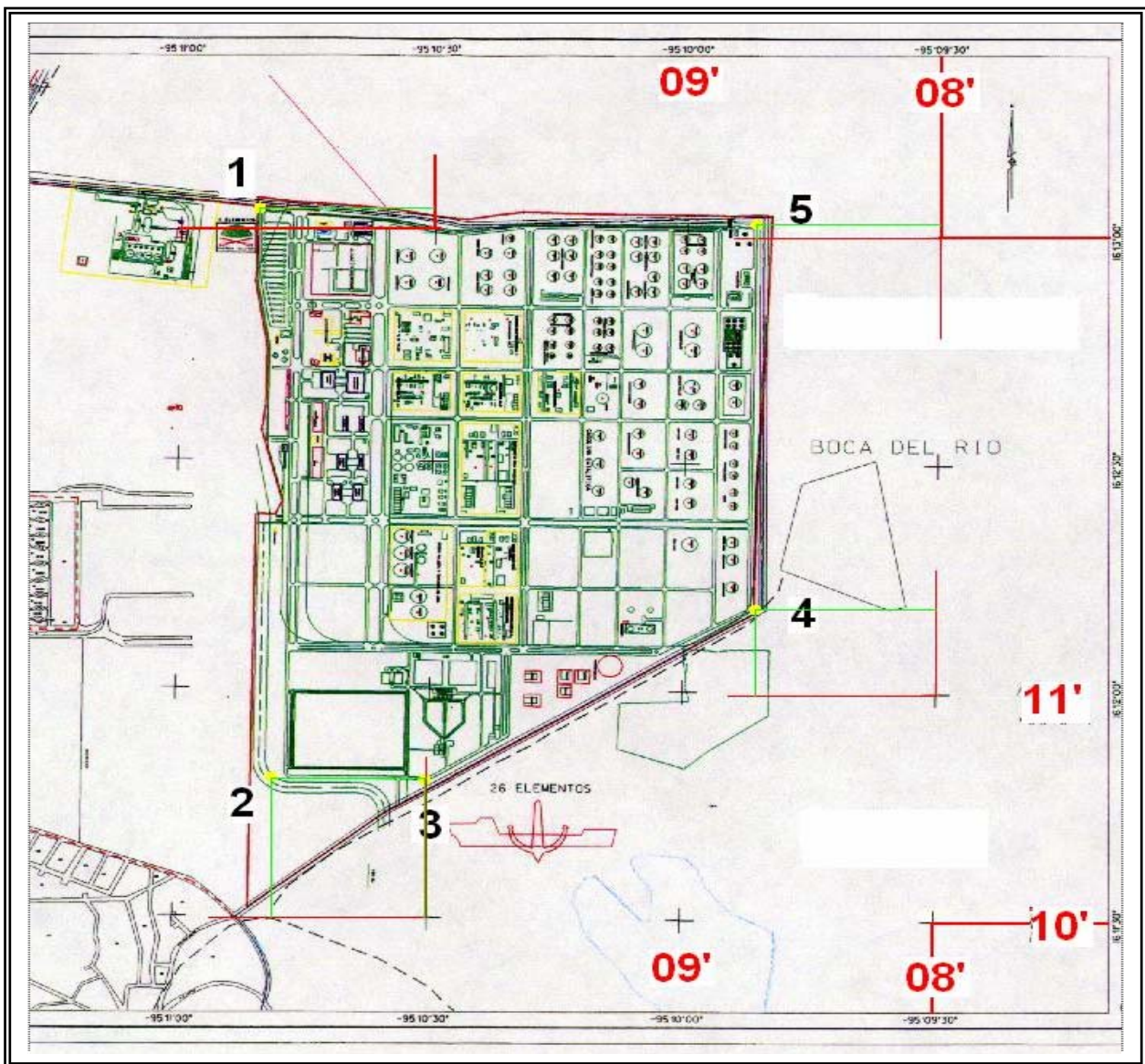


Figura 5. Vista aérea de la Ciudad de Salina Cruz, Oax. Se observa la refinera "Antonio Dovalí Jaime" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica. Fuente SICORI. 1996 Escala 1:0.2 km.

Cuadro 5. Ubicación geográfica de la refinera "Antonio M. Amor"

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	101° 11' 16"	20° 35' 11"
2	101° 11' 38"	20° 34' 23"
3	101° 10' 25"	20° 33' 56"
4	101° 10' 15"	20° 35' 11"

Clima: (A)C(w₀)(w)a(e)g según Koppen, modificado por García.

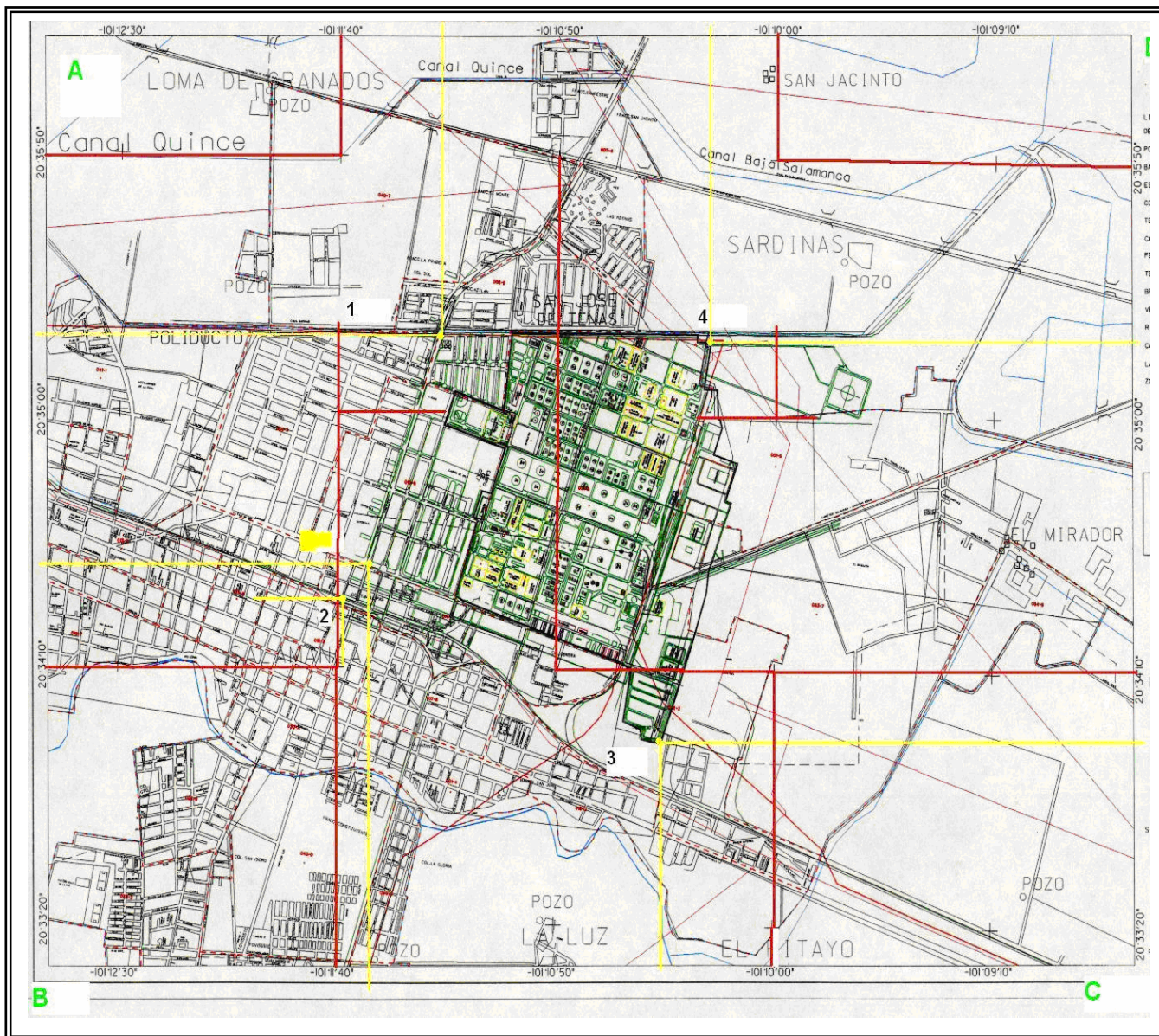


Figura 6. Vista aérea de la Ciudad de Salamanca, Gto. Se observa la refinera "Antonio M. Amor" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica. Fuente SICORI. 1996 Escala 1:0.2 km.

Cuadro 6. Ubicación geográfica de la refinería "Lázaro Cárdenas"

Punto	Ubicación geográfica	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	94°32'27"	17°59'01"
2	94°32'26"	17°58'44"
3	94°31'41"	17°58'10"
4	94°31'34"	17°58'48"
5	94°31'21"	17°59'23"
6	94°31'53"	17°59'07"

Clima: Aw''-(w) (e) g según Koppen, modificado por García.



Figura 7. Ciudad de Minatitlán, Ver. Se observa la refinería "Lázaro Cárdenas" con los puntos seleccionados y la formación de los cuadrantes utilizados para su ubicación geográfica. Fuente INEGI. 1996 Escala 1:50 000.

Para complementar la información de las refinerías en cuanto extensión territorial y su ubicación con respecto a la ciudad, consultamos gacetas petroleras publicadas por el IMP y PEMEX, desarrolladas por diferentes Subdirecciones; en ellas se

desarrollan temas generales sobre esos centros de refinación. Los puntos que se destacan son la ubicación y extensión territorial, historia, infraestructura, producción, capacidad de almacenamiento, distribución y planes de ampliación.

En cuanto a ubicación local con respecto a la ciudad y extensión territorial encontramos que:

- La refinería "Antonio Dovalí Jaime" tiene una superficie total de 600 hectáreas y se localiza a cinco km al noroeste de la población de Salina Cruz, Oaxaca.
- "Antonio M. Amor" tiene una superficie de 373.6 ha y comparte sus límites con la ciudad de Salamanca, Guanajuato.
- "Francisco I. Madero" tiene una superficie de 600 ha y se encuentra localizada en el margen izquierdo del río Pánuco, casi en su desembocadura al Golfo de México, dentro del municipio de Cd. Madero, Tamaulipas.
- "Héctor R. Lara Sosa" está localizada a 36 km al Este de la ciudad de Monterrey y para una mejor ubicación está en la ciudad de Cadereyta de Jiménez con una superficie total de 489.5 ha.
- "Gral. Lázaro Cárdenas" se encuentra localizada dentro del municipio de Minatitlán, Veracruz; cuenta con una superficie de 200 ha que están ubicadas en el margen izquierdo del río Coatzacoalcos.
- "Miguel Hidalgo" está localizada en el municipio de Tula de Allende, Estado de Hidalgo a ocho km al oriente de la cabecera del municipio y 82 km al norte del área metropolitana de la Ciudad de México. Su área aproximada es de 594.15 ha.

5.2 Localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.

- **Servicio Meteorológico Nacional (SMN).**

La búsqueda de información para este punto fue visitar el Servicio meteorológico Nacional (SMN) ubicada en la Av. Observatorio del Distrito Federal. En la sala de consulta se solicitó la información pero acceder a ella era necesario redactar una misiva y entrevistarse con personal del Área del Banco Nacional de Datos Climatológicos (conocido como CLICOM) y el Área de Proyectos de Climatología.

Se redactó la carta dirigida al Servicio Meteorológico Nacional, para que se proporcionaran los datos mensuales máximos, mínimos y promedios de la dirección y velocidad del viento, temperatura y humedad relativa; durante el periodo comprendido de 1980 a 1998, procedentes de:

- Las estaciones automáticas que se encuentren más cercanas a las ciudades de Cadereyta, Nvo. León, Cd. Madero, Tamps., Salamanca, Gto., Minatitlán, Ver., Salina Cruz, Oax. y Tula, Hgo.
- Resúmenes con los reportes mensuales de las estaciones climatológicas.
- Datos mensuales de los observatorios más cercanos a las ciudades mencionadas.

Una vez leída la carta por el personal, y antes de ser entregada, se hizo la aclaración de que en algunos de los puntos solicitados ya no tenían registro; este caso en particular fue para las estaciones automáticas. En el **Cuadro 7**. Se muestran

algunas estaciones automáticas con su clave, estado nombre de la estación, longitud, latitud y altitud. Lo que respecta a las estaciones meteorológicas, de igual forma, se comentó que las estaciones meteorológicas comprenden a las estaciones climatológicas y observatorios; las diferencias entre ellas están: la preparación académica del personal que allí labora, cantidad de parámetros que se registran, tipos y formas de medición, y su ubicación con respecto a las ciudades.

Cuadro 7. Estaciones automáticas del SMN

Clave	Estado	Estación	Longitud	Latitud	Altitud m.s.n.m.
NL16	NL	Las enramadas	99° 30' 00"	25° 29' 00"	190
NL61	NL	Monterrey	100° 26' 18"	25° 40' 11"	525
OX62	OAX	Salina cruz	95° 10' 45"	16° 10' 15"	2.2
OX63	OAX	Oaxaca	96° 43' 00"	17° 15' 00"	1518
QO61	QRO	Querétaro	100° 22' 00"	20° 36' 00"	1813
TM64	TAMPS	Tampico	97° 51' 22"	22° 12' 00"	25.5
VR62	VER	Coatzacoalcos	94° 24' 00"	18° 08' 00"	24
GT01	GTO	Celaya	100° 49' 00"	20° 32' 00"	1752
GT05	GTO	Irapuato	101° 21' 00"	20° 41' 00"	1724
GT16	GTO	Salamanca	101° 12' 00"	20° 34' 00"	1721
GT23	GTO	Guanajuato	101° 17' 08"	21° 00' 20"	1999

- **Banco Nacional de Datos Climatológicos CLICOM.**

De acuerdo con el CLICOM una estación climatológica está diseñada para registrar parámetros meteorológicos diarios y en periodos mensuales del viento, nubosidad, visibilidad, temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación, suelo nevado, insolación y temperatura del suelo. Pero en la actualidad, solo se registran los parámetros meteorológicos como son la temperatura máxima, mínima y promedio, así como la precipitación, nubosidad y presión atmosférica. La cantidad de datos registrados varía según la estación climatológica, y en otros casos, son nulos por haber dejado de funcionar o de mandar información al SMN. Con todas esta problemática la información de las observaciones meteorológicas recabadas se hacen en cintas magnéticas especiales, para que posteriormente, en el SMN se traduzcan y se lleven a una base de datos.

Teniendo en consideración la aclaración hecha por la gerencia del SMN sugirió que para la entrega de información se especificaran las claves de las estaciones haciendo consultas en cartas climáticas, allí existentes.

En la mapoteca del SMN, se buscó y se encontró dicho material recomendado. Las cartas climáticas encontradas, fueron editadas por el INEGI bajo la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional en 1980 y están divididas por ocho regiones que son Tijuana, La Paz, Chihuahua, Mérida, Guadalajara, Monterrey, México y Villahermosa (escala 1:1 000,000) las cuales forman en su conjunto el territorio nacional; siendo las cuatro últimas, las regiones que contienen las seis refinerías de PEMEX. Cabe mencionar que la carta de climas de Villahermosa se adquirió mediante la compra en el departamento de ventas en el INEGI.

Cada carta, de forma general, muestra en el frente cuadros que contienen la simbología, tipos y descripción del clima según Köppen (modificado por E. García), escala, límites territorial y marítimo de la República Mexicana denotando en el contorno las coordenadas geográficas base. En la zona territorial se distingue el mosaico climático característico del lugar por coloraciones; estados, capitales y localidades que en ellos se encuentran las estaciones meteorológicas clasificadas por

claves. Con la clave, en el reverso del mapa, encontramos tablas con información del nombre de la estación y dos parámetros meteorológicos, temperatura y precipitación, comprendida entre 5 y 50 años.

Para la selección de las estaciones meteorológicas se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

Clima. Todas las estaciones climáticas seleccionadas debieron asemejar el mismo clima, es decir, encontrarse dentro del área climática que poseen los centros de refinación en particular, sin importar la cantidad de ellas en el lugar.

Proximidad. La distancia entre la refinería y la estación no rebasara más allá de 30' (aprox. 50 km) tanto en longitud como en latitud, pero considerando forzosamente el primer criterio.

- **Área de Proyectos de Climatología.**

Por lo que respecta a los observatorios, en esta área se informó, que al igual que en las estaciones climatológicas, fueron diseñados para registrar una gran variedad de parámetros meteorológicos como máximos, mínimos y promedios de la dirección y velocidad del viento, hora, precipitación, insolación y fenómenos diversos (hidrometeoros, litometeoros, eleometeoros, fotometeoros, electrometeoro y altura de nieve). Sin embargo, actualmente no todos los parámetros son registrados ya que por las mismas razones que las estaciones climatológicas, no se destinan recursos económicos para el mantenimiento de los aparatos de medición. Solo algunos de ellos son los que se mantienen en funcionamiento por su sencillo manejo y fácil operación.

En particular, los parámetros meteorológicos que aun se siguen registrando son viento dominante y su velocidad media; temperatura media, máxima extrema y mínima extrema; humedad relativa media y precipitación total. Todos estos son evaluados por periodos mensuales en tarjetas de resumen mensual y anual.

En cuanto a los observatorios y su selección, no se tomaron en cuenta los mismos criterios que para las estaciones climatológicas ya que ellos solo se localizan en las ciudades más importantes del país.

Finalmente, las estaciones meteorológicas que se obtuvieron, de acuerdo a los criterios antes mencionados, se acomodaron en cuadros que describen la clave y el nombre de la estación. La ubicación geográfica y la altitud de cada estación se obtuvieron mediante la consulta del Manual publicado por la SARH (1984). Este manual describe la relación de estaciones y observatorios de la red meteorológica nacional. En la cuadro 8 a la 13 se presentan las estaciones y su respectiva refinería.

Cuadro 8. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Francisco I. Madero".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Tamaulipas	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
28-111	Tampico	Tampico	97° 51'	22° 13'	0	BS ₁ kw(w)(i)g
28-110	Observatorio	Tampico	97° 51'	22° 14'	9	BS ₁ kw(w)(i)g

- Carta de climas México utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 9. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Veracruz	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
30-064	Hidalgotitlán	Hidalgotitlán	94° 39'	17° 47'	40	Aw'' ₂ (i)
30-107	Minatitlán	Minatitlán	94° 32'	17° 59'	64	Am(i)g
30-113	Nanchital	Ixhuatlán del Sureste	94° 23'	18° 04'	16	Am(f)(i)g
30-027	Observatorio	Coatzacoalcos	94° 25'	18° 08'	22	Amw''(i)g

* Carta de climas Villahermosa utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 10. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Oaxaca	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
20-053	Km 51+740	Juchitán de Zaragoza	95° 43'	16° 25'	40	Aw'' ₀ (w)
20-062	Las pilas	Sta. María Mixtequilla	95° 19'	16° 24'	51	Aw'' ₀ (w)ig
20-088	Santiago Pinoteca Nacional	Santiago Pinoteca Nacional	95° 11'	16° 25'	14	Aw'' ₁ (w)(i)g
20-295	Sta. María del mar	Juchitán de Zaragoza	94° 51'	16° 14'	6	Aw'' ₀ (w)ig
20-100	Observatorio	Salina cruz	95° 11'	16° 10'	11	Aw'' ₀ (w)ig

* Carta de climas Villahermosa utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 11. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Miguel Hidalgo".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Hidalgo	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
13-040	Tula de Allende	Tula de Allende	99° 21'	20° 03'	2066	BS ₁ kw''(w)(i)
13-075	Jasso tula de Allende	Tula de Allende	99° 19'	20° 01'	2052	BS ₁ kw(w)(i)g
13-080	Presa Endo	Tepetitlán	99° 20'	19° 57'	2048	C(w ₀)(w)a(i)g
13-084	Km 34 Requena	Tepeji del Río	99° 20'	19° 57'	2109	BS ₁ kw(w)i'
13-092	Tula	Tula	99° 21'	20° 03'	2036	BS ₁ kw''(i)g
13-022	Observatorio	Pachuca	98° 44'	20° 08'	2417	BS ₁ k''w''(i)g

* Carta de climas México utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 12. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Nuevo León	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
19-008	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	100° 00'	25° 36'	349	(A)C _x 'a(e)
19-012	Ciénega de las flores	Ciénega de las flores	100° 10'	25° 57'	382	(A)C _x 'a(i)
19-039	Las Enramadas	Los Ramones	99° 31'	25° 41'	223	(A)C _x 'a(e)
19-056	San Juan	Cadereyta	99° 51'	25° 33'	-	BS ₁ (h)hw''(e)
19-052	Observatorio	Monterrey	100° 18'	25° 41'	512	BS ₁ (h)hw''(e)

* Carta de climas Monterrey utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 13. Estaciones meteorológicas seleccionadas alrededor de la Refinería "Antonio M. Amor".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Guanajuato	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud (msnm)	Clima
11-028	Irapuato	Irapuato	101° 21'	20° 41'	1724	(A)C(w ₀)(w)a(e)g
11-041	Los Razos	Salamanca	101° 07'	20° 42'	-	(A)C(w ₀)(w)a(e)g
11-052	Pericos Valtierra	Salamanca	101° 07'	20° 32'	1772	C(w ₀)(w)b(e)g
11-054	Salamanca	Salamanca	101° 12'	20° 34'	1721	(A)C(w ₀)(w)a(e)g
11-096	Salamanca	Salamanca	101° 11'	20° 34'	1722	(A)C(w ₀)(w)a(e)g
11-100	San Roque Hacienda	Celaya	100° 50'	20° 34'	-	BS ₁ hw(w)(e)
22-013	Observatorio	Querétaro	100° 22'	20° 36'	1813	

* Carta de climas Guadalajara utilizado para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

5.3 Obtención de datos.

La entrega de los parámetros meteorológicos solicitados en las dos áreas del Servicio Meteorológico Nacional, fue de la siguiente manera:

- **Banco Nacional de Datos Climatológicos CLICOM.**

Esta área posee una base de datos de todas las estaciones climatológicas, incluyendo las que actualmente han dejado de operar. El personal del Banco Nacional de Datos Meteorológicos recaba su información climatológica en cintas magnéticas, para que posteriormente sean capturadas, ordenadas y almacenadas en una base de datos en Excel de Windows. Así los datos quedan ordenados en una tabla de 15 columnas, de las cuales, en la primera se encuentra la clave de la estación; en la segunda, tipo de temperatura registrada (media, mínima y máxima); el año de registro que va desde 1980 hasta 1998 (periodo de recopilación) se ubica en la tercera columna; y las 12 columnas restantes, la media mensual de la temperatura. Ejemplo Cuadro 14.

Cuadro 14. Registro de temperatura en °C del CLICOM, para la estación climática de Juchitán, Oax.

Station	ELEMENT	Año	Val1	Val2	Val3	Val4	Val5	Val6	Val7	Val8	Val9	Val10	Val11	Val12
20295	Temp mean mly	1980	25.6	24.6	28.2	27.7	30.0	28.9	29.1	28.4	28.1	27.1	25.0	23.8
20295	Temp mean mly	1981	24	24.68	27.5	29.6	30.7	27.6	28.4	27.7	27.8	27.4	25.6	25.6
20295	mean max	1980	29.7	28.9	32.7	32.1	34.3	33.3	33.1	32.3	31.6	30.8	28.6	27.3
20295	mean max	1981	28.1	28.7	32.5	34.6	35.3	31.2	32.3	31.2	31.3	31	28.9	29.7
20295	mean min	1980	21.4	20.4	23.6	23.4	25.7	24.6	25	24.1	24.6	23.5	21.3	20.3
20295	mean min	1981	19.9	20.6	22.5	24.6	26	23.9	24.6	24.3	24.4	23.9	22.2	21.6

* Temp mean mly = temperatura media mensual, mean max = temperatura máxima mensual y mean min = temperatura mínima mensual.

La información solicitada de las estaciones climáticas se proporcionó en un disco flexible de 3^{1/2}". En los siguientes cuadros 15 a 20 se muestran las estaciones, su clave, nombre, localidad y los años que tuvieron registro de temperatura desde 1980 a 1998.

Cuadro 15. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Lázaro Cárdenas".

Clave	Estación climatológica	Localidad de Veracruz	Registros obtenidos de la estación
30-064	Hidalgotitlán	Hidalgotitlán	1980 y 1983
30-107	Minatitlán	Minatitlán	1980 a 1993
30-113	Nanchital	Ixhuatlán del Sureste	1980 a 1983

Cuadro 16. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Antonio Dovalí Jaime".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Oaxaca	Registros obtenidos de la estación
20-053	Km 51+740	Juchitán de Zaragoza	1980 a 1983
20-062	Las pilas	Sta. María Mixtequilla	1980 a 1982
20-088	Santiago Pinoteca Nacional	Santiago Pinoteca Nacional	1991 a 1993
20-295	Sta. María del mar	Juchitán de Zaragoza	1980 a 1989

Cuadro 17. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Francisco I. Madero".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Tamaulipas	Registros obtenidos de la estación
28-111	Tampico	Tampico	1980 a 1997

Cuadro 18. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Miguel Hidalgo".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Hidalgo	Registros obtenidos de la estación
13-040	Tula de Allende	Tula de Allende	1980 a 1988
13-075	Jasso tula de Allende	Tula de Allende	1980 a 1988
13-080	Presa Endo	Tepetitlán	1980 a 1988
13-084	Km 34 Requena	Tepeji del Río	1980 a 1984
13-092	Tula	Tula	1980 a 1988

Cuadro 19. Años de registro de temperatura obtenida del CLICOM para la refinería "Héctor Lara Sosa".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Nuevo León	Registros obtenidos de la estación
19-008	Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	1980 y 1981
19-012	Ciénega de las flores	Ciénega de las flores	1980 a 1986
19-039	Las Enramadas	Los Ramones	1980 a 1986
19-056	San Juan	Cadereyta	1980 a 1986

Cuadro 20. Años de registro de temperatura obtenidas del CLICOM para la refinería "Antonio M. Amor".

Clave	Estación meteorológica	Localidad de Guanajuato	Registros obtenidos de la estación
11-028	Irapuato	Irapuato	Sin dato
11-041	Los Razos	Salamanca	1980 a 1986
11-052	Pericos Valtierra	Salamanca	1980 a 1986
11-054	Salamanca	Salamanca	1980 a 1986
11-096	Salamanca	Salamanca	1980 a 1986
11-100	San Roque Hacienda	Celaya	1980 a 1986

- **Área de Proyectos de Climatología.**

Como se comentó anteriormente, los observatorios registran una gran cantidad de parámetros meteorológicos por día y hora; su almacenamiento se realiza en hojas especiales de anotación, llamadas "sábanas"; posteriormente, éstas se envían al **Área de Proyectos de Climatología** y a la **Unidad de Información** del SMN. Personal del área de proyectos descifra y captura la información contenida de las sábanas, y son reenviadas, a la **Unidad de Información** para su proceso estadístico (promedios) y almacenamiento en tarjetas de resumen. Cada tarjeta meteorológica de resumen contiene la siguiente información: nombre de la estación; nombre, número y unidad del elemento meteorológico registrado; los años y meses de observación. A continuación se presenta en el **Cuadro 21** una tarjeta de resumen mensual y anual que se tiene en la biblioteca del SMN.

Cuadro 21. "TARJETA DE RESUMEN MENSUAL Y ANUAL"

D.G.G. y M.

No. ___

NOMBRE DE EST. _____

ELEMENTO MET. _____

UNIDADES _____

AÑOS	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
SUMA													
MEDIA													

Por lo anterior, se pidió a la unidad de información del SMN copias de las dos últimas tarjetas de resumen mensual y anual de temperatura media máxima y mínima; dirección dominante y velocidad media del viento; y media de la humedad relativa. Las tarjetas correspondieron a los observatorios de las ciudades de Salina Cruz, Oax., Pachuca, Hgo., Querétaro, Qro., Tampico, Tamps., Monterrey, N. L., Coahuila de Zaragoza, Ver., Los años requeridos fueron de 1980 hasta 1998, de igual forma que se requirió en las estaciones climatológicas. No obstante, por no considerarse los registros del año 1980 en las tarjetas, debido que iniciaban en 1981, fue necesario realizar una captura manual de los datos en formatos elaborados en Excel.

A continuación en el Cuadro 22 se describe el número de datos registrados de los parámetros antes mencionados y los observatorios previamente seleccionados. Por igual, se muestra la suma de datos que se tuvieron por año para cada observatorio.

Cuadro 22. Cantidad de parámetros meteorológicos obtenidos desde 1980 a 1998 por observatorio.

Año	20-100 Salina Cruz	13-022 Pachuca	22-013 Querétaro	28-110 Tampico	30-027 Coahuila de Zaragoza	19-052 Monterrey
	Meses registrados	Meses registrados	Meses registrados	Meses registrados	Meses registrados	Meses registrados
1980	sin dato	12	12	12	12	12
1981	sin dato	12	7	11	12	12
1982	sin dato	7	9	12	12	12
1983	sin dato	12	12	11	12	12
1984	4	12	12	12	12	11
1985	8	12	11	8	12	sin dato
1986	sin dato	11	sin dato	sin dato	12	1
1987	7	12	sin dato	7	12	3
1988	12	11	5	11	11	1
1989	7	12	sin dato	12	12	sin dato
1990	9	12	10	12	12	sin dato
1991	11	12	11	12	6	sin dato
1992	12	12	12	12	sin dato	12
1993	12	12	12	12	sin dato	12
1994	11	12	12	12	sin dato	12
1995	6	11	11	11	sin dato	12
1996	3	12	12	12	sin dato	12
1997	2	12	12	12	sin dato	12
1998	sin dato	5	4	7	sin dato	5

- **Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).**

Esta información se consiguió a partir de la página informativa Intranet correspondiente al IMP cuyo nombre es Itzamná; esta página cuenta con una base de datos meteorológicos de en forma diaria y durante un periodo de tiempo comprendido entre los años de 1990 a 1994. Se adquirió del Centro Nacional de Datos Climatológicos, proveniente del Servicio Nacional Satélite Ambiental de Datos e Información, dirigido por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Todos ellos forman parte del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data and Information Service, National Climatic Data Center), con sede en Asheville, NC.

La página de Itzamná se presenta como una hoja de cálculo especial (formato *.prn) en el cual los datos se distribuyen en columnas y filas. Las columnas comprenden la clave de la estación Est, fecha y hora de registro, y

parámetro meteorológico (dirección del viento **DIR** en escala gradual, comprendido entre 0 y 360°; velocidad del viento **SPEED** en m/s; temperatura bulbo seco **DBT** , bulbo húmedo **DPT** en °C; y en porcentaje, la humedad relativa). **Cuadro 23.**

Cuadro 23. Formato original de los datos en Itzamná.

Est.	Fecha	hora	DIR.	SPEED	DBT.	DPT.
3900	04/01/1990	12:00	220	3	10.5	5.2
3900	04/01/1990	18:00	70	4	15.1	8
3900	05/01/1990	12:00	270	6	11.2	6.6
3900	05/01/1990	18:00	270	7	17.4	9.2

* En el cuadro se observa la clave de la estación dirección del viento (DIR.), velocidad del viento (SPEED) y temperatura bulbo seco (Dry Bulb Temperature)

El criterio que se usó para determinar los lugares de observación satelital fue el mismo que se empleó para los observatorios. Es así que, se seleccionaron las estaciones más cercanas a las refineras. En el **Cuadro 24** se observan la ciudad y la clave de la estación.

Cuadro 24. Clave, nombre y localidad de las estaciones satelitales seleccionadas a las diferentes refineras de PEMEX.

Clave de la Estación satelital	Localidad	Refinería
5480 5491 5493 5494	Tampico	"Francisco I. Madero"
8330 8485 8486	Salina Cruz	"Antonio Dovalí Jaime"
6650 6655 6656	Salamanca	"Antonio M. Amor"
7383 7410	Coatzacoalcos	"Gral. Lázaro Cárdenas"
3900 3930 3940 3943 3944	Cadereyta	"Héctor R. Lara Sosa"
6340 6342	Tula	"Miguel Hidalgo"

Una vez ubicadas las estaciones satelitales, su formato fue guardado y clasificado en su forma original (archivo *.prn) para que posteriormente, se le abriera desde el programa de office. Esta hoja de cálculo despliega al usuario varios diálogos interactivos para especificar el tipo de formato requerido al manejo de información. Finalmente, el formato fue un archivo *.xls manejable dentro del programa, y listo, para ser tratado estadísticamente.

- **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).**

En la mapoteca del Servicio Meteorológico Nacional se consultaron los mapas climatológicos de Monterrey y Guadalajara (escala 1:1 000 000); el de Villahermosa y México se adquirieron en el departamento de ventas del INEGI. Para la compra de dichos mapas se hicieron los depósitos bancarios y se envían junto con un oficio dirigido al Asesor de Ventas **C. Lizbeth Quezada** del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática con sede en Aguascalientes, Ags. Como

anteriormente se describió en el segundo punto de los resultados, específicamente en el reverso donde se encuentran las tablas de información meteorológica, los datos de la temperatura promedio obtenidos se recopilaron y se vaciaron en cuadros sin darles algún tratamiento estadístico. No obstante, los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de las estaciones meteorológicas para cada refinería fueron las mismas que se usaron para las estaciones climatológicas. Cuadros 25 a 30 las estaciones seleccionadas en el que describen la ciudad, claves y nombres de las estaciones, y los años considerados para el promedio de la temperatura para cada mes.

Cuadro 25. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Francisco I. Madero" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
28-055	Tampico 1	55	18.6	20.1	22.2	24.7	26.8	27.9	27.9	28.2	27.3	25.7	22.1	19.8
28-161	Tampico 2	15	18.4	19.7	22.4	2.5	27.5	28.1	28.1	28.2	27.5	25.7	22.8	2.01
28-028	Cd. Madero	14	19	20.1	22.7	25.2	26.7	27.3	28.3	28.2	26.9	24.9	22.3	19.4

Cuadro 26. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Antonio M. Amor" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
11-022	Irapuato	53	16.5	18.3	20.5	22.4	23.9	23.3	22	21.7	21.3	20.3	18.4	16.8
11-036	Pericos V.	38	13.5	14.8	17.1	19.3	21	20.9	19.8	19.9	19	17.4	15.7	14.1
11-056	San Roque	13	14.4	15.9	17.9	19.8	21.5	21.6	20.8	20.5	19.8	18	16.2	14.8
11-044	Salam. 1	38	15.4	16.9	19.3	21.6	23.4	22.9	21.6	21.5	20.9	19.5	17.7	16
11-085	Pueblo N.	13	15.7	16.6	19.6	22.3	23.4	23	22.1	22.1	21.5	19.9	18.2	15.9
11-108	Los Razos	8	17.4	18	21.4	23.7	25.2	23.4	22.8	22.7	22.8	22	19.2	17.2
11-110	Salam. 2	8	15.3	16.9	19.7	21.7	23.2	22.4	21.2	21.2	20.5	18.6	17.3	15.6
11-102	Gto. 1	7	14.3	15.4	17.9	20.9	21.3	20.6	19.4	19.4	19.1	17.9	16.1	14.4
11-019	Gto. 2	50	14.2	15.8	18.1	20.2	21.3	20.2	19	19	18.4	17.4	16	14.7

Cuadro 27. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Héctor R. Lara Sosa" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
19-005	Cadereyta	20	14.1	16.3	20	24.3	26.5	29.2	28.4	29.1	26.7	22.8	18.3	14.6
19-008	Cienega F	33	13.4	15.6	19.3	23.8	27	29	29.3	29.2	26.8	22.4	17.2	14
19-014	Enramadas	46	14.3	16.9	20.4	24.7	27	29.3	29.9	30	27.3	23.9	18.3	15.1
19-030	Monterrey 1	52	14.8	16.9	20.2	23.6	25.9	27.4	27.9	27.9	25.6	22.3	18	15.2
19-038	San Juan	23	14.9	17.9	21.7	24.5	27.1	28.5	29.3	28.7	27.1	24.4	19	15.6
19-075	Monterrey 2	27	14.6	16.1	19.8	23.5	26	27.7	28.4	28.3	26.3	22.3	18.2	15

Cuadro 28. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Miguel Hidalgo" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
13-060	Tula 1	49	13.8	15.3	17.8	19.4	20.3	20.2	19.4	19.4	18.7	17.1	15.2	14
13-102	Tula 2	21	13.3	14.8	17.4	19.3	19.9	19.9	18.9	19.1	18.6	17	15.2	13.7
13-051	Km 21 Teo.	7	12.9	14.9	15.9	18.2	18.5	18.8	18.6	18.6	17.7	18.9	14.6	13.1
13-086	Presa E.	5	13.5	14.5	17.1	18.9	19.9	19.1	18.1	18.9	17.9	16.5	14.8	13.3
13-084	Pachuca 1	55	12.1	13.2	15.2	16.2	16.3	15.5	14.7	14.8	14.3	13.5	12.5	12.1
13-084	Pachuca 2	5	12.3	13.4	15	17	17.4	15.6	14.5	14.8	14.7	14	13.2	12

Cuadro 29. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería "Antonio Dovalí Jaime" en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20-047	Juchitan	35	25.1	25.8	27.2	28.9	29.5	28.4	28.3	28.7	27.8	27.1	26.4	25.6
20-080	Salina Cruz	54	25.5	25.8	27	28.4	29.4	28.2	28.5	28.6	27.6	27.4	26.7	25.8
20-113	Tehuantepec	38	26.3	26.4	27.8	28.9	29.8	29	29.5	29.7	28.7	28.6	27.6	26.4
20-177	KM. 51+740	8	24	24.4	26.7	27.6	28.1	27.6	27.4	27.6	27.1	26.8	26.2	25.7
20-190	Las Pilas	10	26.1	26.1	27.2	28.5	29.1	28.4	29.1	28.7	27.9	28.1	27.4	26.6

Cuadro 30. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las cartas climáticas del INEGI para la refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” en y cantidad de datos considerados para el promedio de las temperaturas.

CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
30-025	Coatza. 1	41	22.2	22.9	24.6	26.4	27.7	27.6	27.3	27.4	26.9	25.6	24.2	22.7
30-256	Coatza. 2	12	22.4	23	25.1	26.9	27.9	28.1	27.2	27.7	27	26.2	23.9	22.2
30-040	Hidalgotitlan	6	21.8	23	24.8	27.4	28.2	28.3	27.2	27.7	27	26.1	24.2	21.8
30-066	Minatitlan	34	23	23.4	25.5	27.4	28.7	28.3	27.8	27.7	27.6	26.2	24.5	23.2
30-073	Nanchital	24	22.2	22.6	26.8	27.1	28.2	28	27.1	27.4	26.9	25.8	24.2	23

5.4 Captura de la información y arreglo de la base de datos.

Toda la información que se obtuvo de las diversas fuentes será capturada en una hoja de cálculo para ser utilizada en un programa de cómputo. La hoja de cálculo que se usó en este estudio es la de Microsoft Excel, ya que es de fácil manejo y funcional para cualquier formato de operación en diversos programas. Por lo tanto, el orden de las columnas fue la siguiente: CLAVE, FUENTE, AÑO, MES, temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), temperatura promedio (TPROM), humedad relativa máxima (HRMAX), humedad relativa mínima (HRMIN), humedad relativa promedio (HRPROM), dirección dominante (DIR-DOM) y velocidad promedio (VEL-PROM). Por cantidad de parámetros meteorológicos registrados y obtenidos de cada fuente, las tablas variaban en la cantidad de columnas.

Las fuentes han sido mencionadas con anterioridad, por lo que serán descritas en el mismo orden:

- **Estaciones climatológicas.** Después de recibir dicha información meteorológica, que solo fueron registros de temperatura máxima, mínima y promedio, el orden se dio según el número-clave de la estación. **Cuadro 31.**

Cuadro 31. Captura y ordenamiento de la temperatura por estación climatológica.

LOS RAZOS						
CLAVE	FUENTE	AÑO	MES	TMAX	TMIN	TPROM
11041	smn-ec	1983	Ene	22.1	7.3	14.7
11041	smn-ec	1983	Feb	25.5	5.8	15.6
11041	smn-ec	1983	Mar	29.0	8.5	18.8
11041	smn-ec	1983	Abr	32.8	11.7	22.3
11041	smn-ec	1983	May	33.4	16.7	25.1
11041	smn-ec	1983	Jun	33.2	17.1	25.1
PERICOS VALTIERRILLA						
11052	smn-ec	1981	May	30.1	11.8	21.0
11052	smn-ec	1981	Jun	28.9	16.1	22.5
PUEBLO NUEVO						
11054	smn-ec	1982	Dic	22.2	5.5	13.0
11054	smn-ec	1983	Ene	20.3	5.6	13.3

- **Observatorios.** El ordenamiento fue indistinto ya que solo se tuvo un observatorio por cada refinería. En la **Cuadro 32** se presenta el observatorio de Tampico como un ejemplo para el ordenamiento de los datos meteorológicos.

Cuadro 32. Captura y ordenamiento de los datos meteorológicos para el observatorio de Tampico.

Tampico											
CLAVE	FUENTE	AÑO	MES	TMAX	TMIN	TPROM	HRMAX	HRMIN	HRPROM	DIR_DOM	VEL_PROM
28110	smn-ob	1980	Ene	25.2	9.3	20.1	sin dato	sin dato	83	N	5.3
28110	smn-ob	1980	Feb	23.4	11	17.9	sin dato	sin dato	81	N	5.9
28110	smn-ob	1980	Mar	27.3	13.2	21.8	sin dato	sin dato	80	W	6.9
28110	smn-ob	1980	Abr	28.7	17.2	23.6	sin dato	sin dato	86	E	4.2
28110	smn-ob	1980	May	31.4	17.3	28.1	sin dato	sin dato	79	NE	3.6
28110	smn-ob	1980	Jun	32.1	19.7	29.1	sin dato	sin dato	75	E	4.8

- **Itzamná.** Se siguió el mismo ordenamiento que en los datos de las estaciones climatológicas. En la siguiente **Cuadro 33** se muestran tres estaciones y su arreglo final con los datos del Itzamná.

Cuadro 33. Arreglo final de los datos obtenidos del Itzamná.

Cadereyta											
CLAVE	FUENTE	AÑO	MES	TMAX	TMIN	TPROM	HRMAX	HRMIN	HRPROM	DIR_DOM	VEL_PROM
3900	itzamna	1990	Ene	15.3	8.1	11.7	76	56	67	W	3.9
3900	itzamna	1990	Feb	15.9	6.2	11.7	74	47	62	N	4.8
3900	itzamna	1990	Mar	19.3	11.8	16.5	69	48	58	NE	4.9
Madero											
5480	itzamna	1990	Ene	22.0	18.3	20.2	88	68	78	N	3.0
5480	itzamna	1990	Feb	23.5	19.0	21.6	85	58	72	N	3.5
5480	itzamna	1990	Mar	24.7	20.5	23.0	90	70	80	E	4.2
Salamanca											
5770	itzamna	1990	Ene	20.1	11.2	15.6	20	11	16	SW	2.5
5770	itzamna	1990	Feb	21.0	11.1	16.2	21	11	16	SW	2.6
5770	itzamna	1990	Mar	24.8	12.4	18.3	25	12	18	SW	3.0

- **INEGI.** Las tablas que se utilizaron para este punto, con respecto a la captura y arreglo de los datos, fueron los mismos cuadros elaborados para la obtención de datos (cuadro 25 al 30).

Con las tablas anteriores se prosiguió a elaborar una **base de datos general** para estandarizar y visualizar en conjunto los datos obtenidos de las diferentes fuentes. Además, este arreglo sirvió para integrarse al programa de cómputo interactivo **X-mon** (programa que mas adelante se describirá). Finalmente, en el **Cuadro 34**, se ejemplifica una parte de la **base de datos general** para la refinería "Héctor R. Lara Sosa" considerando los datos de las diferentes fuentes .

Cuadro 34. Base de datos general de los parámetros meteorológicos de las estaciones climatológicas, observatorio e Itzamná integrados en la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".

Refinería "Héctor R. Lara Sosa"											
Enramadas, Estación climatológica.											
CLAVE	FUENTE	AÑO	MES	TMAX	TMIN	TPROM	HRMAX	HRMIN	HRPROM	DIR_DOM	VEL_PROM
19039	smn-ec	1980	Ene	21.0	7.7	14.4	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Feb	21.0	6.6	13.8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Mar	27.8	11.9	19.9	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Abr	29.8	14.0	21.9	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	May	33.1	20.4	26.7	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Jun	37.1	21.6	29.4	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Jul	37.7	21.8	29.8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Ago	34.5	21.6	28.1	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Sep	34.8	20.7	27.8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Oct	26.7	15.4	21.0	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Nov	20.8	9.1	15.0	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
19039	smn-ec	1980	Dic	20.8	8.8	14.8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
Observatorio, Nuevo León											
19052	smn-ob	1980	Ene	21	10.5	15.4	sin dato	sin dato	72	NNE	1.1
19052	smn-ob	1980	Feb	22.6	9.3	15.5	sin dato	sin dato	59	ENE	1.9
19052	smn-ob	1980	Mar	27.6	14.2	20.5	sin dato	sin dato	49	ENE	1.9
19052	smn-ob	1980	Abr	30.6	16.5	23.1	sin dato	sin dato	50	ENE	2.3
19052	smn-ob	1980	May	32.4	21.8	26.5	sin dato	sin dato	71	ENE	1.9
19052	smn-ob	1980	Jun	37.4	23.4	29.4	sin dato	sin dato	61	ENE	2.2
19052	smn-ob	1980	Jul	37.6	23.6	29.5	sin dato	sin dato	56	ENE	2.3
19052	smn-ob	1980	Ago	33.8	22.8	27.4	sin dato	sin dato	67	ENE	1.7
19052	smn-ob	1980	Sep	34.2	22.5	27.4	sin dato	sin dato	65	ENE	1.5
19052	smn-ob	1980	Oct	26.4	16.9	21	sin dato	sin dato	71	ENE	1.4
19052	smn-ob	1980	Nov	21.4	10.9	15.4	sin dato	sin dato	74	ENE	2
19052	smn-ob	1980	Dic	19.4	10.2	14.4	sin dato	sin dato	80	NNW	1.9
Itzamná, Cadereyta											
3900	Itzamná	1990	Ene	15.3	8.1	11.7	76	56	67	W	3.9
3900	Itzamná	1990	Feb	15.9	6.2	11.7	74	47	62	N	4.8
3900	Itzamná	1990	Mar	19.3	11.8	16.5	69	48	58	NE	4.9
3900	Itzamná	1990	Abr	22.5	14.3	18.7	70	44	57	SSW	4.7
3900	Itzamná	1990	May	26.0	17.2	22.4	67	43	22	S	5.0
3900	Itzamná	1990	Jun	26.8	17.9	23.0	66	46	56	S	4.8
3900	Itzamná	1990	Jul	23.1	16.5	19.9	78	60	70	SSW	4.4
3900	Itzamná	1990	Ago	23.2	16.2	19.4	80	59	70	SW	4.6
3900	Itzamná	1990	Sep	21.1	15.3	18.0	85	69	78	SSE	3.7
3900	Itzamná	1990	Oct	29.7	12.2	15.9	86	63	75	N	4.0
3900	Itzamná	1990	Nov	19.1	10.3	14.9	72	54	64	N	4.4
3900	Itzamná	1990	Dic	17.9	10.7	13.6	59	47	53	SSW	5.3

* No se incluyen los datos meteorológicos de la fuente cartas climáticas de INEGI

5.5 Elaboración de los planos para cada refinería de PEMEX y la inserción a las ciudades correspondientes.

Los planos de las seis refinерías se tenían en el Área de Monitoreo del IMP, pero en el programa **Paint brush**; éstos habían sido elaborados por el personal que monitorea el ambiente en las zonas perimetrales de las refinерías. El propósito de su diseño fue el observar esquemáticamente, dentro de los informes, los puntos de monitoreo establecidos y la localización exacta de los mismos en las refinерías (**Figura 8**).



Figura 8. Plano de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" digitalizado por el personal de monitoreo del IMP. Se muestran también, los puntos de monitoreo perimetral a la refinерía hasta el año de 1999. * Informe Final de Inmisiones GCA-99010 en mayo de 1999. Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime" Salina Cruz, Oax. Estudio Integral para la evaluación y control Del impacto de emisiones e inmisiones en los Centros de Refinación

Autocad 14 y 2000 fueron las versiones utilizadas para la digitalización de planos de las refinерías. Este *software* es un programa de diseño gráfico por computadora que tiene las siguientes aplicaciones:

- ◆ Dibujar figuras geométricas y tridimensionales.

- ◆ Observar y ampliar sin distorsión planos arquitectónicos, figuras geométricas, objetos de ingeniería mecánica e industrial, circuitos eléctricos, etc.
- ◆ Compatibilizar archivos de diferente formato. Por ejemplo formatos con extensión *.dxf que maneja INEGI para la digitalización de planos de la superficie de la República Mexicana a formatos con extensión *.dwg de Autocad.
- ◆ Utilizar otros sistemas operativos. La plataforma básica es el ambiente Windows de Microsoft Corporation, pero también se pueden manejar Apple Macintosh de UNIX, como ejemplo de otros.

Después de conocer la utilidad de las diferentes aplicaciones del programa Autocad, se trabajó primeramente la versión 14, posteriormente se ocupó la versión 2000 que fue mejor en su manejo ya que mostraba las aplicaciones en español y con más herramientas de ayuda.

Los planos que habían sido realizados por el Área de Monitoreo se transportaron al ambiente Autocad para ser usados como plantillas en la digitalización; los pasos desarrollados fueron los siguientes :

1. En cada inicio, al trabajar en el programa Autocad, se desplegaba una ventana con tres opciones. La primera "abrir dibujos" correspondía a la apertura de un dibujo ya existente; la segunda, la opción "crear dibujos", en donde se podía seleccionar el cómo iniciar (si era a partir de una **plantilla** predeterminada, **desde el inicio** con dos sistemas de unidades, la inglesa y la métrica, y finalmente, el **tipo de asistencia** con configuración rápida o avanzada); como última opción se tenía la "biblioteca de símbolos" que permitía la inserción de diversas formas geométricas predeterminadas a cualquier dibujo en elaboración, como por ejemplo objetos para una vivienda, una cocina, objetos para electrónica básica, etc.
2. Para seleccionar el **tipo de unidades** (sistema métrico o inglés), el **tipo de asistencia**
3. **Tipo de configuración** (rápida o avanzada) en donde se selecciona una plantilla de fondo de manera más precisa, lo cual incluía unidad, medida y dirección del ángulo y área; además, de contar con un **vínculo de trabajo** para operar el Autocad desde la web o Intranet.

En el diseño y para las necesidades de compatibilidad a los planos de INEGI , se seleccionó las siguientes opciones: Sistema métrico, Asistencia avanzada sin vínculo alguno (aunque ya se había trabajado en Intranet del IMP); no obstante, fue necesario adquirir el programa e instalarlo en las computadoras debido a que en Intranet del IMP permanecía frecuentemente saturado.

1. Terminados la selección en las ventanas de diálogo, se abría el programa Autocad y desde ahí se **importaba** (traer el archivo del plano al programa activo) como imagen. Como la imagen del plano aparecía aislada y con un tamaño relativamente pequeño a la visión en la pantalla, se expandía y se centraba hasta que el plano no presentara modificación alguna en las figuras (tanque de almacenamiento fraccionadora, quemadores área administrativa etc.); lo anterior para tener un fácil manejo y una mejor panorámica en los trazos de copiado.
2. Los trazos de líneas y contornos se hacían tomando como base la **superposición** del plano previamente importado en Autocad. Es así, que se comenzaba a digitalizar el plano de las refinerías mediante las herramientas de diseño contenidos en el programa (líneas, curvas y formas geométricas).
3. Una vez realizado los trazos, Autocad tenía una opción para utilizar, si así se requería, diferentes capas de guardado; es decir activar o desactivar de la pantalla un grupo de trazos y líneas en la región dentro del plano.

4. Las capas fueron similares en cada refinería, por lo tanto solo había que darle su clasificación, el nombre y un color. Para el contorno lineal de las refinerías les correspondió las capas "exterior" y el color amarillo; la zona administrativa recibió las capas "A. Adva" y color azul; las unidades de refinación con las capas "U. Ref." y color rojo; calles internas de la refinería y las avenidas exteriores recibieron las capas de "calles" con color verde; y "nombres" bajo el color blanco para el caso de la nomenclatura (nombre de calles, y avenidas, nombre de unidades de refinación, nombre de edificios etc).
5. En cada digitalización de los planos fue necesario apoyarse de otros mapas para conformar detalladamente a la refinería. Por ejemplo, para nombrar específicamente el elemento trazado (tal como se clasifica a un tanque de almacenamiento, a una planta de fraccionamiento primaria o a la ubicación de calles y avenidas, etc.) se usaron planos que se encontraron en los archivos del área que no tenían alguna etiqueta ni la procedencia pero si habían sido de gran utilidad para ubicar los puntos donde se harían los muestreos dentro de la refinería en un trabajo como es fue intitulado "Evaluación de Inmisiones en Forma Perimetral en las Refinerías de PEMEX", en 1997; así como una plantilla para las realización de las refinerías en Paint brush, antes mencionados. **Figura 9** Refinería "Antonio M. Amor" digitalizado por Autocad.

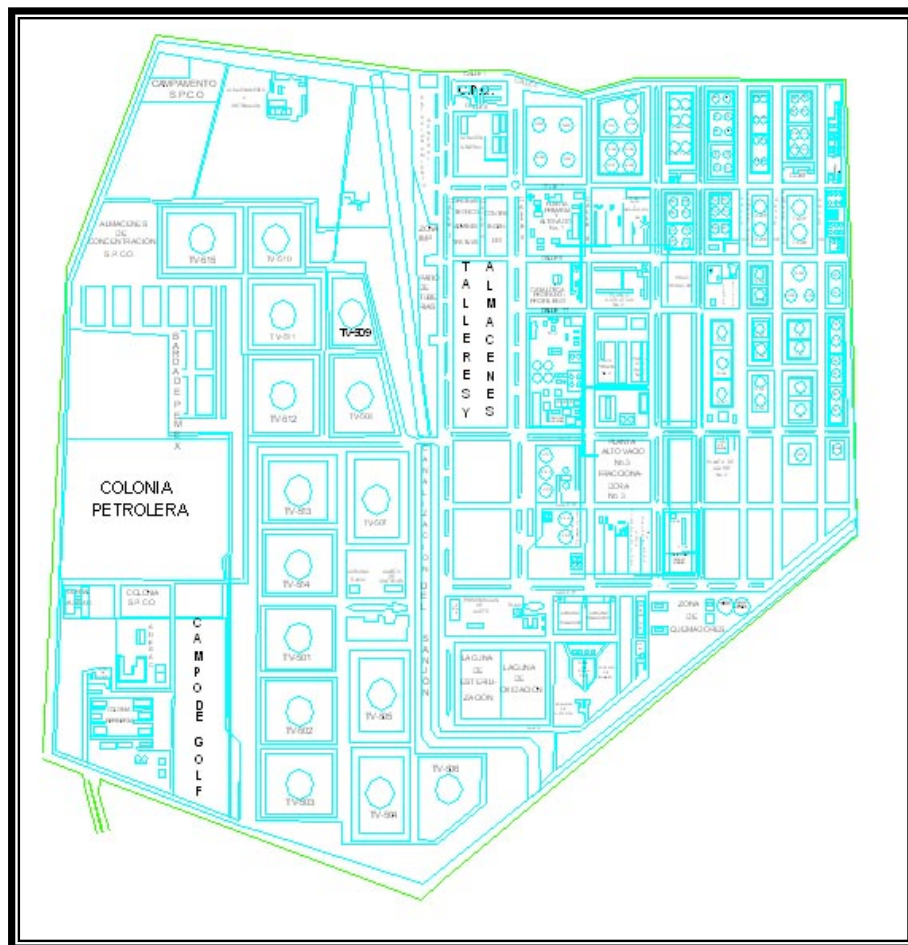


Figura 9. Digitalización en Autocad de la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" con partes y sus nombres que la conforman.

Digitalizados los planos de los centros de refinación se procedió a integrarlos en las zonas delimitadas en las ciudades que digitaliza INEGI. Los planos de INEGI no ubican ni muestran a detalle, el contenido que existe en las refinерías, solo muestran los límites de éstas.

6. La compra de los mapas a INEGI de las diferentes ciudades en donde se encuentran correspondientemente las refinерías, fue a través de la Gerencia de Ciencias del Ambiente, Subdirección de Protección Ambiental del IMP en 1997. Posteriormente, son enviados al Área de Monitoreo de la misma institución. **Figura 10** Ciudad de Salina Cruz Oax.

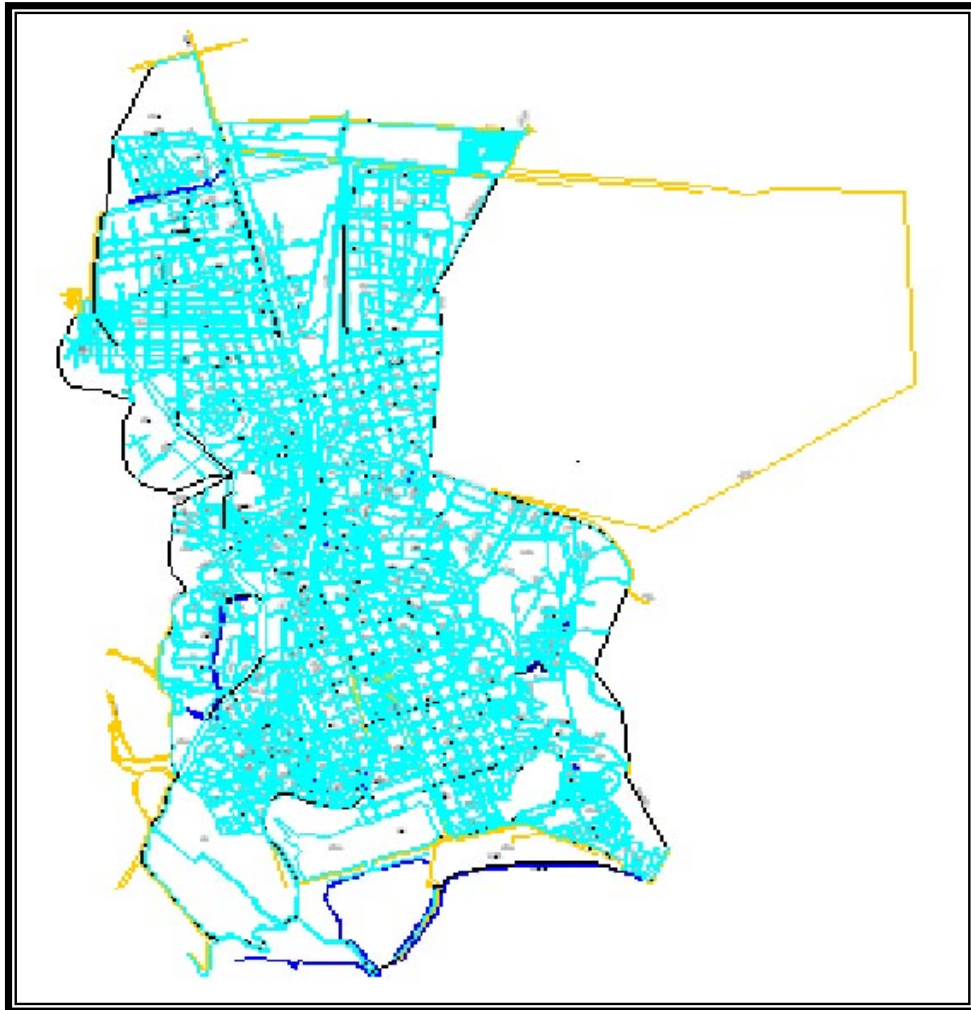


Figura 10. Digitalización de la Ciudad de Salina Cruz Oax. elaborada por INEGI sin la refinерía digitalizada "Antonio Dovalí Jaime". Escala 1: 250 000 1995

La inserción se hizo bajo el siguiente desarrollo:

- ◆ Abrir el archivo de la ciudad en Autocad para **importar** el plano de la refinерía digitalizado como una imagen.
- ◆ Extraído el plano se extendía o contraía para estandarizarlo a la escala que presentaba la ciudad.
- ◆ Se hacía el acomodo de la refinерía dentro de los límites enmarcados en las ciudades.

- ◆ Mediante la opción "girar" en la barra de herramientas, se movía gradualmente la imagen hasta alcanzar el ángulo de inclinación deseado al encuadre de los límites.
- ◆ Seleccionar toda la ciudad, junto con la refinería, para la agrupación de planos; y así homogenizar formatos a archivos *.dwg. Ahora, a partir de ese momento, la integración de planos digitalizados se podrían trabajar como uno solo y sin problemas.
- ◆ Renivelar y recolorar el nuevo plano. **Figura 11** Inserción del la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" en la Ciudad de Salina Cruz Oax.



Figura 11. Inserción del la Refinería "Antonio Dovalí Jaime" en la iudad de Salina Cruz Oax.

5.6 Visualización de la información.

Con la información recabada y con personal del Área de Programación del IMP se realizó el programa "X-mon". Este programa permite visualizar interactivamente el trabajo realizado en los puntos anteriores, tales como la Base de datos meteorológicos, los planos digitalizados en AUTOCAD de las refinerías y la integración de los planos de las refinerías a las ciudades.

Enseguida se describen la aplicación interactiva del programa:

- La **Base de Datos** de los parámetros meteorológicos evaluados para cada zona donde se encontraron las refineras. Ésta, permitió visualizar la información meteorológica por año, mes y por estación meteorológica; con la opción de tablas y/o gráficas, como se puede observar el ejemplo para la refinería "Miguel Hidalgo" en la ciudad de Tula. **Figura 12.**

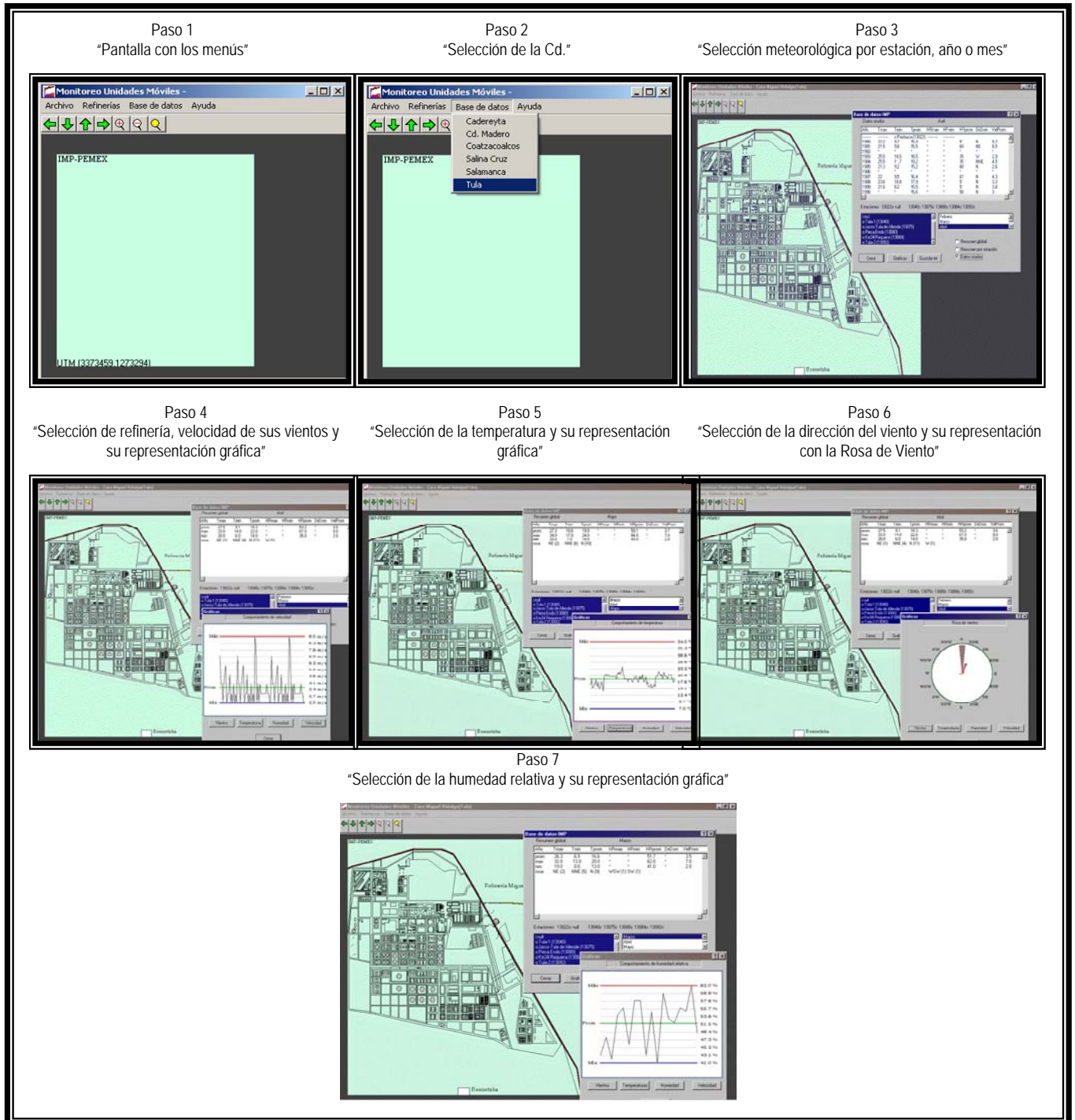
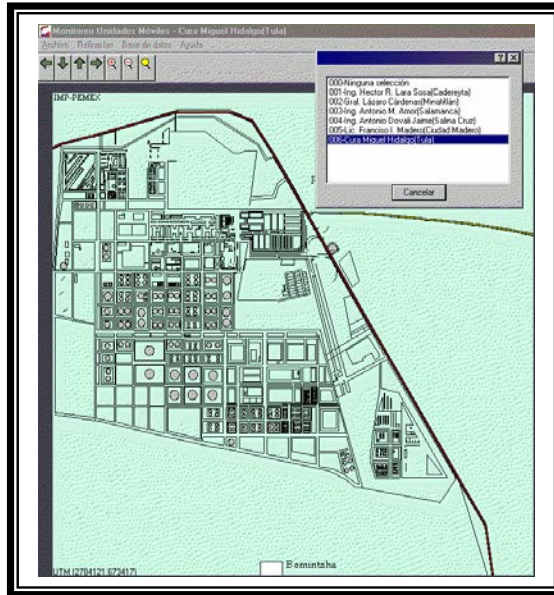


Figura 12. Pasos a seguir para observar la base de datos meteorológicos de la refinería "Miguel Hidalgo" en el programa "X-Mon".

- El plano digitalizado de cada una de las refineras de PEMEX realizados en Autocad. El programa Autocad, tiene diferentes versiones, de las cuales se manejaron las dos últimas, Autocad 14 y Autocad 2000. Este software, permitió elaborar los mapas de las refineras de PEMEX, considerando su ubicación geográfica exacta y la percepción visual de sus componentes de refinación como son: tanques de almacenamiento, plantas de refinación primaria y secundaria, plantas desulfuradoras, etc.; así también, como los diferentes edificios de las áreas administrativas. **Figura 13.**



“Percepción de los componentes en la refinera “Miguel Hidalgo”
Figura 13. Representación visual en el programa “X-Mon” de la ubicación geográfica y percepción visual de las unidades de refinación en el centro “Miguel Hidalgo”.

- La integración de los planos digitalizados de las refineras a sus respectivas ciudades en formato “dxf”, editadas por INEGI. Para cada ciudad, donde se encuentran localizadas las refineras, INEGI tiene ya la digitalización de los mismos, por lo que solo faltará hacer la inserción de los planos digitalizados de las refineras en los límites enmarcados por las ciudades.



“Inserción de la refinera “Miguel Hidalgo” en el mapa de INEGI (ciudad de Tula y sus alrededores)”

“Inserción de la refinera “Antonio M. Amor” en el mapa de INEGI (ciudad de Salamanca)”

5.7 Verificación del tipo de monitoreo a las refinerías y descripción de la unidad móvil de monitoreo ambiental del IMP.

El IMP realiza estudios sobre evaluaciones de la calidad del aire de acuerdo con los lineamientos establecidos en la normatividad ambiental vigente, con el fin de definir la influencia de las fuentes y los patrones de dispersión de los contaminantes producidos por actividades industriales y centros urbanos.

Para la realización de tales estudios se cuenta con una infraestructura de monitoreo para el registro de contaminantes tales como dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), partículas suspendidas (PST, PM-10, PM-2.5) y parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación pluvial). Asimismo, puede llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de partículas y el análisis de muestras para la determinación de compuestos específicos o la especiación de hidrocarburos, aplicando técnicas de análisis por cromatografía, absorción atómica y espectrometría de masas entre otras.

Los monitoreos de calidad del aire pueden efectuarse de tres maneras:

1. **AMBIENTE LABORAL.** Este lo realiza con el fin de determinar las condiciones de seguridad e higiene de los centros de trabajo y pueden determinarse algunos contaminantes normados por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social como NO_x, CO Este tipo de trabajos se han llevado a cabo para empresas como Volkswagen, DINA, C. P. Q. Cd. Pemex, Refinerías y en las oficinas de la torre ejecutiva de PEMEX.
2. **PERIMETRAL.** El monitoreo perimetral de contaminantes atmosféricos se realiza para cumplir con la normatividad ambiental y evaluar las medidas de control sobre las fuentes emisoras. Se utiliza una unidad móvil que, además de los equipos mencionados, cuenta con un sistema de calibración para los mismos. En forma simultánea a la medición de contaminantes, se determinan parámetros meteorológicos con la finalidad de correlacionarlos. Los principios de operación y el procedimiento para la calibración de los analizadores están basados en las normas oficiales mexicanas. Las actividades de monitoreo se realizan en un tiempo aproximado de dos semanas. Este tipo de monitoreo se ha venido realizando anualmente en cada una de las refinerías de Pemex y a la fecha se ha efectuado en siete complejos petroquímicos. Para 1996 se tienen contemplados ya 2 monitoreos al año en cada refinería. en forma perimetral.
3. **ZONA DE INFLUENCIA.** Este tipo de monitoreo lo realiza para determinar la zona de influencia o área de afectación de los contaminantes atmosféricos provenientes de los alrededores de las industrias, para lo cual se utilizan dos unidades móviles de manera simultánea a diferentes distancias de la empresa, y se aplican como herramientas de apoyo modelos de dispersión desarrollados por la EPA, especialmente el modelo RAM, que es un modelo gaussiano para fuentes fijas. Estos modelos se alimentan con datos reales de emisión y de características de las fuentes, así como los parámetros meteorológicos obtenidos en el sitio.

En el Área de Monitoreo del IMP se estableció que el aire se monitorea bajo dos procesos, el **muestreo** y el **análisis**. El primero consiste en coleccionar partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro aerométrico va de 0.3 a 10

μm), como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen. La fracción respirable de PST, conocida como PM-10, está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior a 10 micrómetros. Figura 14

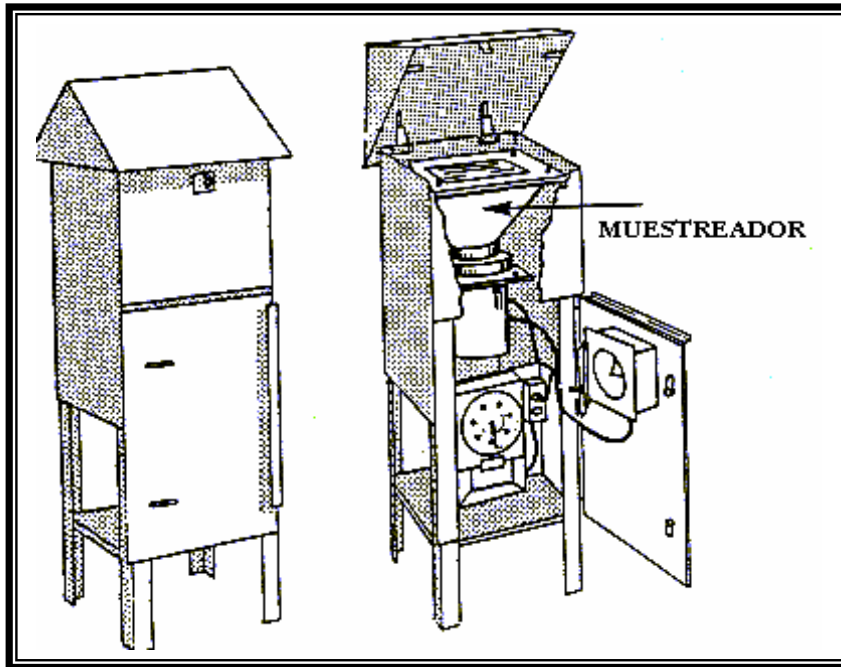


Figura 14. Representación de un muestreador de partículas totales en suspensión por alto volumen PST.

El análisis, que es la otra forma de monitorear el aire, se involucra métodos para determinar las concentraciones de los contaminantes en una muestra de aire. Los contaminantes que pueden ser determinados mediante este procedimiento son Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Azufre (SO_2), con un analizador marca Thermo Environmental Modelo 43^a, Bióxido de Nitrógeno (NO_2), Hidrocarburos (HC), Ozono (O_3) y Plomo (Pb). (Figura 15.); de los anteriores los que se encuentran normados por la legislación ambiental en México son los que a continuación se describen en el Cuadro 35 junto con su concentración y criterios.

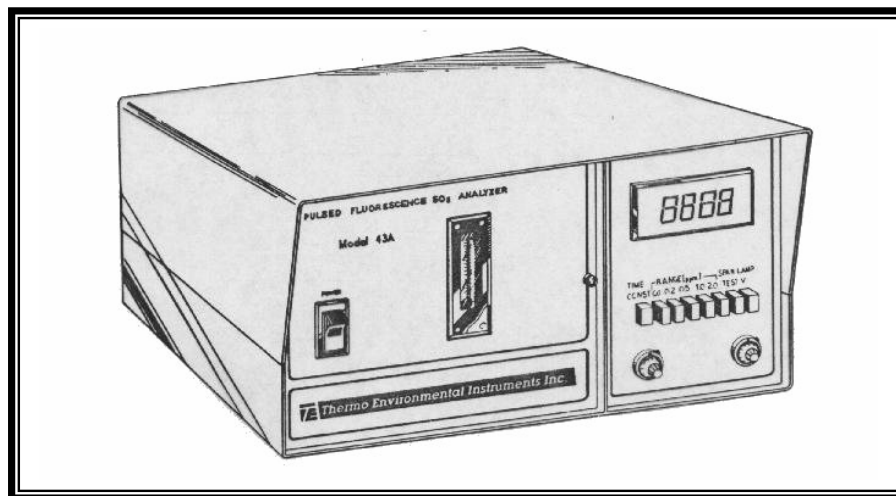


Figura 15. Analizador de Bióxido de Azufre (Marca Thermo Environmental Modelo 43a.)

Cuadro 35. Normas Oficiales Mexicanas y criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a varios contaminantes.

Contaminante	Norma	Ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Criterio
O ₃	NOM-020-SSA1-1993	0.110	216	en una hora una vez al año, en un periodo de 3 años.
CO	NOM-021-SSA1-1993	11.0	12,595	Promedio móvil de 8 horas una vez al año.
SO ₂	NOM-022-SSA1-1993	0.130	341	Promedio móvil de 24 horas una vez al año.
		0.030	79	media aritmética anual.
NO ₂	NOM-023-SSA1-1993	0.210	395	en una hora una vez al año.
PST	NOM-024-SSA1-1993		260	en 24 horas una vez al año.
			75	media aritmética anual.
PM-10	NOM-025-SSA1-1993		150	en 24 horas una vez al año.
			50	media aritmética anual.
Pb	NOM-026-SSA1-1993		1.5	Promedio aritmético en 3 meses.

Descripción de la unidad móvil de monitoreo ambiental del IMP.

El área de monitoreo cuenta con laboratorios móviles para evaluar la calidad del aire. El objetivo de las unidades es realizar mediciones *in situ* de los contaminantes atmosféricos que liberan las fuentes fijas así como desplazar el equipo, al interior o exterior de la refinería, según sea, el tipo de estudio que se requiera realizar. **Figura 16.**

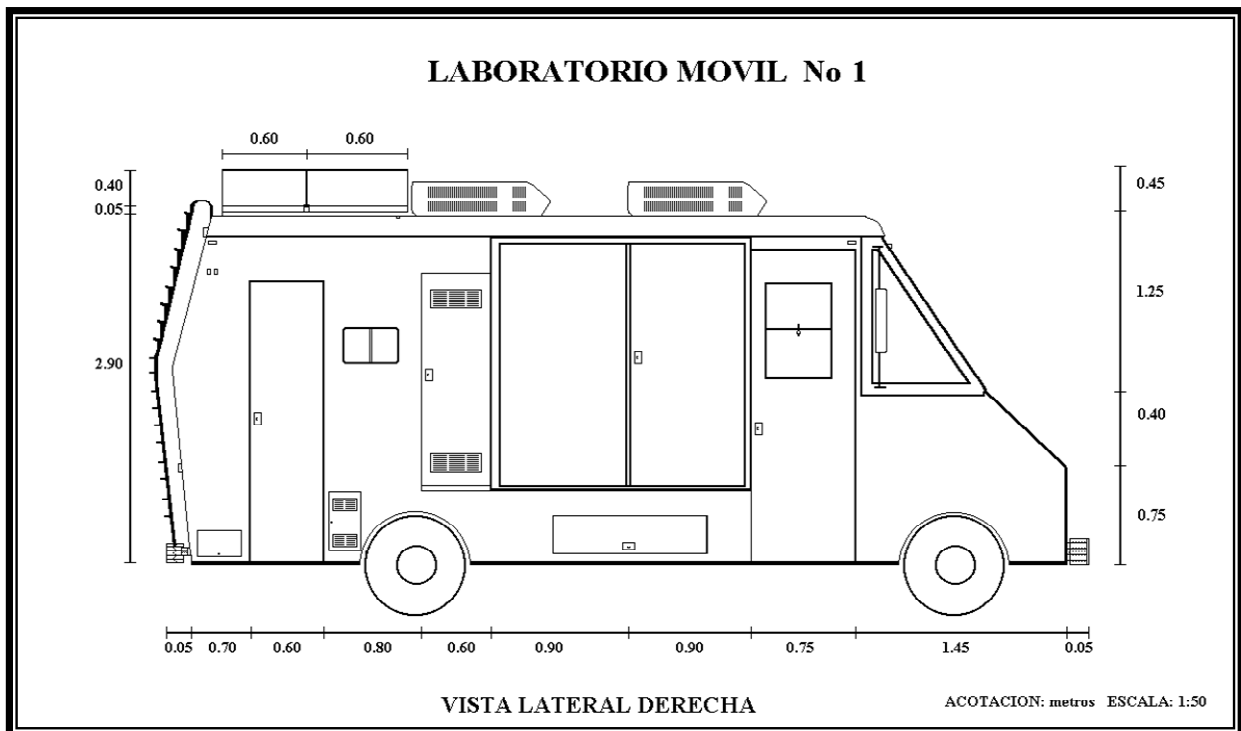


Figura 16. Vista lateral de la unidad móvil de monitoreo ambiental.

El laboratorio móvil cuenta con tres sistemas: el sistema de analizadores automáticos, el sistema manual y el sistema de sensores de parámetros meteorológicos.

El sistema automático (**Figura 17**) mide concentraciones de Ozono (O₃), óxido de nitrógeno (NO_x, NO y NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO).

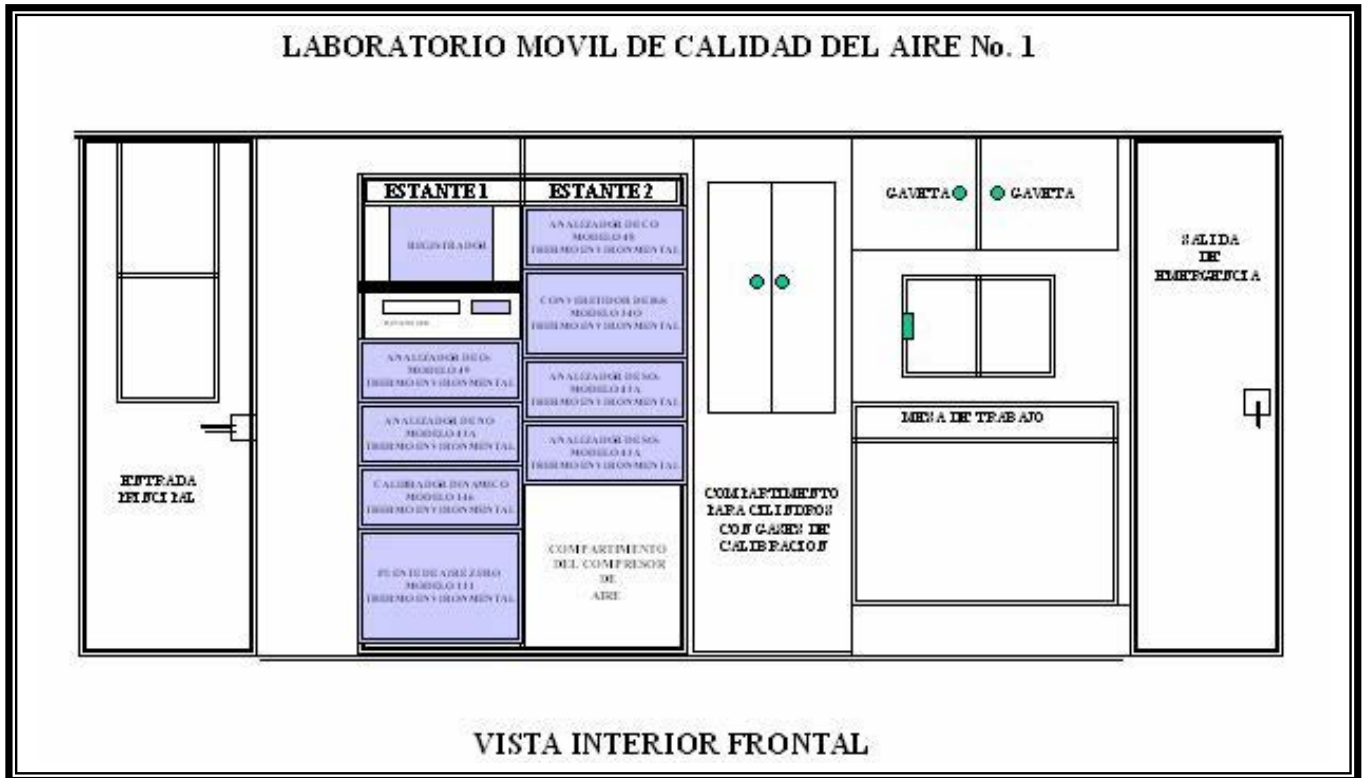


Figura 17. Vista lateral interna del laboratorio móvil mostrando el sistema automático.

El sistema manual mide las concentración de partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas fracción respirable (PM-10). La estación meteorológica se compone de sensores de velocidad y dirección de viento, de humedad relativa y de temperatura ambiente, se complementa con un higrómetrografo THERMO-HYGROGRAPH marca OTA KEIKI SEISAKUSHO serial No 256007 y un psicrómetro PSYCHRO-DYNE marca COLE-PARMER INSTRUMENT COMPANY modelo No. 3312-40. (Figura 18).

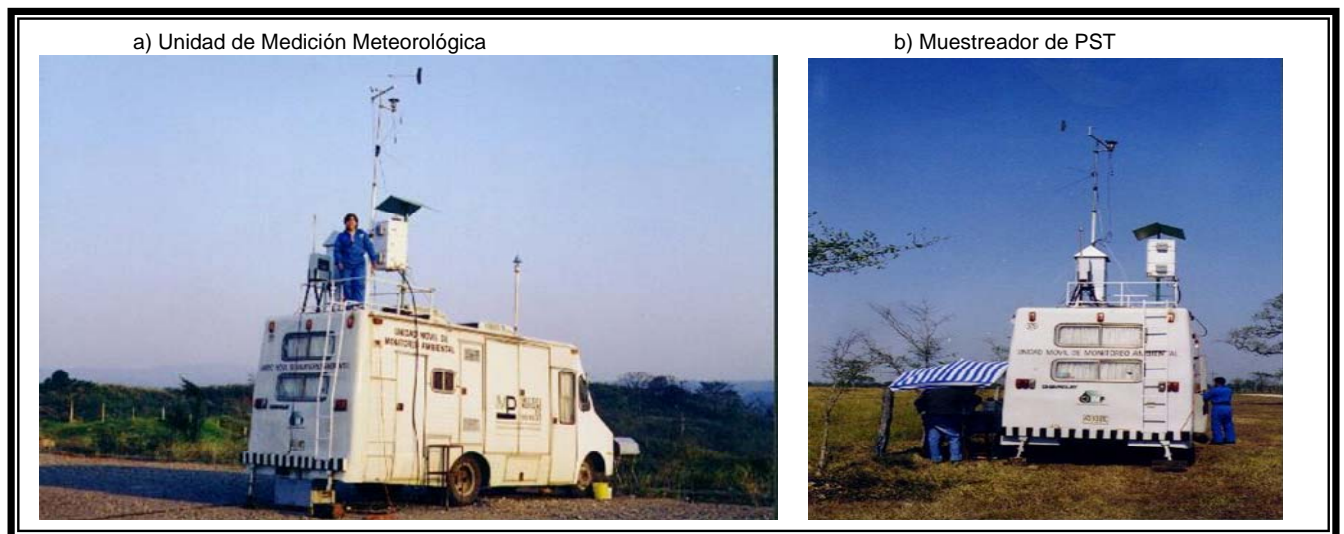


Figura 18. Vista de los sistemas de medición meteorológica (a) y de Muestreador partículas suspendidas ubicados por encima de laboratorio móvil (b).

Por otro lado, la unidad móvil cuenta con una planta de luz la cual proporciona energía, para los diferentes sistemas, esta planta se coloca a diez metros de distancia del laboratorio en dirección de los vientos a favor para que los gases que se despiden en el proceso de combustión no influyan en la medición de los contaminantes.

Los sistemas antes mencionados en conjunto dan una amplia y adecuada cobertura espacial para el registro de los contaminantes y parámetros meteorológicos sin importar la topografía circundante ni la configuración que la zona presente. De esta manera se tiene un conocimiento claro, preciso y continuo de la calidad del aire en las zonas de refinación, así como las zonas circundante.

La información que genera el sistema de monitoreo atmosférico permite evaluar el comportamiento y tendencia de los contaminantes atmosférico tanto en forma espacial como temporal. Dado la confiabilidad de los datos, se posibilita su empleo para definir políticas y estrategias en la prevención y control de la contaminación atmosférica, al igual que permite evaluar la eficacia de los programas que se encuentran en ejecución.

5.8 Prueba de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.

El modelo de dispersión de contaminantes que se eligieron fueron aquellos que permitieron adecuarse a los puntos siguientes:

- ❖ Dispersión de contaminantes de forma gaussiana. Fácil manejo y comprensión.
- ❖ En el que se tomaran en cuenta los parámetros meteorológicos y datos de las fuentes contaminantes.
- ❖ Realizar un pronóstico de inmisión de contaminantes.
- ❖ Aquél que pudiera manejar el SO₂.
- ❖ Aplicable a fuentes fijas múltiples.
- ❖ A todas las refinerías de PEMEX incluyendo la más accidentada que es la que se localiza en Minatitlán.
- ❖ Modelo local a Mesoescala β (dispersión a menos 10 km del foco emisor).
- ❖ Dimensión del campo de vientos. Modelo unidimensional (consideran que el viento medido en un punto es constante y uniforme en toda la zona estudiada).
- ❖ A nivel de superficie.

Los modelos que podían aplicar dichas condiciones o algunas de ellas fueron:

El ISC, ISCST2, ISCLT, ISCLT, LONGZ, SHORTZ, MPTER, SCREEN, CDM, CRSTER, PAL, PTMAX, PTMTP y el Valley. Anexo 1. No obstante, se fueron descartando por requerir más información sobre las zonas de estudio y una constante medición de parámetros, de tal manera que su aplicación y funcionamiento llevarían a resultados deficientes y poco confiables. Por lo tanto, se utilizó el más sencillo y adecuado a la información recabada.. Sus generalidades se describen en el punto 3.10

5.9 Ubicación perimetral de los laboratorios móviles de calidad del aire del IMP.

La ubicación de los laboratorios móviles de la calidad del aire del IMP en los perímetros y la zona de influencia en cada una de las seis refinerías de PEMEX se hicieron con base a la información mencionada por el manual de Evaluación y Control de la Contaminación del Aire" otorgado en el diplomado de la Protección Ambiental, realizado en el Instituto Mexicano del Petróleo e

impartido por M. en I. Rodolfo Sosa Echeverría durante el 23 al 27 de Julio del 2001. Este manual, maneja diagramas esquemáticos para la selección de sitios de monitoreo de SO₂, y otros; no obstante, se debe tener en cuenta información básica para su seguimiento tales como mapas, datos climatológicos de vientos, mapas de densidad poblacional e inventario de emisiones que enseguida se mencionan y se describen detalladamente.

1. Mapas. Apoyo en cartas topográficas de imagen digital escala 1:250 000 serie II editadas por INEGI.

Para hacer la adquisición de dicho material cartográfico, se recurrió al departamento de ventas con sede en el Distrito Federal (av. Baja California, col. Roma). El material del tipo topográfico que se deseaba obtener tenía que ser buscado en un **índice de localización** de la República Mexicana (Imagen Cartográfica Digital Topográfica 1 :250 000) para identificar el plano al cual las refinerías y sus poblados se hallaran inmersos. Se hicieron los pedidos respectivos del material requerido, pero no se contaba con la existencia de los mismos, salvo tres de doce; se procedió a la búsqueda en los otros centros de venta (Patriotismo, Aeropuerto y Balderas) por vía telefónica sin haber conseguido la totalidad de lo necesitado. Por lo tanto, se adquirieron los planos bajo un nuevo formato que puso a la venta INEGI. A continuación se hace una descripción del tipo y la forma de información de las cartas en el nuevo formato:

- Carta topográfica de imagen digital escala 1:250 000 serie II, el cual contiene la cartografía que tradicionalmente se encontraba impresa en formato raster (impresión en papel).
- Los archivos utilizados durante la edición cartográfica de esta carta, realizada durante los años de 1996, 1997 y 1998, fueron transferidos a un software manejador de gráficos y editando la información que durante la transferencia presentó alguna diferencia generando archivos digitales de formato GIF (despliegue para realizar modificaciones a la imagen) y TIF (despliegue para visualizar la imagen sin modificarla), a los cuales posteriormente se les generó su correspondiente archivo de georeferencia.
- Se presentan ambos formatos con la finalidad de que el usuario utilice el más adecuado dependiendo del software para manejo de imágenes del que disponga. Para ello se han creado dos subdirectorios distintos con nombre GIF y TIF, lo cuales contiene para cada carta tres tipos de archivos:
 - Archivo gráfico.- Con extensión .gif o.tif según corresponda. Es el archivo raster de la carta topográfica en cuestión.
 - Archivo de georeferencia.- Con extensión .gfw o .fww de acuerdo al tipo de archivo gráfico que se haya hecho acceso. Contiene los parámetros para llevar a cabo la georeferencia de la imagen.
 - Archivo de metadatos.- Con extensión .txt, contiene una descripción general sobre el archivo de la carta topográfica.

Por cuestiones de espacio en disco las cartas topográficas escala 1:250 000 fueron distribuidas en cuatro discos. En cada uno de los cuales se agruparon las correspondientes a estados completos. Distribuyéndose de la siguiente manera:

Disco 1: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Zacatecas.

Disco 2: Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán.

Disco 3: Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, México, Distrito Federal, Guerrero.

Disco 4: Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo.

Cada uno de los archivos cuenta con la tira marginal correspondiente.

Características del producto:

- Uso en microcomputadoras, desde las de tipo personal (PC o MAC) hasta en estaciones de trabajo (WS)
- Posibilidad de ser manejado por los paquetes que manipulen imágenes digitales.
- Accesible para paquetes de aplicación de cartografía asistida por computadora y sistemas de información geográfica que permitan el uso de datos raster.
- Al ser imágenes georeferidas se tiene la posibilidad de **sobreponer información del tipo vectorial**.
- Se pueden determinar superficies, distancias y ubicaciones aproximadas.
- Pueden usarse como base para la referenciación relativa de otras imágenes.

Algunos software de despliegue de imágenes en los que puede leerse esta información:

- Paint Shop
- Power point
- Photo Styler
- Arc/view

Como se menciona en la descripción general, con respecto a la distribución de la información cartográfica, se hicieron la compra de los compactos 2, 3 y 4 por contener en ellos los límites superficiales de las seis refinerías y sus poblados, relativamente, más próximos y más alejados. La escala manejada es de 1:250 000 lo que permitió la visualización de los poblados muy pequeños y la distancia, en miles de metros, que tienen entre ellos y a los centros de refinación. En los casos donde las refinerías y sus poblados aparecían en las orillas de los mapas fue necesario realizar cortes a los archivos gif para ser pegados a otro formando uno nuevo.

2. Datos climatológicos del viento. Como anteriormente se mencionó, la información meteorológica utilizada fue la velocidad media y la dirección del viento dominante en un lapso mensual. Resaltando a la base de datos meteorológica obtenida, particularmente al relacionado con los vientos, se obtuvo el viento dominante por estación del año tomando en cuenta las fuentes meteorológicas que lo contemplan desde el periodo comprendido de 1980 y 1998; de tal manera que las fuentes que permitieron determinarlos fueron los observatorios y el Itzamná.

- **Cálculo del viento dominante por época del año en cada refinería.** Antes de realizar el cálculo de la dirección del viento dominante se establecieron los meses que corresponderían a cada estación o época, es así que diciembre, enero y febrero correspondieron al *invierno*; marzo, abril y mayo a la *primavera*; junio, julio y agosto al *verano*; y finalmente, septiembre, octubre y noviembre al *otoño*. Posteriormente, y de forma general, se agruparon en cuadros los registros de la dirección del viento dominante en las estaciones ocurridas en el periodo de tiempo anteriormente mencionado.

- **Arreglo de la velocidad del viento mensual.** Se realizó un cuadro donde se mostró el promedio mensual de los vientos dominantes a manera de visualizarlo por estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) y mes contra el año de su registro, similarmente a la realizadas a los cuadros del viento dominante.
- **Diseño de una rosa de vientos en Autocad.** Se realizó una rosa de vientos tomando en cuenta los puntos cardinales y sus respectiva escala gradual bajo el ambiente Autocad. En cada punto cardinal se le asignó un tono característico para distinguir el ángulo de procedencia e incidencia eólica. Se trazan líneas auxiliares para detallar los diferentes cuadrantes que se forman y las referencia angulares parciales de cada una de ellas. No obstante, se destacan 16 puntos cardinales para mayor precisión en la distribución de vientos. **Figura 19.**

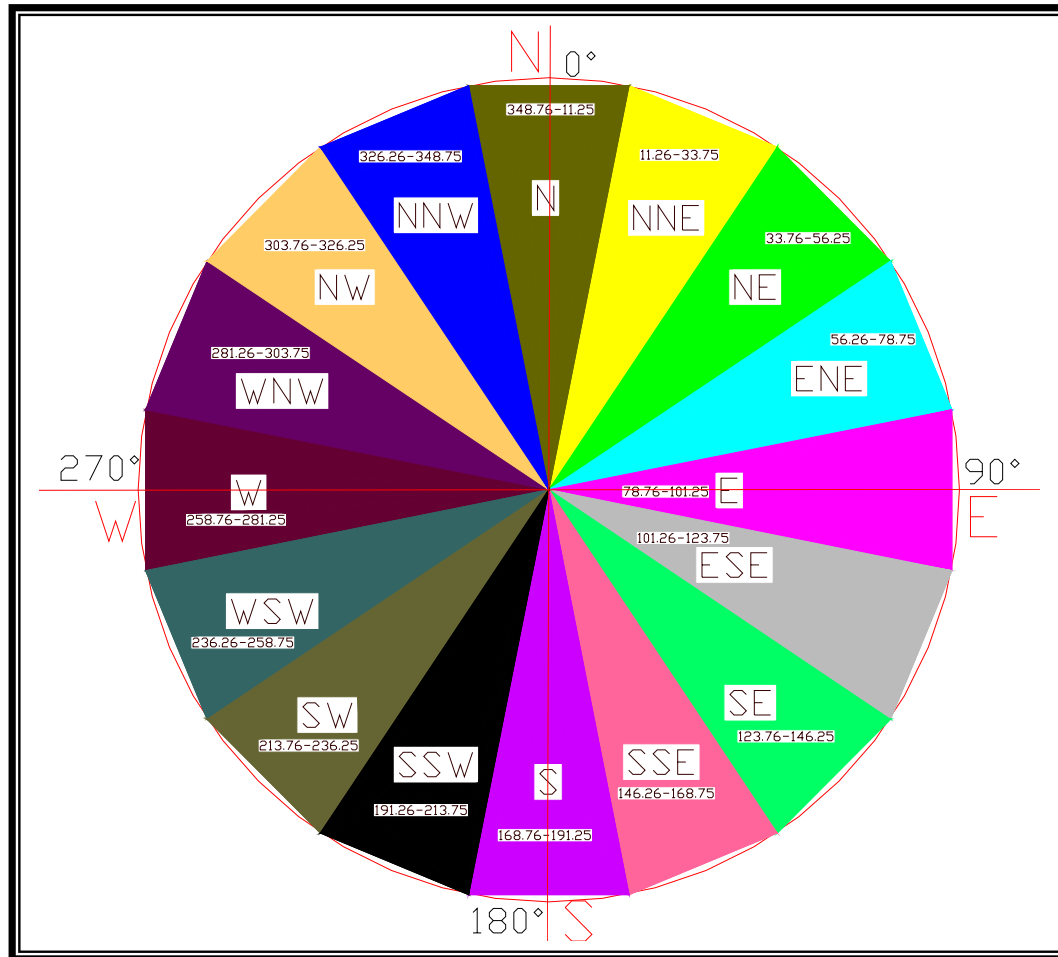


Figura 19. Representación esquemática de una Rosa de Vientos. Se aprecia la coloración en cada punto cardinal y su amplitud gradual para una mejor visión.

Visualizando los registros en los cuadros 38, 42, 46, 50, 54 y 58 se obtuvo la frecuencia de la dirección dominante de los vientos durante los 19 años para así establecer el comportamiento eólico que rigen regionalmente en las refineras durante las diferentes estaciones del año.

- **Base de datos meteorológico para la temperatura media del las diferentes fuentes.** No se tuvo que realizar algún cálculo estadístico porque los datos de la temperatura se encontraban promediados mensualmente en cada una de las fuentes. Así que para tomar el dato únicamente se tuvo que elegir uno de las tres (temperatura de las

estaciones climatológicas, observatorios o del Itzamná) ya que su información térmica no se encontraba completa para todos los 19 años del estudio.

3. **Mapas de densidad poblacional.** Se consultó a INEGI de dos formas; la primera a su página en internet, y la segunda las cartas topográficas en los nuevos formatos en CD.

- **INEGI por internet.** En la obtención de la densidad poblacional se realizó la consulta de la página www.inegi.gob.mx/, en donde se localizaron íconos (botones virtuales de acceso) que detallaban el tipo de consulta que se deseaba hacer, por ejemplo se podía entrar a temas referentes al censo general de vivienda, económicos, agrícolas, industrial, de transporte, etc. Se eligió el ícono que correspondía al censo general poblacional y de vivienda; y nuevamente se desplegó un recuadro donde se localizaban los diferentes estados de la República Mexicana. Las entidades federativas consultadas fueron aquellas en las que se encuentran las refinerías; de tal manera que al seleccionar el estado correspondiente se desplegaba otro recuadro en el cual aparecía una tabla conteniendo la clave y el nombre del municipio. Finalmente, se seleccionaba el municipio en el cual específicamente se encuentra la refinería dando como último un cuadro con la información poblacional siguiente: **entidad federativa, nombre y clave del municipio, población total** (dividido en dos columnas hombres y mujeres), **edad mediana** (dividido en tres columnas total, hombres y mujeres) y **el índice de masculinidad** dado en porcentaje. **Cuadro 36**

Cuadro 36. Información poblacional del Municipio Tula De Allende Hgo.

Entidad Federativa, Municipio	Población total			Edad mediana			Índice de masculinidad
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	
076 Tula de Allende	85,840	42,306	44,534	24	23	24	95.00

La información poblacional también se encontraba en archivos *.pdf (formato de texto en internet) donde se describía la población total del estado y para cada uno de los municipios. A continuación se presenta el **Cuadro 37** como ejemplo de la información detallada de algunos municipios del estado de Hidalgo incluyéndose el que contiene a la refinería "Miguel Hidalgo", el municipio Tula de Allende.

Cuadro 37. Información poblacional de algunos municipios del estado de Hidalgo. Se incluye el municipio Tula de Allende por contener el centro de refinación "Miguel Hidalgo".

MUNICIPIO	POBLACIÓN TOTAL			EDAD MEDIANA			ÍNDICE DE MASCULINIDAD (%)
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	
13 HIDALGO	2 235 591	1 081 993	1 153 598	22	21	22	93.79
001 ACATLÁN	18 619	9 022	9 597	19	18	20	94.01
002 ACAXOCHTLÁN	36 978	17 933	19 045	18	17	19	94.16
010 ATITALAQUÍA	21 636	10 748	10 888	22	22	23	98.71
011 ATLAPEXCO	18 029	8 704	9 325	20	19	21	93.34
076 TULA DE ALLENDE	86 840	42 306	44 534	24	23	24	95.00

*Consulta a la página de internet. La información obtenida data del último período realizado por el INEGI (censo poblacional 2000).

- **INEGI por cartas topográficas de imagen digital distribuidas en CDs.** La cantidad de habitantes que se obtuvo fue mediante las cifras poblacionales contenidas en los mapas topográficos. Se hizo la sumatoria del número de habitantes de los diferentes poblados a los que el viento va tocando en su trayecto, según los la frecuencia de los vientos dominantes en una misma estación del año, durante 19 años (1980 a 1998); explícitamente, el cálculo del número de habitantes se fue obteniendo mediante los siguientes pasos:
 - **Obtención de la frecuencia de los vientos dominantes en la misma estación del año para cada refinería.** Se hizo el conteo por separado de todas las direcciones dominantes en cada estación del año, para obtener los vientos dominantes más frecuentes en las refinерías. En su obtención fue necesario elaborar un cuadro para distribuir los vientos dominantes por año y estación-mes; mediante la opción “buscar” en el menú principal de Word se contaron las direcciones del viento de la misma estación durante los 19 años de información eólica. Como consecuencia a la obtención de la frecuencia se realizó otro cuadro para resumir la dirección de los vientos dominantes de 1980 a 1998 en las refinерías de PEMEX. Cabe señalar que los cuadros derivados de este punto se incluyeron cuando se desarrolló este punto a cada refinería.
 - **Representación de la frecuencia de los vientos dominantes en rosa de los vientos.** La finalidad de graficar la frecuencia de los vientos dominantes fue el observar el ángulo y la dirección que siguen los vientos, y por consiguiente, las ciudades y poblados que tocarían a su paso. Para determinar el ángulo que forman las frecuencias del viento dominante dentro de la rosa de vientos se siguió un proceso del cual se mencionan enseguida
 - a) Se graficaron la frecuencia de los vientos dominantes en la rosa de los vientos previamente elaborada en Autocad. Únicamente se iluminaron los puntos cardinales obtenidos de la frecuencia dominante; además, se incluyó el ángulo de procedencia de los mismos.
 - b) Se suman los ángulos parciales de cada punto cardinal frecuente y se obtiene el ángulo final de procedencia eólica.
 - c) Como el ángulo final de procedencia es igual al ángulo de incidencia se determinó la apertura del viento dominante estacional. Los vientos frecuentes obtenidos siguen su trayecto, por lo tanto, se sombreó la parte contraria a su procedencia, es decir, a donde se dirigen o incidirán. Finalmente, en cada refinería se obtuvieron cuatro rosa de vientos esquematizando el comportamiento que han tenido los vientos dominantes en invierno, primavera, verano y otoño durante 1980 a 1998.
 - d) Consecuentemente, se integró la información anterior para ser llevadas a las cartas topográficas de imagen digital de INEGI (tomando como referencia los centros de refinación) y determinar el número de poblados y pobladores.
 - **Inserción de la rosa de los vientos estacionales a los planos de imagen digital.** Como los mapas del INEGI permiten realizar **importaciones georeferidas**, **sobreponer** imágenes y gráficos de tipo vectorial, **determinar** superficies, distancias y ubicaciones aproximadas se hicieron las inserciones de la rosa de vientos estacional en

la extensión territorial de las refinerías y sus alrededores. A continuación se destaca la forma en que se llevó a cabo la inserción:

- **Identificación y diseño de las refinerías en planos de imagen digital.** Se localizaron los planos contenidos en los discos compactos referentes a cada refinería. Así los planos E15-7 (Minatitlán), E15-10 (Salina cruz), F14-3 (Tampico), F14-10 (Querétaro) mostrarían los límites del espacio superficial de las refinerías "Gral. Lázaro Cárdenas", "Antonio Dovalí Jaime", "Francisco I. Madero" y "Antonio M. Amor", respectivamente; al no encontrar los límites territoriales se procedió a localizarlas y delimitarlas usando como puntos de referencia las ciudades, los ríos, puertos, estaciones eléctricas, simbología como líneas de conducción eléctrica y vías ferroviarias, etc.. El diseño perimetral de las refinerías en los mapas de imagen digital de INEGI se realizaron bajo el ambiente de **Paint** basándose en los mapas previamente realizados en Autocad y los proporcionados por SICORI. Por el contrario, los planos F14-11 (Pachuca) y G14-8 (Río Bravo) si permitieron la visualización territorial de las dos refinerías restantes "Miguel Hidalgo" y "Héctor R. Lara Sosa", respectivamente. Los planos E14-2 (Cd. De México) y G14-7 (Monterrey) fueron requeridos como complemento a los planos de Pachuca y Río Bravo.
 - **Inserción de la rosa de vientos estacional a las refinerías en planos de INEGI (Sobredigitalización).** Las cuatro rosas de los vientos estacionales derivadas de la frecuencia de los vientos dominantes para cada refinería fueron insertadas de manera individual en los planos de imagen digital de INEGI. En cada inserción se destacó la región de manera angular para distinguir cada uno de uno de los poblados tocados por los vientos; además, se marcaron con algún color o símbolo para distinguirlos. La distancia de la región angular fué de una longitud aproximada de 10 km. a partir de la refinería en cuestión. Finalmente el área angular fue obtenida de una fórmula geométrica de un triángulo; los poblados y los habitantes que se localizaron en el área fueron descritos dentro de un cuadro en el cual se integraron en cada refinería.
 - **Marcación del límite angular de los vientos.** En la realización del marcado se utilizó un programa de diseño fotográfico Adobe PhotoDeluxe –edición para oficina- versión 1.0; con dicho programa se marcaron las dos líneas, con vértice común, para formar el apertura angular de los vientos a partir del centro de cada unidad de refinación. La referencia del ángulo se tomó de la apertura de incidencia eólica sobredigitalizada en el plano del punto anterior. Enseguida se prolongaron las líneas previamente trazadas hasta llegar a una distancia no menor a 10 km. El plano digital, la sobredigitalización de la rosa de vientos y los trazos angulares del viento fueron recortados y pegados a los cuadros de sobredigitalización en cada periodo y Refinería.
- 4. Inventario de inmisiones.** Se contó con resultados de inmisiones del SO₂ pero de forma un tanto restringida por ser información confidencial de PEMEX-refinación. En el centro donde se llevó a cabo la modelación fue la refinería "Miguel Hidalgo" y los datos de donde se tomaron las inmisiones del SO₂ fueron obtenidos de resumen de muestreos de gases y partículas efectuados en ductos o chimeneas formato (CCAT-FF-002). El modelo que se usó fue el que contempla la una doble dispersión del SO₂ en el aire mediante la distribución gaussiana; el lugar donde se desarrolló el pronóstico fue

desde una caldera ubicada en dicho centro de refinación hasta los lugares en que el contaminante es transportado y diluido por la acción del viento.

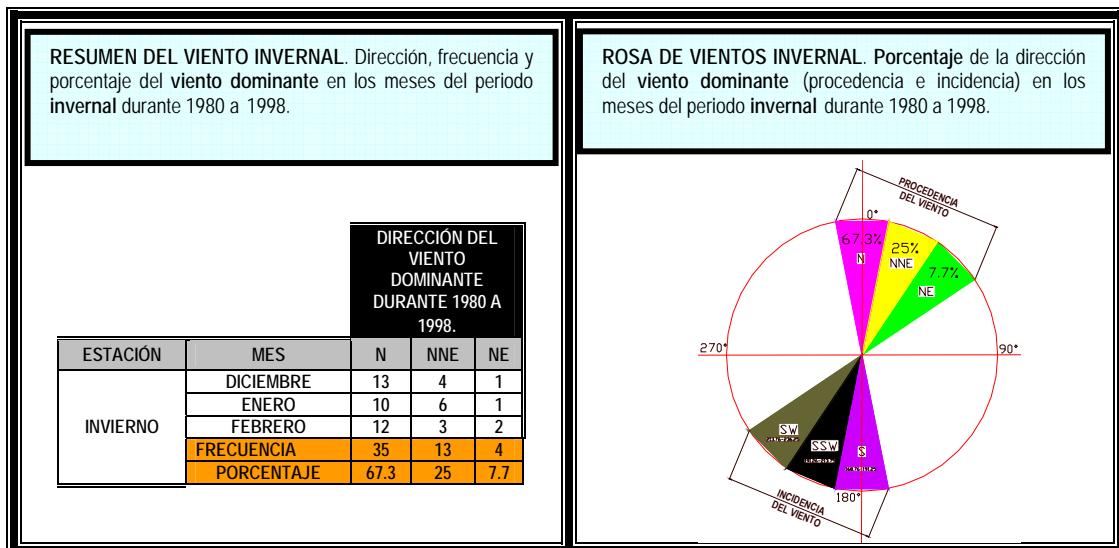
- ◆ **Refinería “Miguel Hidalgo”**. Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional y regional en esta refinería se hizo a partir de la única fuente que la había registrado, es decir el Observatorio de la Ciudad de Pachuca. **Cuadro 38**

Cuadro 38. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la ciudad de Pachuca. Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																		
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
INVIERNO	DICIEMBRE		NE	N	N	NNE	N	N	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	N	N	N	N
	ENERO	N	NE	*	NNE	N	N	N	N	*	N	N	NNE	NNE	NNE	N	NNE	NNE	N	N
	FEBRERO	NE	NE	*	WSW	N	N	NNE	N	N	N	N	NNE	NNE	N	N	N	N	N	N
PRIMAVERA	MARZO	NE	NE	*	WSW	N	N	NNE	SW	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	NNE	N	N	N
	ABRIL	N	NE	*	W	NNE	N	*	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	N	N	N	N
	MAYO	NE	N	*	NNE	NNE	N	N	NE	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	NNE	N	N	N
VERANO	JUNIO	NE	NE	N	NNE	NNE	N	NNE	N	N	N	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNE	NNE	N	*
	JULIO	NE	NE	N	NNE	NNE	N	NNE	N	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	*
	AGOSTO	NE	NE	NNE	NNE	NNE	N	N	N	N	N	NNE	N	NNE	NNE	NNE	NE	NNE	N	*
OTOÑO	SEPTIEMBRE	NE	NE	N	NNE	NNE	N	N	N	N	NE	NNE	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	*
	OCTUBRE	N	NE	*	NNE	N	N	N	N	N	N	NNE	N	NNE	NNE	N	*	N	N	*
	NOVIEMBRE	NE	NE	*	NNE	N	N	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	N	N	N	N	*

* Sin dato

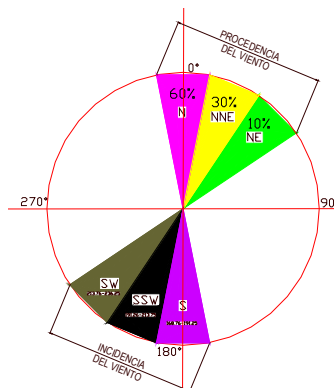
Cuadro 39. Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería “Miguel Hidalgo”. También se anexa su respectiva rosa de vientos para cada estación del año.



RESUMEN DEL VIENTO PRIMAVERAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento **dominante** en los meses del periodo **primaveral** durante 1980 a 1998-

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	NNE	NE
PRIMAVERA	MARZO	9	5	2
	ABRIL	11	4	1
	MAYO	10	6	2
	FRECUENCIA	30	15	5
	PORCENTAJE	60	30	10

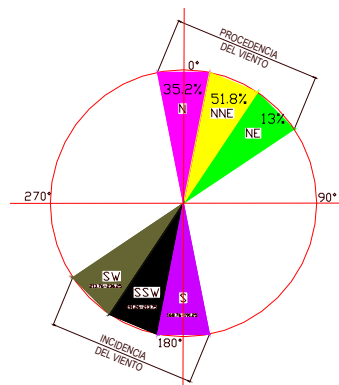
ROSA DE VIENTOS PRIMAVERAL. Porcentaje de la dirección del viento **dominante** (procedencia e incidencia) en los meses del periodo **primaveral** durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento **dominante** en los meses del periodo **estival** durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	NNE	NE
VERANO	JUNIO	7	9	2
	JULIO	5	11	2
	AGOSTO	7	8	3
	FRECUENCIA	19	28	7
	PORCENTAJE	35.2	51.8	13

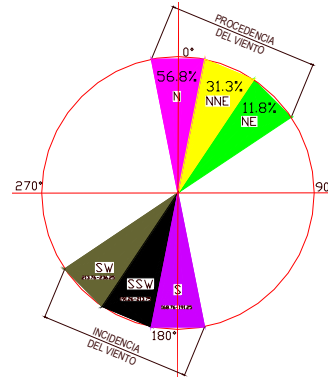
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento **dominante** (procedencia e incidencia) en los meses del periodo **estival** durante 1980 a 1998.



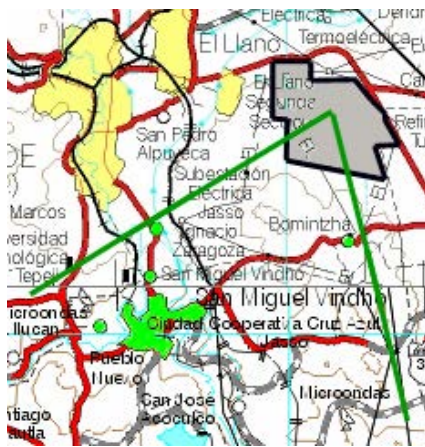
RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	NNE	NE
OTOÑO	SEPTIEMBRE	7	8	3
	OCTUBRE	11	4	1
	NOVIEMBRE	11	4	2
	FRECUENCIA	29	16	6
	PORCENTAJE	56.8	31.3	11.8

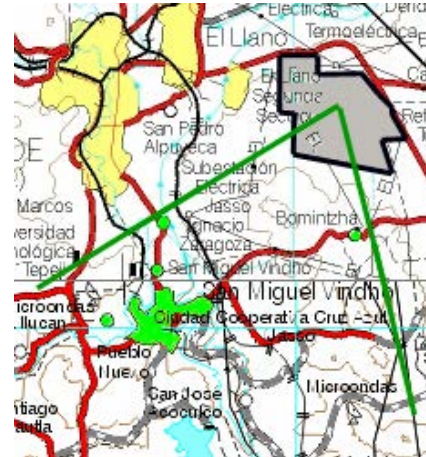
ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Invierno en la refinería "Miguel Hidalgo"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Primavera en la refinería "Miguel Hidalgo"



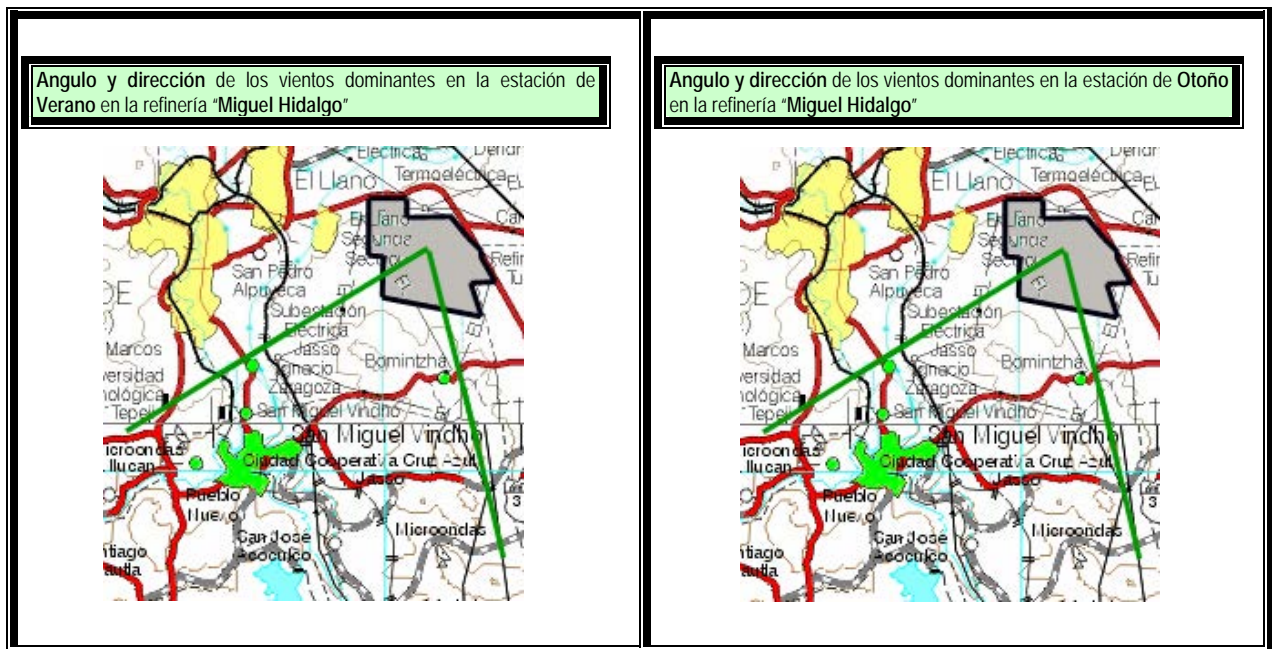


Figura 20 Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica F14-11 (Pachuca) y E14-2 (Cd de México). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinera "Miguel Hidalgo" hasta una distancia de 10 km en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 40. Refinería "Miguel Hidalgo". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Invierno Primavera Verano Otoño	Ignacio Zaragoca	2 501
	Bomintzhá	2 501
	San Miguel Vhindo	2 501
	Santa Maria Lluacan	2 501
	Ciudad Cooperativa Cruz Azul (Jasso)	15 000
Total	5	25 004

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital F14-11 (Pachuca) y F14-02 (Cd. de México) de INEGI. . 1998.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx, 2005

Cuadro 41. Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Miguel Hidalgo".

	Parámetros Meteorológicos									Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.	Escala de Beaufort	Itza.	Escala de Beaufort		
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s		VDV m/s			
Enero	13.9	12.2	*	N	*	3.6	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Febrero	15.5	13.4	*	N	*	3.8	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Marzo	17.9	15.3	*	N	*	3.9	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Abril	19.4	16.6	*	N	*	4.1	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Mayo	19.6	17.3	*	N	*	4.1	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Junio	19.3	16.3	*	NNE	*	4.7	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Julio	17.7	15.2	*	NNE	*	5.1	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Agosto	17.9	15.3	*	NNE	*	5.2	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Septiembre	17.3	14.9	*	NNE	*	4.7	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Octubre	17.0	14.2	*	N	*	4.2	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Noviembre	15.5	13.6	*	N	*	3.4	Brisa Débil	*	*	25 004	3
Diciembre	14.8	12.6	*	N	*	3.2	Brisa Débil	*	*	25 004	3

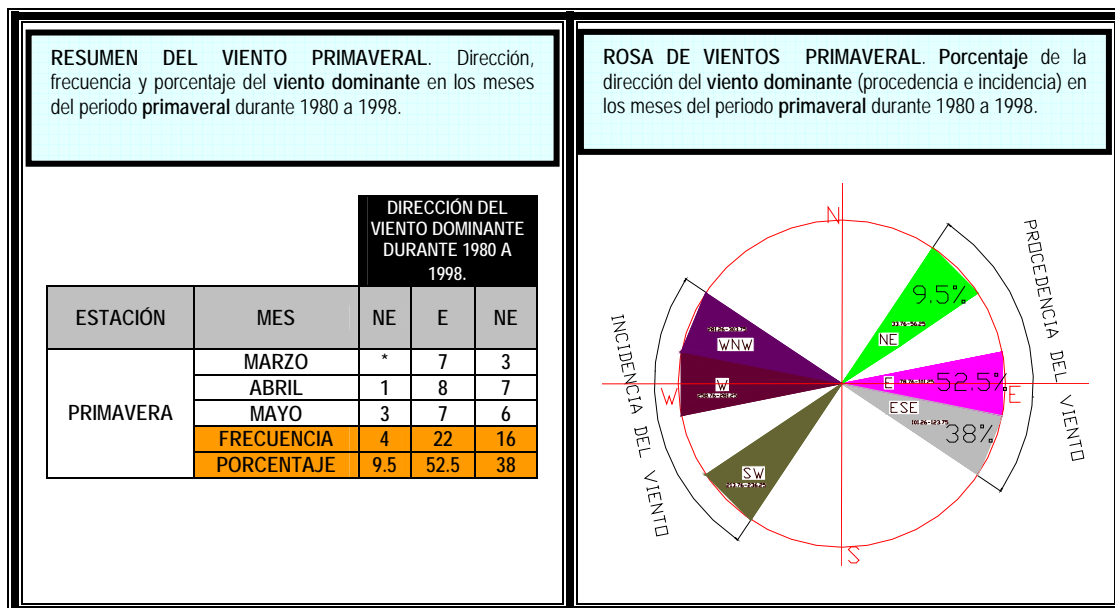
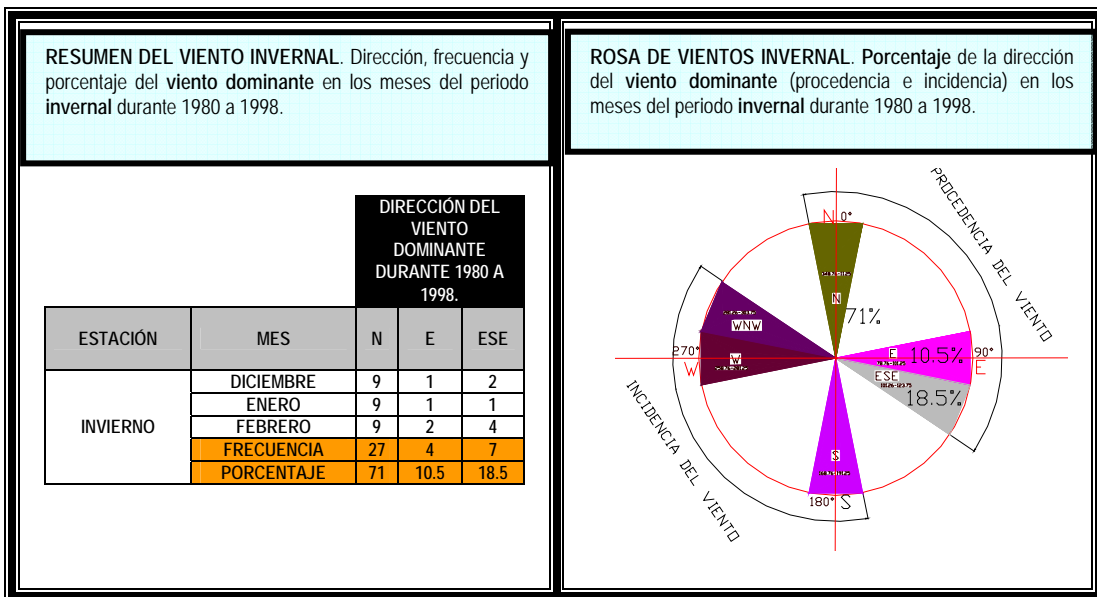
- ◆ Refinería "Francisco I. Madero". Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional en esta refinería se hizo a partir de la única fuente que la había registrado, es decir el Observatorio de Ciudad de Tampico Tamps. Cuadro 42

Cuadro 42. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la ciudad de Tampico Tamps. Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																		
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
INVIERNO	DICIEMBRE		NE	E	N	NE	ESE	*	*	N	N	W	N	N	N	N	ESE	NW	N	N
	ENERO	N	N	E	*	N	N	*	*	N	NE	N	N	N	N	SE	*	SE	SE	ESE
	FEBRERO	N	E	E	NE	NE	N	*	*	N	N	N	N	ESE	N	N	ESE	ESE	N	ESE
PRIMAVERA	MARZO	W	*	E	E	E	N	*	*	E	N	E	E	ESE	E	ESE	N	ESE	SE	SE
	ABRIL	E	E	E	N	E	E	*	*	NE	E	ESE	ESE	E	E	ESE	ESE	ESE	ESE	ESE
	MAYO	NE	E	E	NE	E	E	*	*	E	SE	ESE	E	ESE	NE	ESE	ESE	ESE	E	ESE
VERANO	JUNIO	E	NE	E	E	E	E	*	E	E	E	E	E	E	E	ESE	E	E	ESE	ESE
	JULIO	E	NE	E	E	E	E	*	E	E	E	E	E	E	E	ESE	E	ESE	ESE	ESE
	AGOSTO	E	NE	E	E	NE	E	*	E	E	E	E	E	E	E	E	E	ESE	ESE	*
OTOÑO	SEPTIEMBRE	NE	E	E	E	N	*	*	E	*	N	E	ENE	E	N	ENE	E	SE	E	*
	OCTUBRE	N	E	E	E	E	*	*	E	E	E	N	ESE	E	ESE	ESE	NW	ESE	ESE	*
	NOVIEMBRE	N	E	E	E	N	*	*	N	N	W	ESE	N	N	N	SE	ESE	SE	N	*

* Sin dato

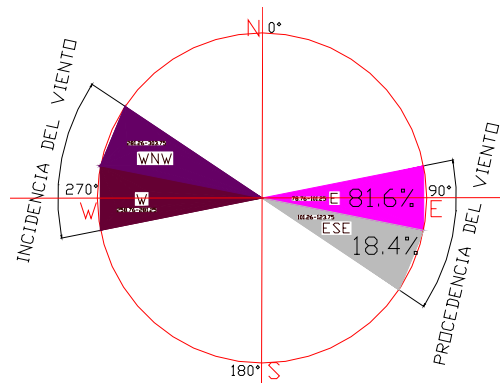
Cuadro 43. Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Francisco I. Madero"



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.	
		E	ESE
VERANO	JUNIO	14	3
	JULIO	13	4
	AGOSTO	13	2
	FRECUENCIA	40	9
	PORCENTAJE	81.6	18.4

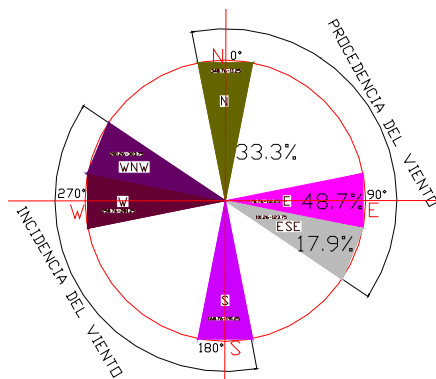
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	E	ESE
OTOÑO	SEPTIEMBRE	3	8	*
	OCTUBRE	2	6	5
	NOVIEMBRE	8	3	2
	FRECUENCIA	13	19	7
	PORCENTAJE	33.3	48.7	17.6

ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



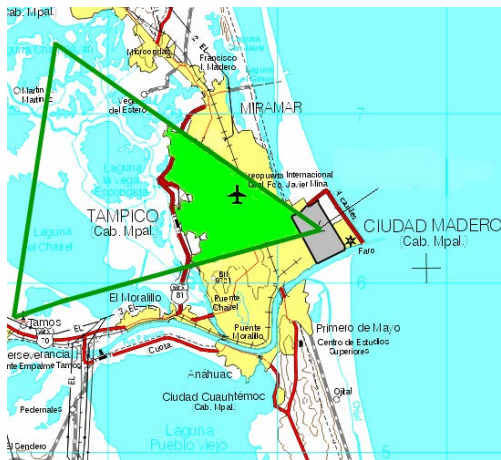
Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Invierno en la Refinería "Francisco I. Madero"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Primavera en la Refinería "Francisco I. Madero"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Verano en la Refinería "Francisco I. Madero"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Otoño en la Refinería "Francisco I. Madero"



Figura 21. Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica F14-03 (Tampico). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinería "Francisco I. Madero" hasta una distancia de 10 km en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 44. Refinería "Francisco I. Madero". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Invierno	Vega de estero	2 501
	La Ribera de Tampico el alto	2 501
	Ojital	2 501
	Mata de Chavez	2 501
	Tampico El Alto	2 501
	Ciudad Cuauhtémoc	15 000
	Tampico	295 442
Total	7	322 347

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Primavera	B I I 97 22	2 501
	Tampico	295 442
Total	2	297 943

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Verano	Tampico	295 442
Total	1	295 442

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Otoño	Vega de estero	2 501
	La Ribera de Tampico el alto	2 501
	Ojital	2 501
	Mata de Chavez	2 501
	Tampico El Alto	2 501
	Ciudad Cuauhtémoc	15 000
	Tampico	295 442
Total	7	322 347

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital F14-03 (Tampico) de INEGI. . 1998.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx 2005.

Cuadro 45. Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Francisco I. Madero".

	Parámetros Meteorológicos									Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.	Escala de Beaufort	Itza.	Escala de Beaufort		
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s		VDV m/s			
Enero	18.9	19.0	19.2	N	N	3.5	Brisa débil	2.5	Brisa muy débil	322 347	4
Febrero	20.2	19.8	20.7	N	N	3.9	Brisa débil	2.4	Brisa muy débil	322 347	4
Marzo	22.7	22.6	23.0	E	E	4.2	Brisa débil	2.8	Brisa muy débil	322 347	4
Abril	25.2	24.8	25.3	E	ESE	3.4	Brisa débil	2.7	Brisa muy débil	297 943	4
Mayo	27.7	27.5	27.6	E	ESE	3.6	Brisa débil	2.4	Brisa muy débil	297 943	4
Junio	28.8	28.6	28.7	E	E	3.3	Brisa muy débil	2.2	Brisa muy débil	297 943	4
Julio	28.4	28.4	28.3	E	E	2.9	Brisa muy débil	1.9	Brisa muy débil	295 442	4
Agosto	28.8	28.6	28.7	E	E	3.1	Brisa muy débil	1.7	Brisa muy débil	295 442	4
Septiembre	27.8	27.6	27.4	E	E	2.6	Brisa muy débil	2.1	Brisa muy débil	295 442	4
Octubre	25.9	25.8	26.0	E	N	3.1	Brisa muy débil	2.0	Brisa muy débil	322 347	4
Noviembre	22.7	22.7	22.6	N	N	3.9	Brisa débil	2.1	Brisa muy débil	322 347	4
Diciembre	19.9	20.7	21.0	N	N	3.6	Brisa débil	1.9	Brisa muy débil	322 347	4

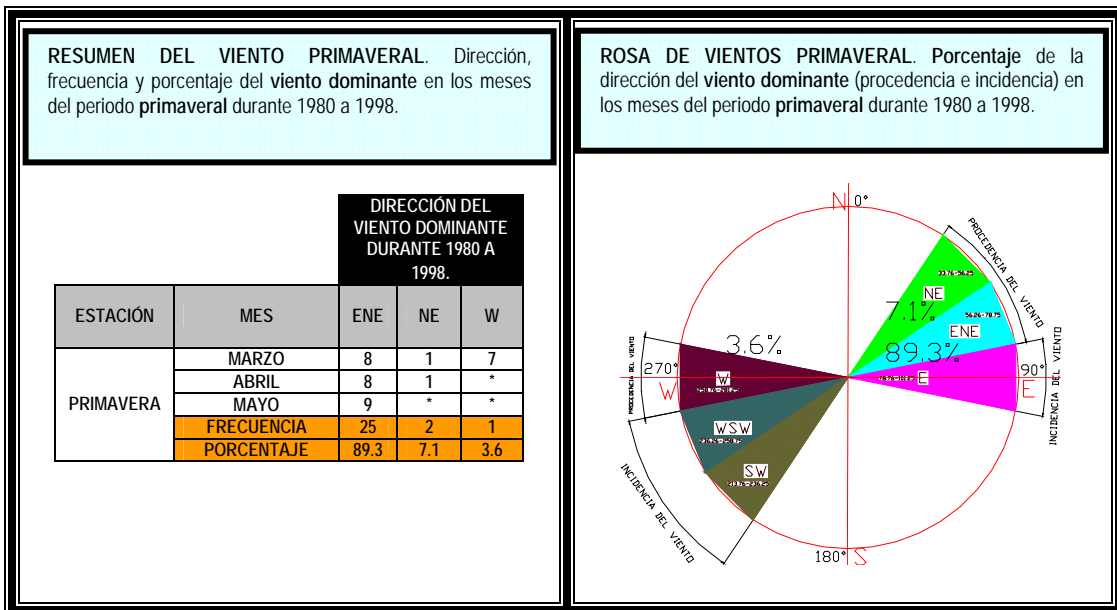
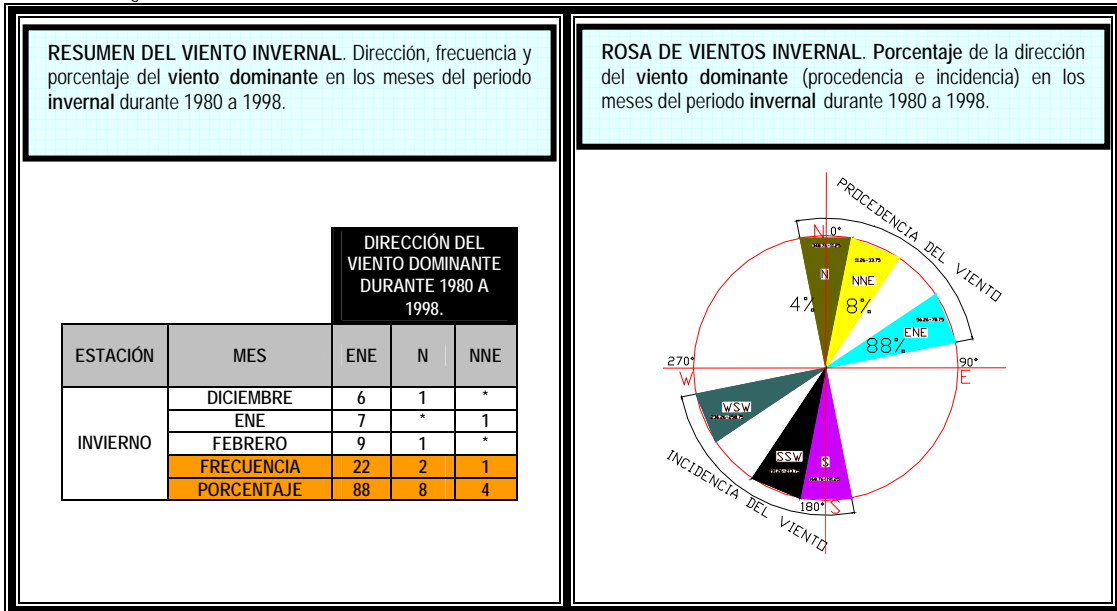
- ◆ Refinería "Héctor R. Lara Sosa". Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional en esta refinería se hizo a partir de las fuentes que la habían registrado, es decir de la base de datos de Itzamná y el Observatorio de la Ciudad de Monterrey. Cuadro 46

Cuadro 46. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de la Ciudad de Monterrey N. L., y a la base de datos de Itzamná (datos en cursiva y subrayadas). Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																		
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
INVIERNO	DICIEMBRE	*	NNW	N	ENE	ENE	*	*	ENE	*	*	*	<u>SSW</u>	<u>ENE</u>	<u>SSW</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*
	ENERO	NNE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	ENE	*	*	<u>W</u>	<u>W</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>S</u>	*	*	*	*
	FEBRERO	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	ENE	*	*	<u>N</u>	<u>NE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
PRIMAVERA	MARZO	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	ENE	*	*	<u>NE</u>	<u>W</u>	<u>SSW</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
	ABRIL	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	*	*	*	<u>SSW</u>	<u>NE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
	MAYO	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	*	*	*	<u>S</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
VERANO	JUNIO	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	*	*	*	<u>S</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>NE</u>	*	*	*	*
	JULIO	ENE	ENE	ENE	ENE	ESE	*	*	*	*	*	<u>SSW</u>	<u>ENE</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	<u>NE</u>	*	*	*	*
	AGOSTO	ENE	ENE	ENE	ENE	ESE	*	*	*	*	*	<u>SW</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>NE</u>	*	*	*	*
OTOÑO	SEPTIEMBRE	ENE	ENE	ENE	ENE	E	*	*	*	ENE	*	<u>SSE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>NE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
	OCTUBRE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*
	NOVIEMBRE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	<u>ENE</u>	*	*	*	*

* Sin dato

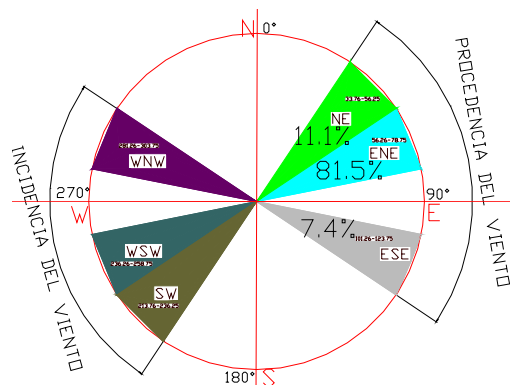
Cuadro 47. Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Héctor R. Lara Sosa".



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		ENE	NE	SSE
VERANO	JUNIO	8	1	*
	JULIO	6	1	1
	AGOSTO	7	1	1
	FRECUENCIA	22	3	2
	PORCENTAJE	81.5	11.1	7.4

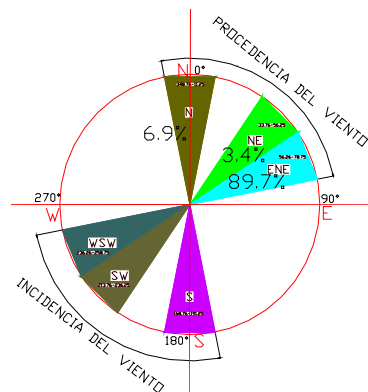
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	NE	ENE
OTOÑO	SEPTIEMBRE	*	1	8
	OCTUBRE	1	*	8
	NOVIEMBRE	1	*	9
	FRECUENCIA	2	1	26
	PORCENTAJE	6.9	3.4	89.6

ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



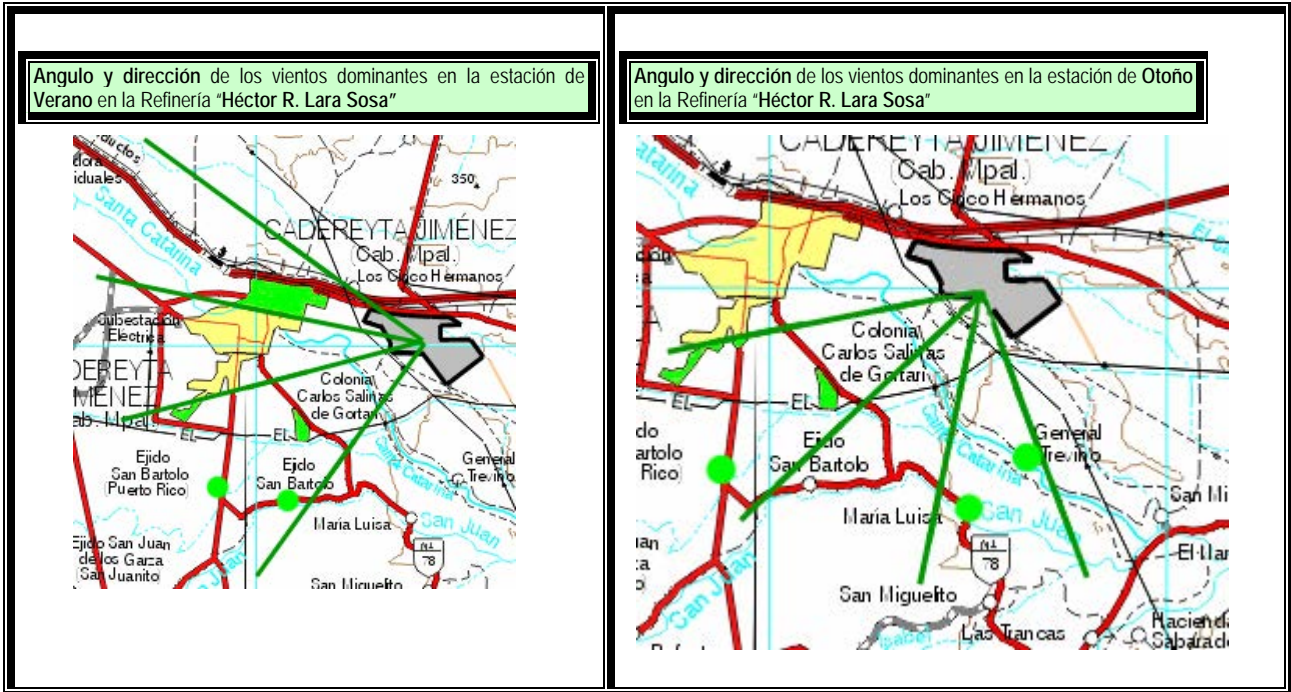
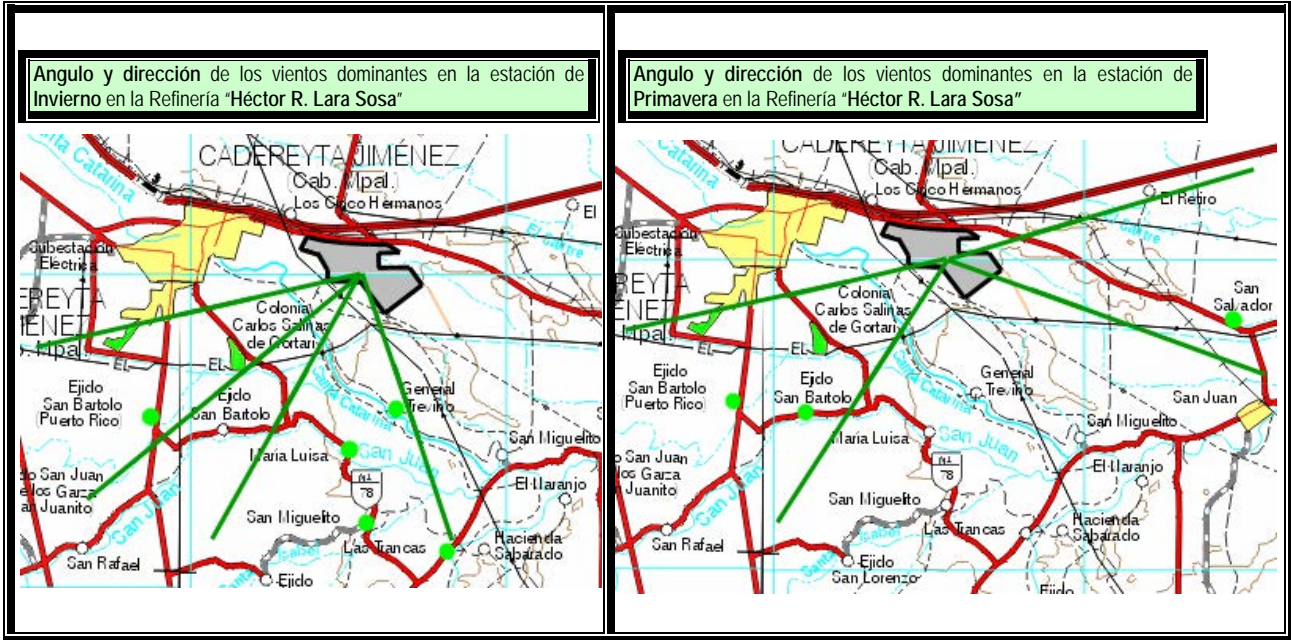


Figura 22 Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica G14-08 (Río Bravo) y G14-07 (Monterrey). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinería "Héctor R. Lara Sosa" hasta una distancia de 10 km en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 48. Refinería "Héctor R. Lara Sosa". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Invierno	General Treviño	2501
	Maria luisa	2501
	Las trancas	2501
	San miguelito	2501
	Ejido San Bartolo (Puerto Rico)	2501
	Col. Carlos Salina de Gortari	15 000
	Cadereyta de Jiménez	75 059
Total	7	102 564

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Primavera	Ejido san Bartolo (Puerto Rico)	2501
	Ejido San Bartolo	2501
	San Salvador	2501
	Col. Carlos Salina de Gortari	15 000
	Cadereyta de Jiménez	75 059
Total	5	97 562

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Verano	Ejido san Bartolo (Puerto Rico)	2501
	Ejido San Bartolo	2501
	Col. Carlos Salina de Gortari	15 000
	Cadereyta de Jiménez	75 059
Total	4	95 061

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Otoño	General Treviño	2 501
	Maria luisa	2 501
	Ejido San Bartolo (Puerto Rico)	2 501
	Col. Carlos Salina de Gortari	15 000
	Cadereyta de Jiménez	75 059
Total	5	97 562

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital G14-07 (Monterrey) y G14-08 (Rio Bravo) de INEGI. . 1998.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx 2005

Cuadro 49. Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Héctor R. Lara Sosa".

	Parámetros Meteorológicos									Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.	"Escala de Beaufort"	Itza.	"Escala de Beaufort"		
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s		VDV m/s			
Enero	14.5	14.4	11.9	ENE	ENE	1.9	Brisa muy débil	3.8	Brisa débil	102 564	3
Febrero	14.8	16.8	12.5	ENE	ENE	2.1	Brisa muy débil	4.0	Brisa débil	102 564	3
Marzo	18.4	19.5	16.4	ENE	ENE	2.2	Brisa muy débil	4.7	Brisa débil	97 562	3
Abril	*	23.1	18.9	ENE	ENE	2.2	Brisa muy débil	4.5	Brisa débil	97 562	3
Mayo	27.4	26.0	20.4	ENE	ENE	1.9	Brisa muy débil	4.6	Brisa débil	97 562	3
Junio	31.6	27.9	22.0	ENE	ENE	1.8	Brisa muy débil	4.2	Brisa débil	95 061	3
Julio	31.7	28.6	21.5	ENE	S	2.0	Brisa muy débil	4.1	Brisa débil	95 061	3
Agosto	29.4	28.1	20.6	ENE	ENE	1.9	Brisa muy débil	4.2	Brisa débil	95 061	3
Septiembre	29.5	25.9	18.2	ENE	ENE	1.9	Brisa muy débil	3.5	Brisa débil	97 562	3
Octubre	22.9	22.3	17.1	ENE	ENE	1.6	Brisa muy débil	3.6	Brisa débil	97 562	3
Noviembre	*	18.3	14.4	ENE	ENE	1.7	Brisa muy débil	3.6	Brisa débil	97 562	3
Diciembre	14.0	14.8	13.9	ENE	ENE	3.9	Brisa débil	3.8	Brisa débil	102 564	3

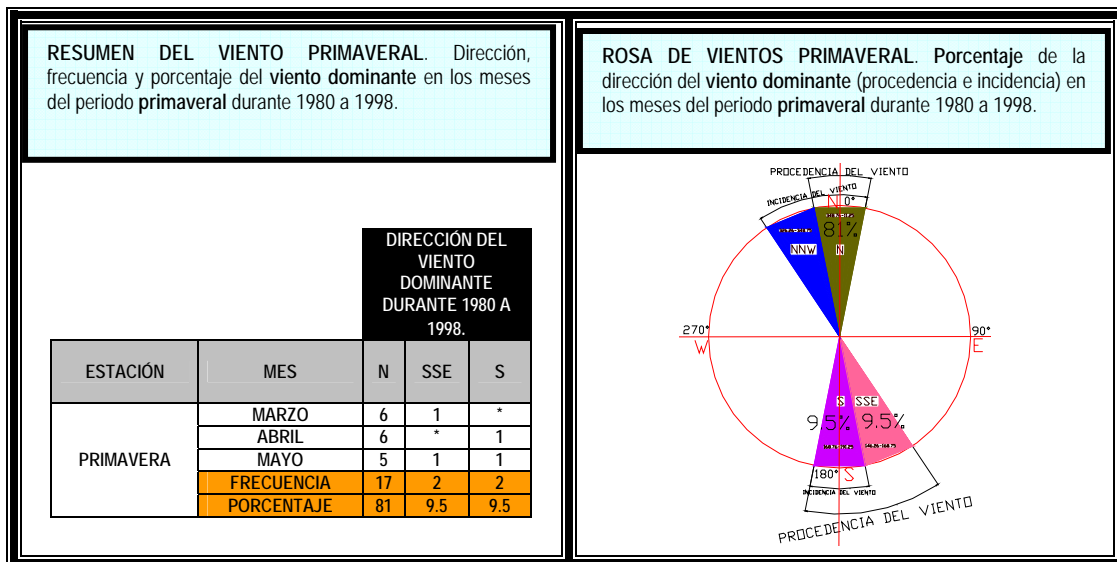
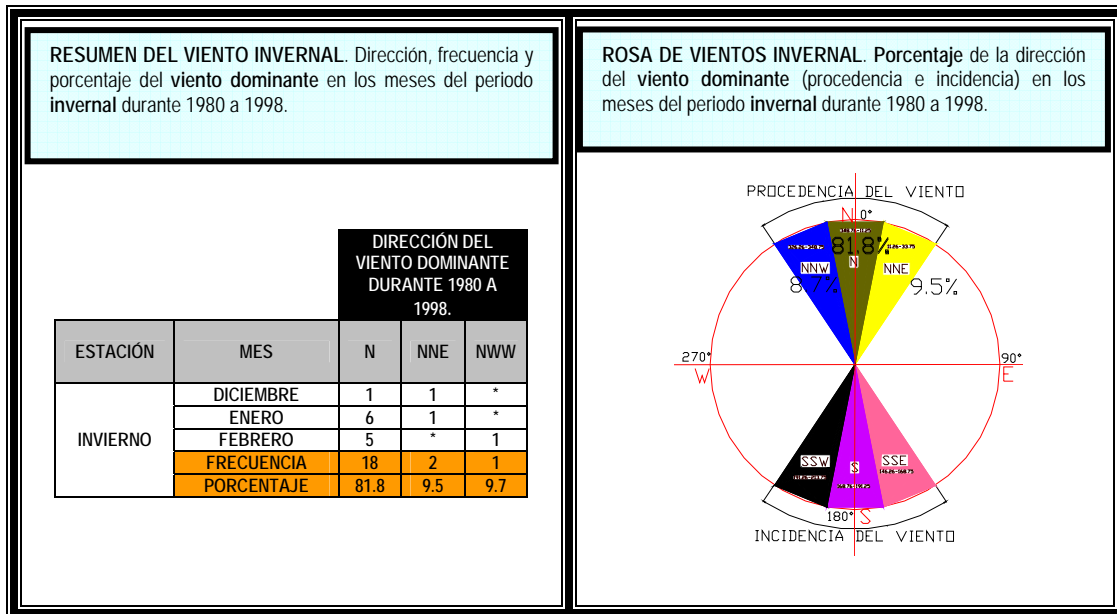
- ◆ Refinería "Antonio Dovalí Jaime". Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional en esta refinería se hizo a partir de las fuente que se habían registrado, es decir de la base de datos de Itzamná y el observatorio de Salina Cruz, Oax. Cuadro 50.

Cuadro 50. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al observatorio de Salina Cruz, Oax. y la base de datos de Itzamná (datos en cursiva y subrayadas). Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																		
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
INVIERNO	DICIEMBRE		N	*	*	*	N	*	*	N	N		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>NNE</u>	*	*	*	*
	ENERO	N	*	*	*	*	N	*	*	N	*		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>NNE</u>	*	*	*	*
	FEBRERO	NNW	*	*	*	*	N	*	*	N	*		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
PRIMAVERA	MARZO	N	*	*	*	*	N	*	*	N	N		<u>SSE</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	ABRIL	N	*	*	*	*	N	*	*	S	NNE		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
	MAYO	N	*	*	*	*	N	*	*	N	S		<u>SSE</u>	<u>SSW</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
VERANO	JUNIO	N	*	*	*	*	N	*	*	S	S		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
	JULIO	N	*	*	*	*	N	*	*	NNE	NNE		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
	AGOSTO	N	*	*	*	*	N	*	*	NNE	*		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
OTOÑO	SEPTIEMBRE	N	*	*	*	N	*	*	*	NNE	*		<u>NNE</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
	OCTUBRE	N	*	*	*	N	*	*	*	N	*		<u>NNE</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*
	NOVIEMBRE	N	*	*	*	N	*	*	N	N	*		<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*

* Sin dato

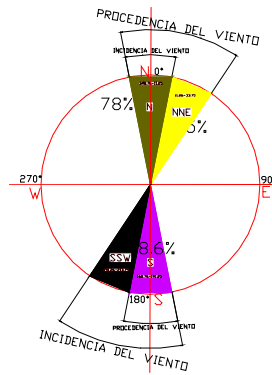
Cuadro 51. Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Antonio Dovalí Jaime".



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN		DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.		
		N	S	NNE
VERANO	JUNIO	6	2	*
	JULIO	6	*	2
	AGOSTO	6	*	1
	FRECUENCIA	18	2	3
	PORCENTAJE	78.2	8.6	12.8

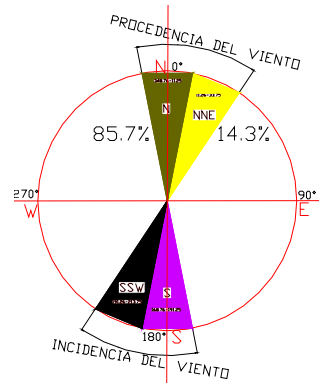
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.	
		N	NNE
OTOÑO	SEPTIEMBRE	5	2
	OCTUBRE	5	1
	NOVIEMBRE	8	*
	FRECUENCIA	18	3
	PORCENTAJE	85.7	14.3

ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Invierno en la Refinería "Antonio Dovalí Jaime"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Primavera en la Refinería "Antonio Dovalí Jaime"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Verano en la Refinería "Antonio Dovalí Jaime"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Otoño en la Refinería "Antonio Dovalí Jaime"



Figura 23. Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica E15-10 (Salina Cruz). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinería "Antonio Dovalí Jaime" hasta una distancia de 10 km. en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 52. Refinería "Antonio Dovalí Jaime" Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Invierno	Bahía La Ventosa	2 501
	Salina Cruz	76 452
Total	2	78 953

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Primavera	San Antonio Monterrey	2 501
	Salina Cruz	76 452
Total	2	78 953

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Verano	San Antonio Monterrey	2 501
	Salina Cruz	76 452
Total	2	78 953

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Otoño	Bahía La Ventosa	2 501
	Salina Cruz	76 452
Total	2	78 953

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital E1510 (Juchitan) de INEGI . 1998.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx 2005.

Cuadro 53. Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Antonio Dovalí Jaime".

	Parámetros Meteorológicos									Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.	Escala de Beaufort	Itza.	Escala de Beaufort		
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s					
Enero	19.3	26.4	27.1	N	N	7.7	Brisa moderada	5.8	Brisa moderada	78 953	3
Febrero	19.6	26.6	26.9	N	N	9.0	Brisa fresca	7.1	Brisa moderada	78 953	3
Marzo	21.7	27.5	28.1	N	N	7.3	Brisa moderada	5.7	Brisa moderada	78 953	3
Abril	24.4	29.0	29.6	N	N	6.7	Brisa moderada	5.5	Brisa moderada	78 953	3
Mayo	27.6	30.4	30.5	N	N	5.9	Brisa moderada	4.7	Brisa débil	78 953	3
Junio	28.6	29.3	29.4	N	N	4.2	Brisa débil	4.2	Brisa débil	78 953	3
Julio	28	29.7	27.7	N	N	5.3	Brisa débil	4.6	Brisa débil	78 953	3
Agosto	28.5	29.3	30.0	N	N	5.4	Brisa débil	4.7	Brisa débil	78 953	3
Septiembre	27.8	29.3	29.4	N	N	4.2	Brisa débil	5.0	Brisa débil	78 953	3
Octubre	25.6	28.8	29.0	N	N	6.8	Brisa moderada	5.2	Brisa débil	78 953	3
Noviembre	23.3	28.2	27.7	N	N	7.9	Brisa moderada	7.0	Brisa moderada	78 953	3
Diciembre	18.9	27.4	27.4	N	N	7.4	Brisa moderada	7.1	Brisa moderada	78 953	3

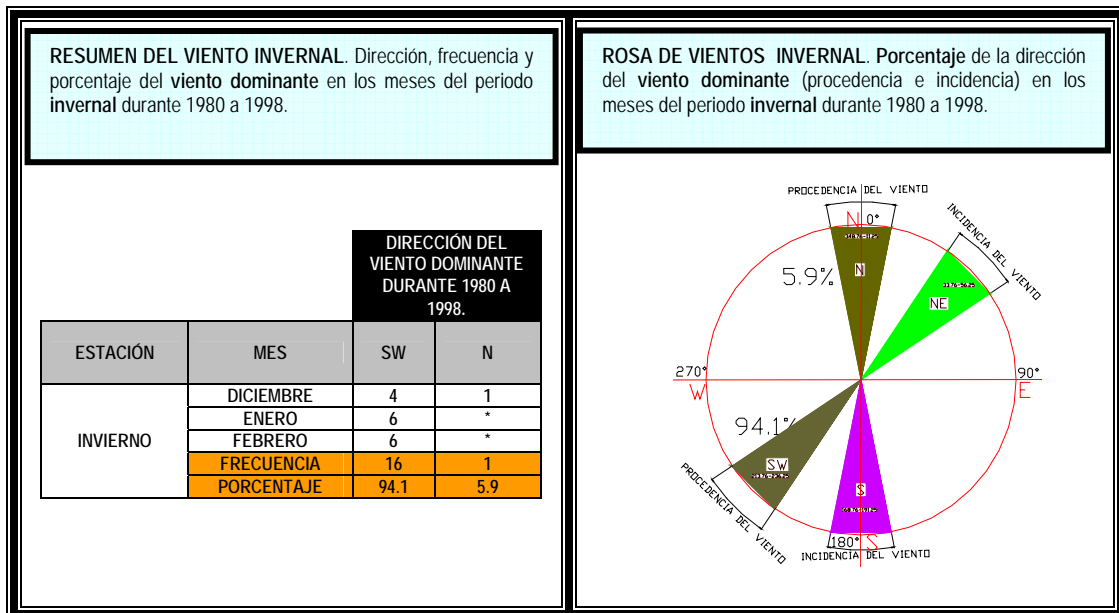
- ◆ Refinería "Antonio M. Amor". Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional en esta refinería se hizo a partir de la base de datos de Itzamná. **Cuadro 54**

Cuadro 54. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes a la base de datos de Itzamná. Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																	
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
INVIERNO	DICIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	SW	N	SW	SW	SW	*	*	*
	ENERO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	SW	SW	SW	SW	SW	*	*	*	
	FEBRERO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	SW	SW	SW	SW	SW	*	*	*	
PRIMAVERA	MARZO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	SW	SW	SW	SW	SW	*	*	*	
	ABRIL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	SW	SW	SW	SW	SW	*	*	*	
	MAYO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	SW	SW	SW	SW	*	*	*	
VERANO	JUNIO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	N	N	SW	*	*	*	
	JULIO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	N	N	N	*	*	*	
	AGOSTO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	N	N	N	*	*	*	
OTOÑO	SEPTIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	N	N	N	*	*	*	
	OCTUBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	N	N	N	*	*	*	
	NOVIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N	N	SW	SW	N	*	*	*	

* Sin dato

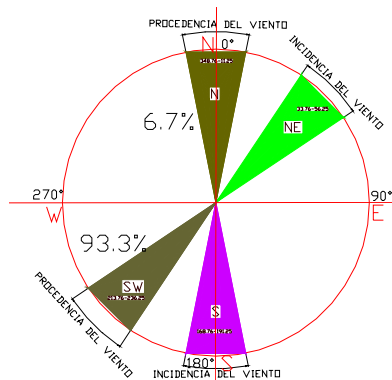
Cuadro 55. Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Antonio M. Amor".



RESUMEN DEL VIENTO PRIMAVERAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo primaveral durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.	
		SW	N
PRIMAVERA	MARZO	5	*
	ABRIL	5	*
	MAYO	4	1
	FRECUENCIA	14	1
	PORCENTAJE	93.3	6.7

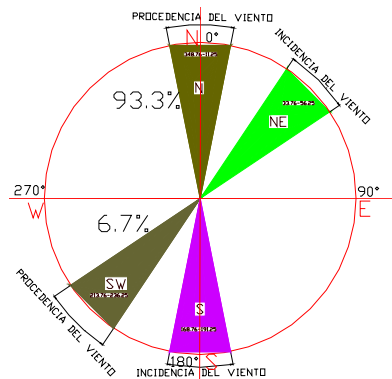
ROSA DE VIENTOS PRIMAVERAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo primaveral durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.

ESTACIÓN	MES	DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.	
		N	SW
VERANO	JUNIO	4	1
	JULIO	5	*
	AGOSTO	5	*
	FRECUENCIA	14	1
	PORCENTAJE	93.3	6.7

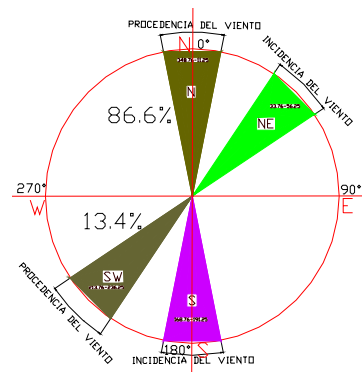
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

		DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.	
ESTACIÓN	MES	N	SW
OTOÑO	SEPTIEMBRE	5	*
	OCTUBRE	5	*
	NOVIEMBRE	3	2
	FRECUENCIA	13	2
	PORCENTAJE	86.6	13.4

ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Invierno en la Refinería "Antonio M. Amor"



Angulo y dirección de los vientos dominantes en la estación de Primavera en la Refinería "Antonio M. Amor"



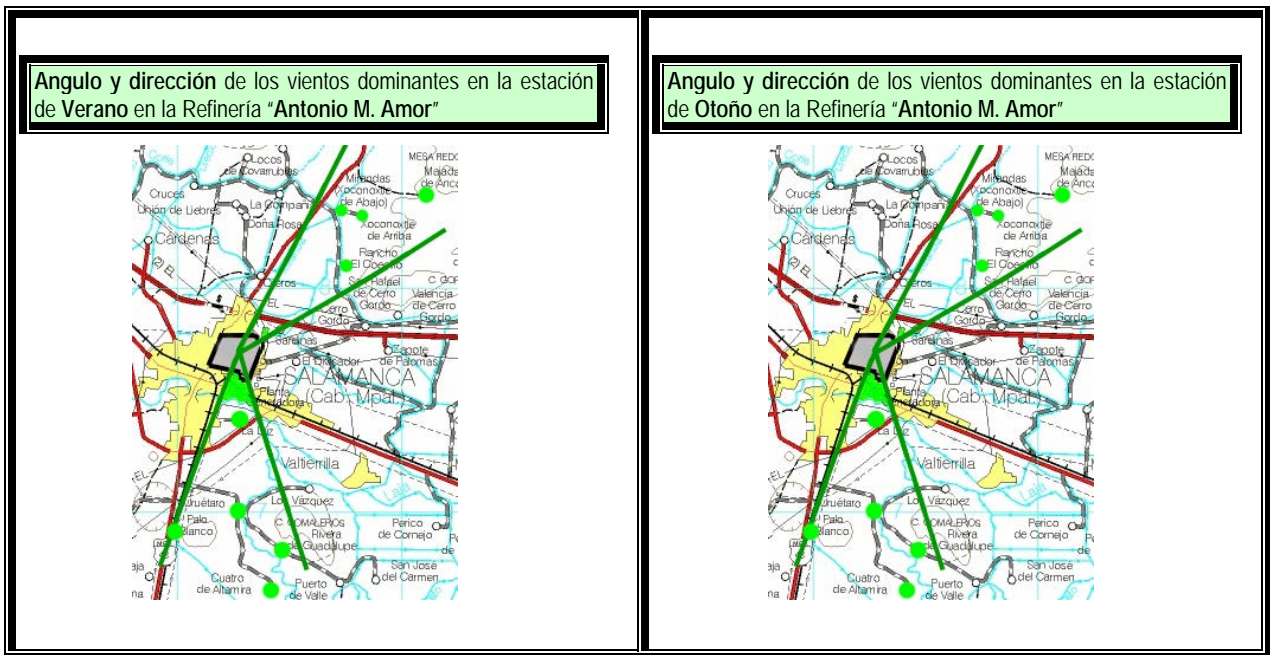


Figura 24. Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica F 14-03 (Querétaro). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinera "Antonio M. Amor" hasta una distancia de 10 km en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 56. Refinería "Antonio M. Amor". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado o ciudad.	Número de Habitantes.
Invierno Primavera Verano Otoño	*Salamanca	226 654
	Mirandas (Xoconoxtle de abajo)	2 501
	Mirandas (xoconoxtle de arriba)	2 501
	Majadas de Ancón	2 501
	Rancho el Coecillo	2 501
	La luz	2 501
	Uruétaro	2 501
	Palo Blanco	2 501
	Cuatro de Altamira	2 501
	Los lobos	2 501
	Colonia de guantes	2 501
	San José del Brazo	2 501
	Ejido Rancho seco de guantes	2 501
	Rivera de Guadalupe	2 501
Total	15	259 167

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital F14-10 (Querétaro) de INEGI. 1998.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx. 2005

Cuadro 57. Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Antonio M. Amor".

	Parámetros Meteorológicos									Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.	Escala de Beaufort	Itza.	Escala de Beaufort		
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s		VDV m/s			
Enero	15.2	15.3	14.9	SW	SW	1.4	Ventolina	2.8	Brisa muy débil	259 167	4
Febrero	16.8	16.3	16.3	SW	SW	1.5	Ventolina	3.0	Brisa muy débil	259 167	4
Marzo	19.6	18.9	19.0	SW	SW	2.2	Brisa muy débil	3.4	Brisa débil	259 167	4
Abril	22.2	20.8	20.4	SW	SW	2.5	Brisa muy débil	3.5	Brisa débil	259 167	4
Mayo	22.8	22.2	21.9	SW	SW	2.2	Brisa muy débil	3.0	Brisa muy débil	259 167	4
Junio	21.5	21.8	21.3	NE	N	1.9	Brisa muy débil	3.0	Brisa muy débil	259 167	4
Julio	20.5	20.8	19.4	NE	N	2	Brisa muy débil	2.7	Brisa muy débil	259 167	4
Agosto	20.5	20.1	19.7	N	N	1.5	Ventolina	2.7	Brisa muy débil	259 167	4
Septiembre	20.0	19.4	18.8	NE	N	1.6	Brisa muy débil	2.9	Brisa muy débil	259 167	4
Octubre	18.8	18.3	18.3	NE	N	1.9	Brisa muy débil	2.7	Brisa muy débil	259 167	4
Noviembre	16.1	17.3	16.9	NE	N	1.4	Ventolina	2.8	Brisa muy débil	259 167	4
Diciembre	15.3	15.9	15.7	NE	SW	1.5	Ventolina	2.5	Brisa muy débil	259 167	4

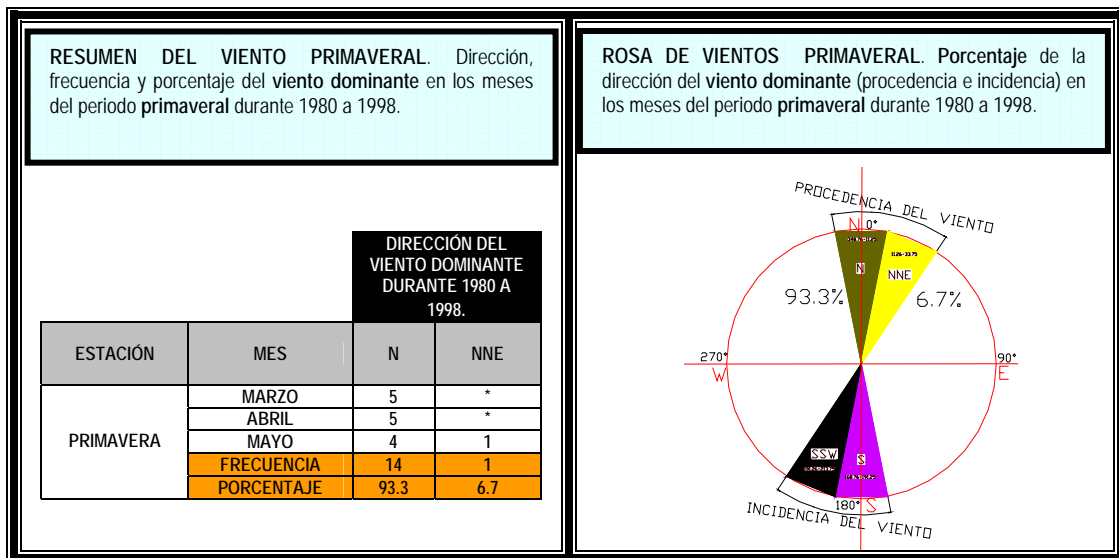
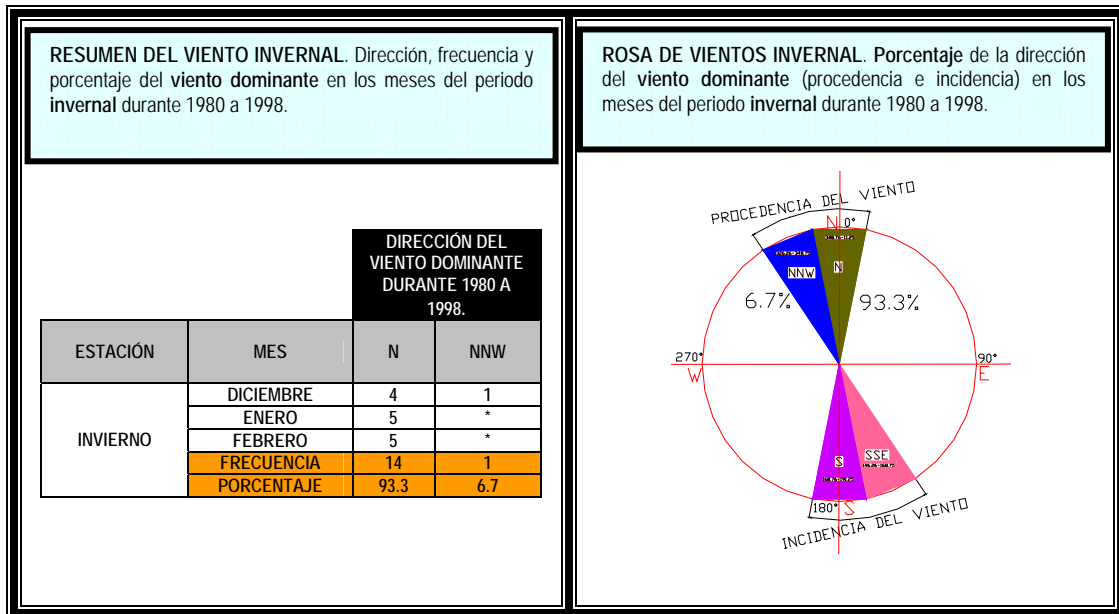
- ◆ Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas ". Para el cálculo de la dirección del viento dominante estacional en esta refinería se hizo solamente de la base de datos de Itzamná. Cuadro 58

Cuadro 58. Arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación y mes durante 1980 a 1998; registros pertenecientes al base de datos de Itzamná. Se puede observar las estaciones del año con coloración distinta.

PERIODO	MES	AÑOS																			
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	
INVIERNO	DICIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	N	NNW	*	*	*
	ENERO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	FEBRERO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
PRIMAVERA	MARZO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	ABRIL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	MAYO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>NNE</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
VERANO	JUNIO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	JULIO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	AGOSTO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
OTOÑO	SEPTIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	OCTUBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	
	NOVIEMBRE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	<u>N</u>	*	*	*	*	

* Sin dato

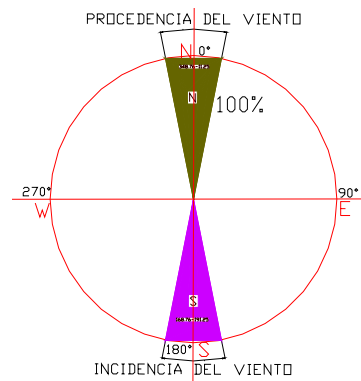
Cuadro 59 Dirección y frecuencia de los vientos dominantes en los inviernos primaveras, veranos y otoños ocurridos de 1980 a 1998 en la región de la refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".



RESUMEN DEL VIENTO ESTIVAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.

		DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.
ESTACIÓN	MES	N
VERANO	JUNIO	5
	JULIO	5
	AGOSTO	5
	FRECUENCIA	15
	PORCENTAJE	100

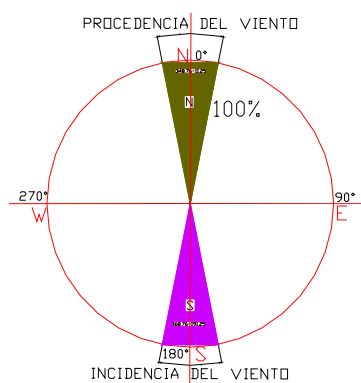
ROSA DE VIENTOS ESTIVAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo estival durante 1980 a 1998.



RESUMEN DEL VIENTO OTOÑAL. Dirección, frecuencia y porcentaje del viento dominante en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.

		DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE DURANTE 1980 A 1998.
ESTACIÓN	MES	N
OTOÑO	SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	5
	FRECUENCIA	15
	PORCENTAJE	100

ROSA DE VIENTOS OTOÑAL. Porcentaje de la dirección del viento dominante (procedencia e incidencia) en los meses del periodo otoñal durante 1980 a 1998.



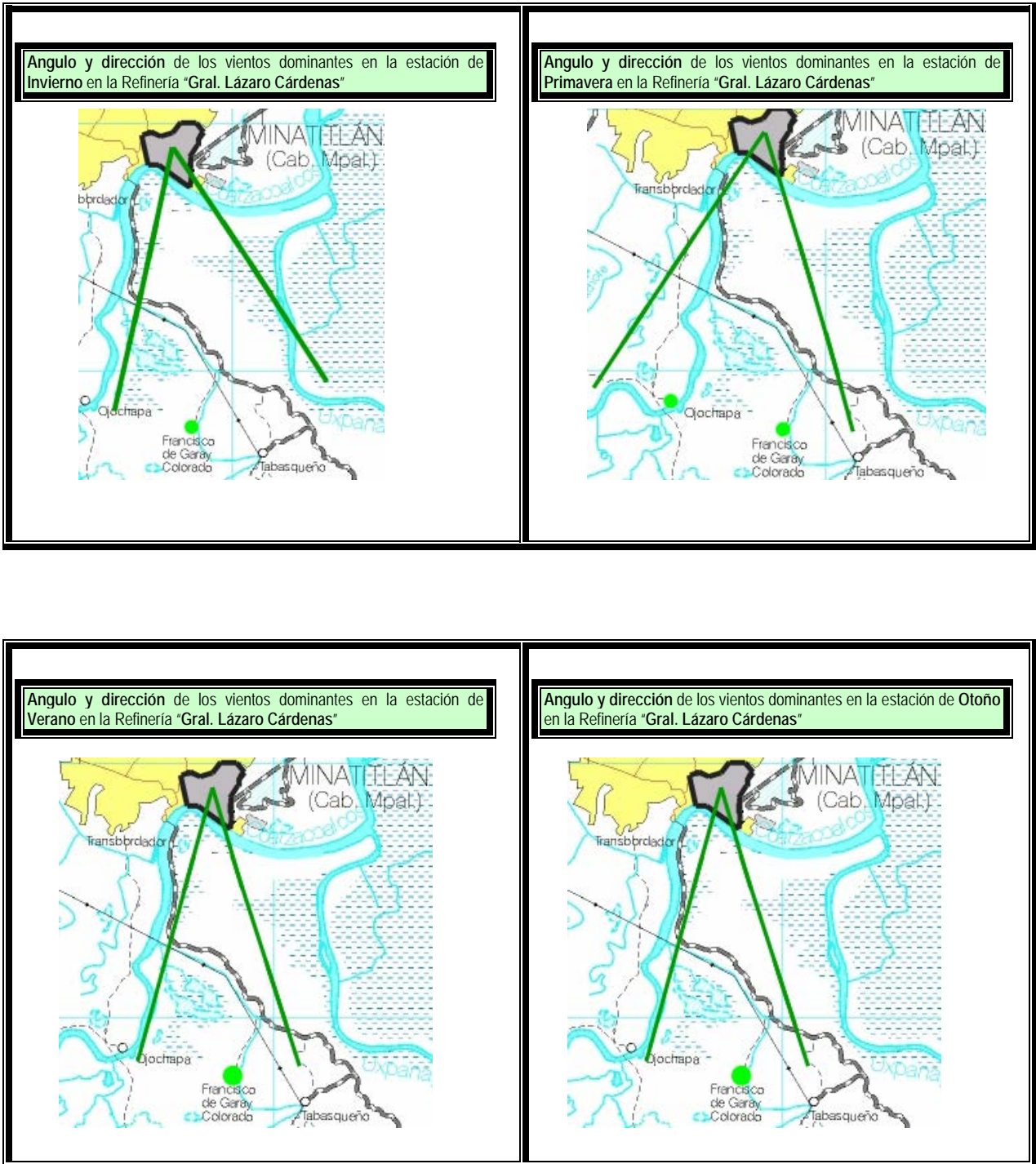


Figura 25. Sobredigitalización regional de los vientos frecuentemente dominantes en la carta topográfica E15-07 (Minatitlán). Se marcan los poblados y las regiones desde la refinería "Gral. Lázaro Cárdenas" hasta una distancia de 10 km en que la dirección dominante de los vientos estacionales han soplado en los 19 años de estudio.

Cuadro 60. Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas". Se describen los poblados, y su número de habitantes, que los vientos estacionales han recorrido en los 19 años de estudio. (Cifras poblacionales manejadas en la simbología de los planos de imagen digital de INEGI)

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Invierno	San Francisco de Garay Colorado	2 501
	Minatitlán	153 001
Total	2	155 502

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Primavera	San Francisco de Garay Colorado	2 501
	Ojochapa	2 501
	Minatitlán	153 001
Total	3	158 003

Periodo	Nombre del Poblado.	Número de Habitantes.
Verano y Otoño	San Francisco de Garay Colorado	2 501
	Minatitlán	153 001
Total	2	155 502

Datos obtenidos a partir de la información contenida en el plano de imagen digital E15-07 (Minatitlán) de INEGI. 2005.

* Dato obtenido por la información poblacional en la página www.inegi.gob.mx, 2005

Cuadro 61 Resumen meteorológico mensual y poblacional para la obtención del número de estaciones de monitoreo ambiental a la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".

	Parámetros Meteorológicos						Escala de Beaufort	Itza.	Escala de Beaufort	Número de habitantes	Número de estaciones
	Clim.	Obs.	Itza.	Obs.	Itza.	Obs.					
	Tpro °C	Tpro °C	Tpro °C	DDV	DDV	VDV m/s					
Enero	22.6	21.9	23.2	N	N	4.2	Brisa débil	5.3	Brisa débil	155 502	3
Febrero	23.3	22.6	23.6	N	N	4.9	Brisa débil	5.4	Brisa débil	155 502	3
Marzo	25.7	25.0	25.5	N	N	3.7	Brisa débil	5.4	Brisa débil	155 502	3
Abril	27.1	26.8	27.8	N	N	3.7	Brisa débil	5.2	Brisa débil	158 003	3
Mayo	27.9	28.7	28.8	N	N	3.4	Brisa débil	4.8	Brisa débil	158 003	3
Junio	26.7	28.2	28.7	N	N	3.4	Brisa débil	4.5	Brisa débil	158 003	3
Julio	26.4	27.7	28.2	N	N	3.5	Brisa débil	4.6	Brisa débil	155 502	3
Agosto	26.8	28.0	28.2	N	N	3.1	Brisa muy débil	4.6	Brisa débil	155 502	3
Septiembre	26.7	26.7	27.5	N	N	3.3	Brisa muy débil	4.6	Brisa débil	155 502	3
Octubre	26	25.9	26.9	N	N	3.5	Brisa débil	4.6	Brisa débil	155 502	3
Noviembre	24.4	25.0	25.1	N	N	3.8	Brisa débil	5.3	Brisa débil	155 502	3
Diciembre	22.7	23.3	24.1	N	N	4.2	Brisa débil	4.7	Brisa débil	155 502	3

5.10 Determinación de los sitios de monitoreo mediante un modelo de dispersión en la Refinería "Miguel Hidalgo".

Generalidades del modelo gaussiano de dispersión.

El modelo matemático de dispersión atmosférica debe tratar de simular el comportamiento en conjunto de las plumas emitidas desde fuentes a nivel de terreno o a la altura de la chimenea. Para fuentes localizadas en un punto, como en el caso de una chimenea, el aspecto general de una pluma se podría representar por el esquema de la **Figura 26**. A pesar que la pluma tiene su origen a una altura h de la chimenea, se eleva a una altura adicional Δh , debido a la capacidad de flotación de los gases calientes y a la cantidad de movimiento de los gases que salen verticalmente de la chimenea a una velocidad V_s : Por tanto, y con fines prácticos, la pluma aparece como si se originara de una fuente puntual a una altura equivalente de la chimenea, $H=h+\Delta h$. Dicho punto de origen queda también algo hacia atrás de la línea de centro de la posición de la chimenea para $x=0$.

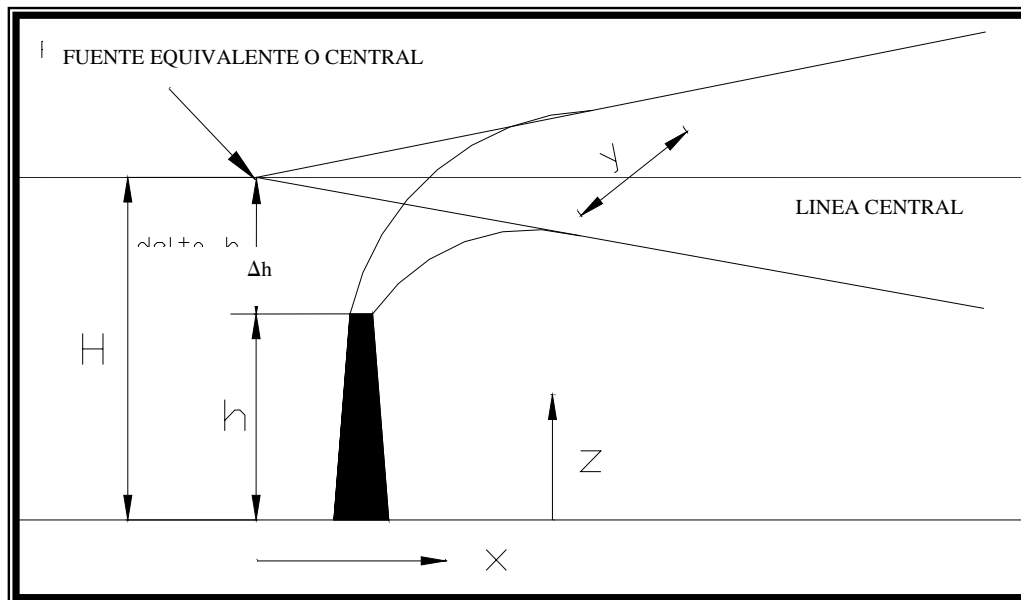


Figura 26. Un modelo de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva, H , de la chimenea.

El modelo anterior está basado en la difusión de la masa del contaminante en las direcciones y y z según un elemento fluido es arrastrado por el viento en la dirección x con una velocidad del viento u .

Las suposiciones necesarias para el modelo se enumeran enseguida:

- Se trata de un estado estacionario.
- Difusión despreciable de masa en la dirección x .
- Velocidad constante del viento, u .
- Difusión constante de masa D_x , D_y y D_z en las respectivas direcciones de los ejes de coordenadas.
- Una fuente puntual parece estar situada en $x=0$ y a una altura H .

Casos que se presentan al evaluar la concentración del contaminante a favor del viento.

Caso 1. Fuente puntual a nivel del suelo.

En este caso se evalúa la concentración del contaminante en cualquier punto a favor del viento, considerando que es una fuente puntual a nivel del suelo y con formato de una distribución gaussiana doble. En la expresión matemática está dada por:

Donde:

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

$C(x,y,z)$ = concentración gaseosa en cualquier lugar del terreno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Q = Es la fuerza de la fuente de emisión). [$\mu\text{g}/\text{s}$].

π = 3.1416.

u = velocidad del viento [m/s].

σ_y = coeficiente de difusión de masa del SO_2 a través de aire en la dirección y .

σ_z = coeficiente de difusión de masa del SO_2 a través de aire en la dirección z .

y = dirección vertical [m].

z = dirección horizontal [m].

Caso 2. Fuente puntual a nivel del suelo a lo largo de la línea central ($y=0$ y $z=0$).

Es similar al "caso 1", pero a nivel del suelo y a lo largo de la línea central se harán las mediciones del gas; o sea que cualquier medición será interpretada sin desviaciones en y ni en z . En este caso la fórmula se simplifica:

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$$

Caso 3. Fuente puntual a la altura H por encima del suelo, sin reflexión.

Para la emisión de una chimenea con una altura efectiva H , es necesario alterar el término exponencial que contiene a z^2 , en la ecuación del caso 1, debido a que después del exponencial se encuentra la mitad del valor para la fuente en el terreno. Por lo tanto, se tiene que para una fuente en un punto elevado de un contaminante gaseoso, sin reflexión, el valor de C será:

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

Caso 4. Fuente puntual a la altura H por encima del suelo, con reflexión.

En este punto es necesario cambiar la ecuación anterior para tener en cuenta la reflexión regresiva de un contaminante a la atmósfera, una vez que haya llegado al nivel del terreno. Por referencia en **Figura 27** se observa que la reflexión a cierta

distancia x es matemáticamente equivalente a tener en $-H$ una imagen de espejo de la fuente. El área sombreada más allá de la posición I en el diagrama indica la región de la atmósfera en donde la concentración aumentará sobre la suministrada normalmente por la fuente en H . Esta concentración aumentada se determina matemáticamente por la superposición lineal de dos curvas de concentración de tipo gaussiano, una centrada en H y la otra en $-H$. Esto equivale a sumar dos ecuaciones como en el caso 3. Sin embargo, una de las ecuaciones contiene un término $(z+H)$ en vez del término $(z-H)$. Esto da como resultado que la ecuación de concentración para una fuente elevada *con reflexión*, tome la forma:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2u\pi\sigma_y\sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

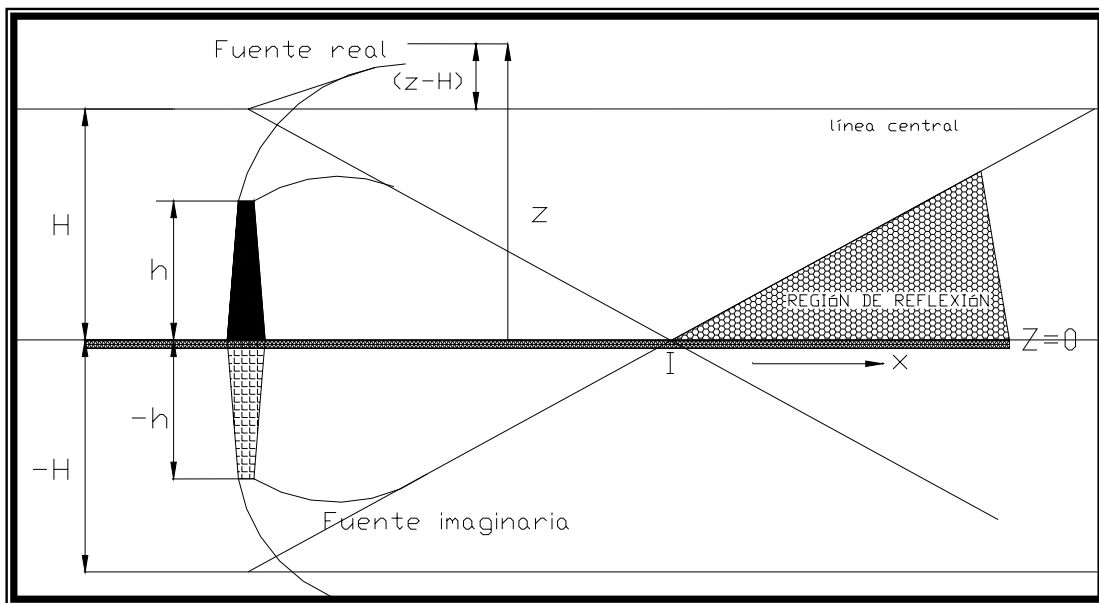


Figura 27. El uso de una fuente imaginaria para describir matemáticamente la reflexión gaseosa en la superficie terrestre.

Se hace hincapié que las ecuaciones anteriores no son válidas para descargas instantáneas o intermitentes de contaminantes procedentes de una fuente puntual.

Antes de la aplicación del modelo gaussiano a la refinería "Miguel Hidalgo", se tuvo que realizar una serie de cálculos para obtener todos los valores necesarios, como por ejemplo la obtención de σ_y y σ_z , la velocidad del viento a la altura de la chimenea, u , y la altura H_e de la chimenea.

PROCEDIMIENTOS EN EL CÁLCULO DE VALORES.

- Cálculo de los valores σ_y y σ_z .

Como anteriormente se comentó σ_y y σ_z interpretan la descripción física de la difusión que equivalen a las desviaciones horizontales y verticales; también son una función de la posición x en la dirección del viento así como las condiciones de

estabilidad atmosférica. Por lo tanto, sus valores se estimaron a partir de las siguientes expresiones algebraicas: $\sigma_y = ax^b$ y $\sigma_z = cx^d + fy$ para sustituir las variables se usaron las constantes contenidos en el Cuadro 62.

Cuadro 62. Valores de las constantes que se utilizaron en las ecuaciones algebraicas como una función de la distancia en la dirección del viento y diferentes estabildades. El valor de b es un valor constante a cualquier distancia igual a 0.894

Estabilidad	$x \leq 1km$				$x \geq 1km$		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34
F	34	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

FUENTE: D.O. Martin. J. Air Pollu. Control Assoc. 26, No. 2 (1976): 145.

De tal manera, se obtuvieron la σ_y y σ_z de los 100 primeros kilómetros mediante el uso de la hoja de cálculo de Excel, Microsoft. A continuación se presentan los valores obtenidos en 1 500 m de una atmósfera inestable en el siguiente Cuadro 63.

Cuadro 63. Valores de σ_y y σ_z obtenidos en los primeros 1 500 m de distancia en una condición atmosférica inestable. No obstante se resaltan el tipo de operaciones bajo el ambiente Excel y las constantes utilizadas en cada valor de x . La línea serpenteada que se localizada a un km indica el cambio de constantes para c , d y f .

ESTABILIDAD "A"											
a	x	b	$(xpotb)$	$a(xpotb)$	c	x	d	f	$(xpotd)$	$c(xpotd)$	$c(xpotd)+f$
	km			$\sigma_y (m)$		km					$\sigma_z (m)$
213	0.1	0.894	0.13	27.2	440.8	0.1	1.941	9.27	0.01	5.0	14.3
213	0.2	0.894	0.24	50.5	440.8	0.2	1.941	9.27	0.04	19.4	28.7
213	0.3	0.894	0.34	72.6	440.8	0.3	1.941	9.27	0.10	42.6	51.9
213	0.4	0.894	0.44	93.9	440.8	0.4	1.941	9.27	0.17	74.4	83.7
213	0.5	0.894	0.54	114.6	440.8	0.5	1.941	9.27	0.26	114.8	124.1
213	0.6	0.894	0.63	134.9	440.8	0.6	1.941	9.27	0.37	163.5	172.8
213	0.7	0.894	0.73	154.8	440.8	0.7	1.941	9.27	0.50	220.6	229.9
213	0.8	0.894	0.82	174.5	440.8	0.8	1.941	9.27	0.65	285.9	295.1
213	0.9	0.894	0.91	193.9	440.8	0.9	1.941	9.27	0.82	359.3	368.5
213	1.0	0.894	1.00	213.0	440.8	1.0	1.941	9.27	1.00	440.8	450.1
213	1.1	0.894	1.09	231.9	459.7	1.1	2.094	-9.60	1.22	561.2	551.6
213	1.2	0.894	1.18	250.7	459.7	1.2	2.094	-9.60	1.46	673.4	663.8
213	1.3	0.894	1.26	269.3	459.7	1.3	2.094	-9.60	1.73	796.3	786.7
213	1.4	0.894	1.35	287.8	459.7	1.4	2.094	-9.60	2.02	930.0	920.4
213	1.5	0.894	1.44	306.1	459.7	1.5	2.094	-9.60	2.34	1074.5	1064.9

- Cálculo de la velocidad del viento, u , a la altura de la chimenea.

El movimiento del aire cerca de la superficie del terreno está retrasado por los efectos de fricción proporcionales a la rugosidad de la superficie. Por lo tanto, fue necesario calcular la velocidad del viento a la altura de la chimenea. La fórmula que se utilizó fue la siguiente,

donde,

$$\frac{u}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1} \right)^p$$

u = es la velocidad del viento a la altura z [m/s].

z = altura a la que se registró la velocidad del viento [m].

u_1 = es la velocidad del viento a la altura z_1 [m/s].

z_1 = altura de la chimenea [m] y

p = es un exponente positivo que va desde 0 hasta 1.

Los valores que se tenían eran u , z , y z_1 . El valor de p fue interpolado entre dos valores, el primero $p=0.28$ el que se considera para áreas densamente boscosas, ciudades y suburbios; y el segundo $p=0.16$ para terrenos llanos y abiertos, lagos y mares. Como en las refinerías no se encuentran estrictamente en uno y otro, el valor de p fue de 0.22. El valor de z fue tomado de las anotaciones que se tienen en los observatorios, es decir, a la altura de 10 m; de igual forma, la altura de la chimenea z_1 fue de 45 m cuyo valor fue adquirido del muestreo mencionado en el capítulo anterior. Finalmente, se despejó u_1 en la fórmula para obtener su valor a la altura de la chimenea. De tal forma que la fórmula quedó arreglada de la siguiente manera:

$$u_1 = \frac{u}{\left(\frac{z}{z_1} \right)^p}$$

Los resultados originados aplicando la fórmula anterior se anotaron en el **Cuadro 64**.

Cuadro 64. Se observan los distintos valores de la velocidad del viento a la altura de la chimenea según el mes del año. La velocidad del viento a 10 m de altura corresponden al promedio calculado en los 19 años de estudio. Además se resaltan en los encabezados las operaciones bajo el ambiente Excel.

Mes	H-viento (m)	H-chim (m)	Hv/Hchim	POT "p"	(H-v/H-chim)^"p"	VEL-VIENTO a 10 m (m/s)	VEL-VIENTO A 45 m (m/s)
	z	z_1		p		u	u_1
ENERO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	3.6	5.01
FEBRERO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	3.8	5.29
MARZO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	3.9	5.43
ABRIL	10	45	0.22	0.22	0.718279128	4.1	5.71
MAYO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	4.1	5.71
JUNIO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	4.7	6.54
JULIO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	5.1	7.10
AGOSTO	10	45	0.22	0.22	0.718279128	5.2	7.24
SEPTIEMBRE	10	45	0.22	0.22	0.718279128	4.7	6.54
OCTUBRE	10	45	0.22	0.22	0.718279128	4.2	5.85
NOVIEMBRE	10	45	0.22	0.22	0.718279128	3.4	4.73
DICIEMBRE	10	45	0.22	0.22	0.718279128	3.2	4.46

- Cálculo de la altura efectiva, H_e , de la chimenea.

Para pronosticar las concentraciones de los efluentes de las chimeneas implican la utilización de un origen virtual o equivalente como se muestra en la **Figura 26**. La elevación H del origen virtual se obtiene añadiendo un término Δh , la altura de la pluma, a la altura actual, h_s , de la chimenea. Por tal motivo, se buscó el valor de Δh bajo diversas estabildades de la atmósfera, aplicando las siguientes ecuaciones:

(inestable)
$$\Delta h = 3.47 \frac{v_s d}{u} + 5.15$$

(neutral)
$$\Delta h = 0.35 \frac{v_s d}{u} + 2.64$$

(estable)
$$\Delta h = -1.04 \frac{v_s d}{u} + 2.24$$

donde:

Δh = a la elevación de la pluma [m].

v_s = a la velocidad del gas de la chimenea [m/s].

d = es el diámetro de salida de la chimenea [m].

u = es la velocidad del viento a la altura de la chimenea [m/s].

Por consiguiente, suministrando los valores de las variables en las diferentes fórmulas se obtuvieron las elevaciones de las plumas en diferentes estabildades atmosféricas; concluyendo con el dato de elevación Δh , se adicionó la altura real de la chimenea, tal y como se aprecia en la última columna del **Cuadro 65**

Cuadro 65. Valores Δh obtenidos mediante la aplicación de ecuaciones en una hoja de cálculo de Excel; además, se suma la altura de la chimenea de 45 m para en cada una de ellas para determinar la altura efectiva de la pluma.

TIPO DE ESTABILIDAD	Cte_1	$(Vs*d)/u$	$((Vs*d)/u)$	Cte_2	Δh (m)	H -Chim (m)	H -Efectiva (m)
INESTABLE	3.47	9.10	31.59	5.15	36.74	45	81.74
POCO INESTABLE							66.28
NEUTRAL	0.35	9.10	3.18	2.64	5.82	45	50.82
POCO ESTABLE							44.29
ESTABLE	-1.04	9.10	-9.47	2.24	-7.23	45	37.76

Los valores de la altura efectiva de las plumas para "poco inestable" y "poco estable" fueron calculados a partir de la interpolación de las estabildades "inestable", "neutral" y "estable".

Realizado el cálculo de los valores de σ_y y σ_z , la velocidad del viento, u , a la altura de la chimenea y la altura efectiva, H_e , se procedió a obtener los valores de las concentraciones a lo largo de la línea central y a favor del viento mediante la aplicación del modelo matemático, **Caso 4**. Por tanto, se hicieron algunas aclaraciones técnicas y consideraciones matemáticas antes de su aplicación.

1. Aclaración técnica.

- ✧ El modelo es funcional si es que los valores del cociente entre la velocidad de salida del SO_2 , V_s , y la velocidad del viento, u , son mayores a 2; la relación matemática es representada de la siguiente manera:

$$\frac{V_s}{u} > 2$$

2. Consideraciones para el Arreglo matemático final.

- ✧ Las concentraciones del SO_2 estarán calculadas a lo largo de la línea central a favor del viento, sin desviación en el eje y , pero sí a 1.3 m del suelo en el eje z .
- ✧ Las concentraciones también se calcularán en cada uno de las estabildades presentadas.
- ✧ Se considera a la chimenea de emisión puntual como una fuente elevada en donde habrá **reflexión** del contaminante a 1.3 m sobre el nivel del suelo.
- ✧ Al no haber desviación en eje y , el valor del término exponencial que contiene a y^2 será igual a 1, por consiguiente sólo aparecieron los términos restantes; de tal manera que la expresión matemática quedó de la siguiente forma:

$$C(x,0,1.3) = \frac{Q}{2u\pi\sigma_y\sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Los valores de las variables del modelo fueron los siguientes:

$C_{(x,0,1.3)}$ = Concentración del SO_2 a lo largo de la línea central a favor del viento, sin desviación en y a una altura de 1.3 m del eje z .

$Q = [Va]$; donde v = velocidad de los gases en la chimenea y a = área de la interna de la chimenea. Sustituyendo: $[15.7909 \text{ m/s} \times 6.88 \text{ m}^2]$; se obtuvo:

$$Q = 312.887 \times 10^6 \text{ } [\mu\text{g/s}].$$

$$\pi = 3.1416$$

z = altura de la medición con respecto al suelo, 1.3 m.

H = altura de la chimenea, 45 m.

u = velocidad del viento $[m/s]$ (varía en cada mes del año y a la altura de la chimenea en cuestión).

σ_y = coeficiente de difusión de masa del SO_2 a través de aire en la dirección y .

σ_z = coeficiente de difusión de masa del SO_2 a través de aire en la dirección z .

Bajo estas consideraciones, el modelo fue llevado a una hoja de cálculo llamada Excel. Se desglosaron todos los términos de la ecuación para ser introducidos en las celdas de operación de la hoja de cálculo; posteriormente, se integraron los valores independientes dentro de una celda final de operación para obtener así la concentración en μg que al multiplicarlas por la constante 3.8×10^{-4} se obtuvo la concentración que maneja la normatividad ambiental en México, en partes por millón [ppm]. Al dato anterior se le adjuntó una celda que contiene la distancia en metros a la cual se calculó dicha concentración. Cabe resaltar que el procedimiento de operación matemática de Excel se hizo para cada estabilidad atmosférica mencionada. Cuadro 66 para observar un ejemplo de la aplicación del modelo de dispersión bajo condiciones inestables de la atmósfera para el mes de enero.

Cuadro 66. Se observa en detalle los cálculos de cada uno de los términos matemáticos correspondientes al modelo de dispersión atmosférica de SO_2 ; en los encabezados se tienen cada uno de los componentes que la conforman y sus valores, en las filas siguientes, son las operaciones realizadas entre ellas hasta llegar a la concentración en ppm del contaminante en cuestión en cada 100 m.

σ_y	σ_z	u	Q	$Q/2\pi u \sigma_y \sigma_z$	H	Z	$(H-Z)^2/2\sigma^2$	$EXP-(H)$	$(H+Z)^2/2\sigma^2$	$EXP+(H)$	$(EXP-(H)) + (EXP+(H))$	C	C	DISTANCIA
m	m	m/s	$\mu\text{g/s}$		m	m						μg	ppm	m
19.9	10.9	5.0	9.25.E+09	1357795.29	81.7	1.3	-27.42	0.0000000	-29.22	0.00000000	0.00000000	0	0.00	100
37.0	20.1	5.0	9.25.E+09	395430.27	81.7	1.3	-8.03	0.0003254	-8.56	0.00019203	0.00051745	205	0.08	200
53.2	30.0	5.0	9.25.E+09	183972.32	81.7	1.3	-3.59	0.0276305	-3.82	0.02182819	0.04945876	9099	3.46	300
68.8	40.5	5.0	9.25.E+09	105474.78	81.7	1.3	-1.97	0.1390335	-2.10	0.12213444	0.26116795	27547	10.47	400
83.9	51.4	5.0	9.25.E+09	68114.51	81.7	1.3	-1.23	0.2933791	-1.31	0.27067557	0.56405469	38420	14.60	500
98.8	62.6	5.0	9.25.E+09	47509.18	81.7	1.3	-0.83	0.4375764	-0.88	0.41445532	0.85203174	40479	15.38	600
113.4	74.1	5.0	9.25.E+09	34973.50	81.7	1.3	-0.59	0.5543146	-0.63	0.53324381	1.08755843	38036	14.45	700
127.8	85.8	5.0	9.25.E+09	26793.09	81.7	1.3	-0.44	0.6442495	-0.47	0.62591082	1.27016035	34032	12.93	800
142.0	97.7	5.0	9.25.E+09	21165.96	81.7	1.3	-0.34	0.7126953	-0.36	0.69701544	1.40971079	29838	11.34	900
156.0	109.9	5.0	9.25.E+09	17132.88	81.7	1.3	-0.27	0.7649638	-0.29	0.75161983	1.51658365	25983	9.87	1000
169.9	122.1	5.0	9.25.E+09	14157.16	81.7	1.3	-0.22	0.8049871	-0.23	0.79359876	1.59858587	22631	8.60	1100
183.6	134.2	5.0	9.25.E+09	11922.02	81.7	1.3	-0.18	0.8354921	-0.19	0.82568699	1.66117918	19805	7.53	1200
197.2	146.3	5.0	9.25.E+09	10177.67	81.7	1.3	-0.15	0.8597261	-0.16	0.85123371	1.71095989	17414	6.62	1300
210.7	158.6	5.0	9.25.E+09	8790.24	81.7	1.3	-0.13	0.8792232	-0.14	0.87182136	1.75104461	15392	5.85	1400
224.2	170.9	5.0	9.25.E+09	7668.56	81.7	1.3	-0.11	0.8950961	-0.12	0.88860428	1.78370041	13678	5.20	1500

En el Cuadro 67 se distribuyen los valores máximos de concentración del SO_2 , encontrados después de la aplicación del modelo gaussiano de distribución, en cada estabilidad atmosférica y en cada mes del año. También se le relaciona con la distancia de en la cual ocurrió dicho evento después de ser emitido por la chimenea de la refinera.

Cuadro 67 Se presentan la distancia a la cual se encontraron los valores máximos de concentración del SO_2 , emitidos por la refinera "Miguel Hidalgo". Este dato se relaciona en cada mes del año y sus respectivas estabildades atmosféricas. Por otra parte, las letras mayúsculas que acompañan a los nombres son la otra forma de reconocerlas meteorológicamente, por consiguiente se nombraron indistintamente.

ESTABILIDAD	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.	C_{max}	Dist.
Inestable B	15.38	600	14.57	600	14.20	600	13.51	600	13.51	600	11.78	600	10.86	600	10.65	600	11.78	600	13.18	600	16.29	600	17.30	600
Poco estable C	21.70	800	20.55	800	20.03	800	19.05	800	19.05	800	16.62	800	15.31	800	15.02	800	16.62	800	18.60	800	22.97	800	24.41	800
Neutral D	28.76	1100	27.25	1100	26.55	1100	25.25	1100	25.25	1100	22.03	1100	20.30	1100	19.91	1100	22.03	1100	24.65	1100	30.45	1100	32.35	1100
Poco estable E	32.60	1500	30.89	1500	30.09	1500	28.63	1500	28.63	1500	24.97	1500	23.01	1500	22.57	1500	24.97	1500	27.94	1500	34.52	1500	36.68	1500
Estable F	38.15	2200	36.15	2200	35.22	2200	33.50	2200	33.50	2200	29.22	2200	26.93	2200	26.41	2200	29.22	2200	32.70	2200	40.39	2200	42.92	2200

Del cuadro anterior se desprendieron las distancias mínimas y máximas en la que se localiza la concentración máxima del contaminante en cualquier evento atmosférico. Por lo tanto, se realizó otro **Cuadro 68** donde se observa el intervalo superficial de las distancias asociándola a las estabildades atmosféricas presentes y las estaciones del año.

Cuadro 68. Se detallan las distancias máximas y mínimas del valor más alto de concentración, C_{max} , en la línea central a favor del viento y a una altura del suelo de 1.3 m según el modelo de dispersión gaussiano.

		Tipo de Estabilidad Atmosférica				
		B	C	D	E	F
Estación	Meses	Distancia mínima a la refinería (m)	(m)	(m)	(m)	Distancia máxima a la refinería (m)
Invierno	Diciembre	600	800	1100	1500	2200
	Enero	600	800	1100	1500	2200
	Febrero	600	800	1100	1500	2200
Primavera	marzo	600	800	1100	1500	2200
	Abril	600	800	1100	1500	2200
	Mayo	600	800	1100	1500	2200
Verano	Junio	600	800	1100	1500	2200
	Julio	600	800	1100	1500	2200
	Agosto	600	800	1100	1500	2200
Otoño	Septiembre	600	800	1100	1500	2200
	Octubre	600	800	1100	1500	2200
	Noviembre	600	800	1100	1500	2200

Obtenidos los intervalos de la distancia donde pueden registrarse las concentraciones máximas se procedió a calcular el área en la que se ubicaron los sitios de monitoreo (laboratorios móviles de calidad del aire del IMP). De tal manera, que para llevarse a cabo, se realizaron algunos pasos.

1. **Programa de cómputo utilizado.** Mediante el programa de diseño fotográfico Adobe PhotoDeluxe se utilizaron sus herramientas de medición para compararlas con la escala gráfica de las cartas topográficas; la finalidad de lo anterior fue para realizar los trazos lineales precisos y delimitar la región angular de los vientos obtenidos en la refinería "Miguel Hidalgo", descrita en las **Figura 7**.
2. **Delimitar la distancia mínima y máxima de la C_{max} en la región angular de los vientos.** Se trazan 2 líneas perpendiculares en la región angular de los vientos; la primera correspondió a delimitar la distancia mínima, y la segunda, a la máxima. Como la región angular de los vientos forma un triángulo, al segmentarla con los trazos dieron origen a dos triángulos menores (uno más grande que el otro); las mediciones de tales distancias se hicieron auxiliándose con otro trazo lineal ubicado desde el centro de la refinería hacia la parte central de la región angular, pero ahora paralela al viento frecuente. La primera línea perpendicular se trazó a una distancia de 600 m y la segunda a 2 200 m, las dos utilizando como referencia la bisectriz regional del viento frecuente. Así es como se obtuvieron áreas triangulares de la región angular de los vientos dominantes en cada estación del año. **Figura 28 y 29** distancia mínima y máxima correspondientemente.

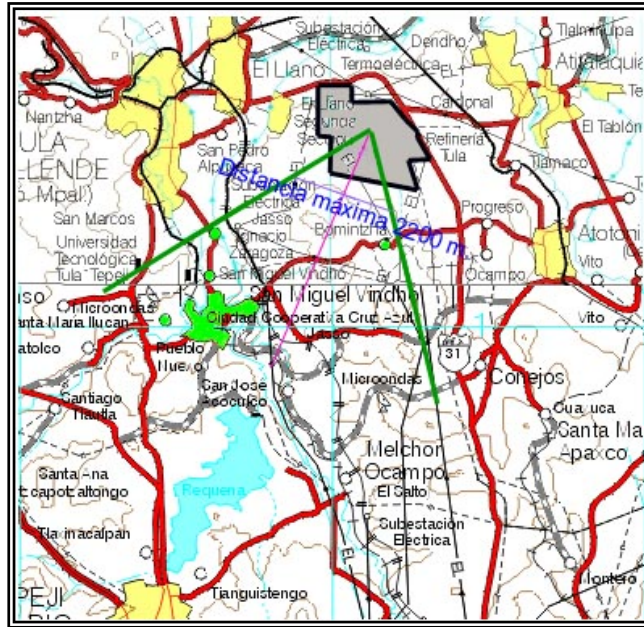


Figura 28. Distancia mínima (Cmin) 600 m.

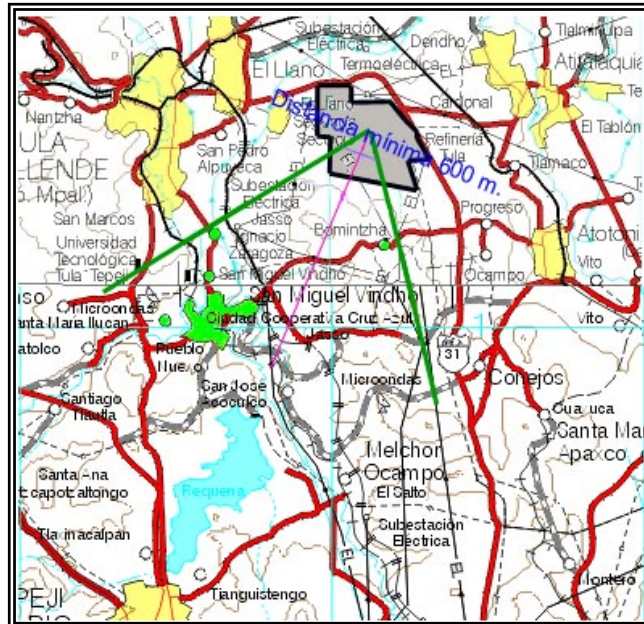


Figura 29. Distancia máxima (Cmáx) 2200 m.

3. Calcular el área de los triángulos mayor y menor. La escala gráfica de los planos digitalizados sirvieron para interpretar las distancias en términos reales. Por consiguiente, se determinó la relación entre las mediciones escalar del plano y la georeferencia métrica de la imagen, es decir interpretar la equivalencia de un centímetro de imagen en metros. Así 6.5 *cm* de imagen digital equivalieron a 10 000 *m*.
 - a. Área del triángulo mayor. Las dimensiones obtenidas fueron: 3 077 m de base y 2 200 m de altura, que al aplicar la fórmula para determinar la superficie de un triángulo se obtuvo un área 3 384 590 m². Figura 30.

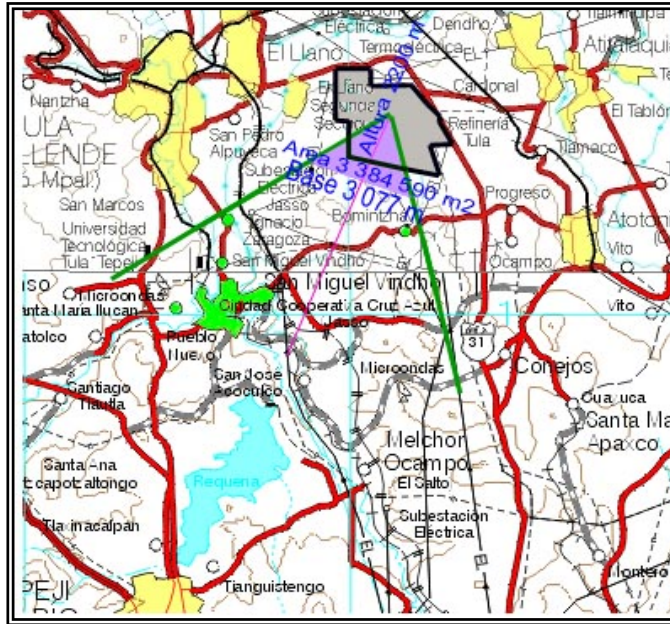


Figura 30. Representación del área triangular mayor. INEGI 1998 Escala 1:250 000

- b. Área del triángulo menor. De igual forma que el triángulo anterior, se obtuvo la superficie de 323 077 m².
Figura 31.

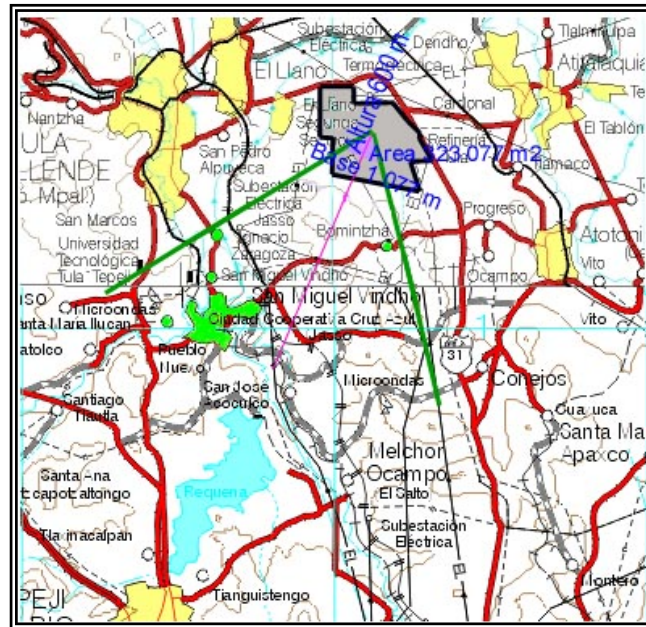


Figura 31. Representación del área triangular menor. INEGI 1998 Escala 1:250 000

4. Obtención del área donde se ubicaron los sitios de monitoreo. La diferencia entre las áreas de los dos triángulos involucrados fue de 3 061 513 m², o bien 306.15 ha, superficie en donde deben de permanecer los sitios de monitoreo ambiental para la refinería "Miguel Hidalgo". Figura 32.

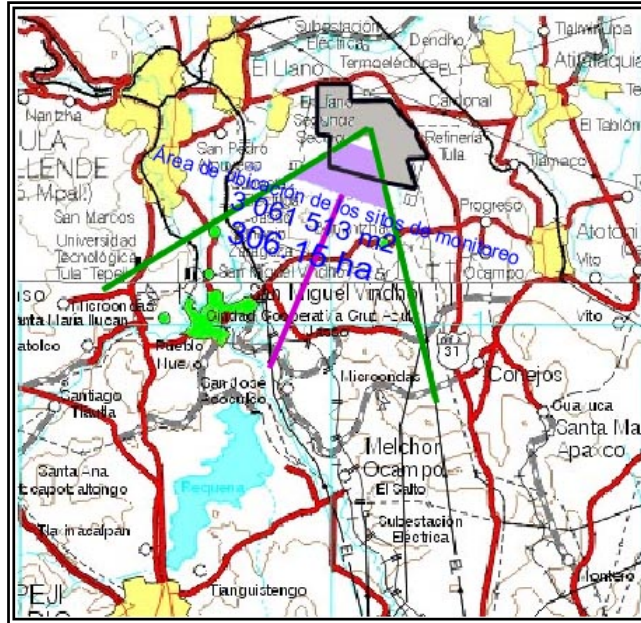


Figura 32. Área donde se ubicaron los sitios de monitoreo. INEGI 1998 Escala 1:250 000

Tomando el desarrollo de los cuatro puntos anteriores se delimitó la región de los sitios de monitoreo ambiental en las diferentes estaciones del año en la refinería en cuestión; de tal manera se representan las regiones calculadas en las siguientes Figura 33. También, de forma específica se geoposicionan los vértices de la zona de establecimiento de sitios, que en la Cuadro 69 se describen con precisión.

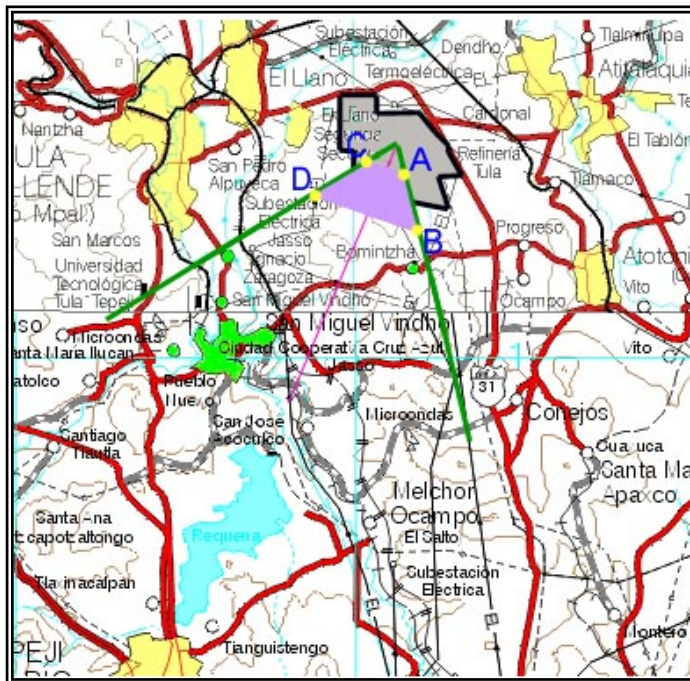


Figura 33. Zona de geoposición de los sitios en cualquier estación del año. INEGI 1998 Escala 1:250 000.

Cuadro 69. Geoposicionamiento de los vértices de la zona de establecimiento de sitios.

CUADRANTE	LONGITUD W	LATITUD N
A	99°16'05"	20°01'15"
B	99°16'22"	20°02'09"
C	99°16'57"	20°01'33"
D	99°17'51"	20°01'51"

La distribución de los sitios de monitoreo, en la región de 306.15 *ha*, es asumiendo la reproducción duplicada de los valores de concentración mediante el modelo gaussiano de dispersión descrito con antelación; por lo tanto, los sitios se distribuyeron de manera lineal a partir de los 600 *m* hasta los 2 200 *m* (de la fuente de emisión) sobre la bisectriz calculada. La relación entre el número de sitios y cantidad de pobladores en la zona impactada, para esta refinería, fueron tres, más un testigo. No obstante, la bisectriz comprendida entre los 600 y los 2 200 *m* se dividieron por el número de sitios, dando como resultado una distribución bajo los siguientes intervalos de distancia: el primer sitio ubicado dentro de 600 a 700 *m*, el segundo desde 1 350 a 1450 *m* y 2 100 a 2 200 para el tercero. Así como se obtuvo la geoposición en los vértices de las zona de sitios, también se obtuvieron para los puntos en los que quedaron distribuidos los sitios de monitoreo ambiental. Quedando Descritos y representados en el Cuadro 70 y la Figura 34. Se aclara que las geoposiciones fueron tomadas en medio de los intervalos para cada sitio de monitoreo.

Cuadro 70. Ubicación de los sitios de monitoreo de con un geoposicionador marca Garmin, modelo 12 xl,

UBICACIÓN DE SITIOS MONITOREO	SITIO	LONGITUD W	LATITUD N
TESTIGO	A	99°16'15"	20°03'16"
600 a 700 m	B	99°16'38"	20°02'15"
1350 A 1450 m	C	99°16'49"	20°01'54"
2100 a 2200 m	D	99°16'57"	20°02'23"

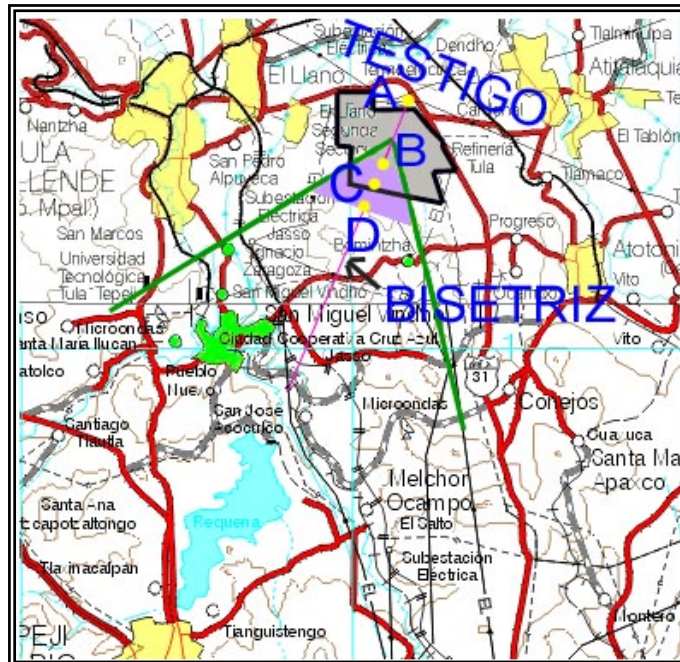


Figura 34 Ubicación de los sitios de monitoreo.

Ahora bien, se obtuvieron y distribuyeron los sitios de monitoreo sobre la región de los vientos, pero como último punto, se tuvieron que corroborar éstos con los requerimientos físicos descritos por la Organización Mundial de la Salud en su publicación de 1977. Sin embargo, se hace énfasis sobre el objetivo que se desea realizar en dichos sitios de monitoreo.

Así, por lo tanto, el objetivo primordial del estudio fue el determinar sitios para monitorear aire en las refinerías de PEMEX, sitios en los que se propone ubicar a la unidad móvil de monitoreo ambiental del IMP. El propósito de este monitoreo es evaluar la calidad del aire en las refinerías de PEMEX y dar cumplimiento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

Por consiguiente, los requerimientos son mencionados en los siguientes incisos y serán evaluados en la discusión de resultados.

- a) Lugar disponible en largos periodos de tiempo.
- b) Accesible las 24 horas del día y durante todo el año.
- c) Disponibilidad suficiente de energía eléctrica.
- d) Libre de actos vandálicos.
- e) Protección de temperaturas extremas.
- f) En caso de ser una zona urbana, es conveniente situarlos en edificios públicos.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1 Sobre la localización geográfica de las refinerías

En cuanto a ubicación local con respecto a las comunidades urbanas y su extensión territorial en los resultados se encontró que:

- La refinería "Antonio Dovalí Jaime" tiene una superficie total de 600 hectáreas y se localiza a cinco km al noroeste de la población de Salina Cruz, Oaxaca.
- La refinería llamada "Antonio M. Amor" tiene una superficie de 373.6 ha y comparte sus límites con la ciudad de Salamanca, Guanajuato.
- La correspondiente a la refinería "Francisco I. Madero" tiene una superficie de 600 ha y se encuentra localizada en el margen izquierdo del río Pánuco, casi en su desembocadura al Golfo de México, dentro del municipio de Cd. Madero, Tamaulipas.
- El centro de refinación llamado "Héctor R. Lara Sosa" está localizado a 36 km al Este de la ciudad de Monterrey y para una mejor ubicación está en la ciudad de Cadereyta de Jiménez con una superficie total de 489.5 ha.
- La refinería llamada "Gral. Lázaro Cárdenas" se encuentra localizada dentro del municipio de Minatitlán, Veracruz; cuenta con una superficie de 200 ha que están ubicadas en el margen izquierdo del río Coatzacoalcos.
- El último centro de refinación estudiado "Miguel Hidalgo" está localizado en el municipio de Tula de Allende, Estado de Hidalgo a ocho km al oriente de la cabecera del municipio y 82 km al norte del área metropolitana de la Ciudad de México. Su área aproximada es de 594.15 ha. Anexo 2.

Sobre las anteriores características las condiciones geográficas en donde se encuentran las refinerías de PEMEX son diversas. Las refinerías de Cadereyta, Madero y de Salamanca se ubican dentro de zonas urbanas. Además, la de Madero esta dentro de la desembocadura de un río, por lo que junto con la de Salina Cruz, Oaxaca llamada "Antonio Dovalí Jaime" tienen gran influencia de los efectos típicos de mar. Sin olvidar al centro de refinación de Minatitlan cuya ubicación también está cerca de un río. Por otro lado, las refinerías de Salamanca, Cadereyta y Tula se encuentran en zonas planas.

Toda esta variedad en las condiciones geográficas de los centros de refinación indican sin lugar a dudas que la potencial ubicación de sitios de monitoreo deberán seguir parámetros no necesariamente similares en todos los casos. Es de esperarse que la ubicación de los sitios de trabajo sean en principio ubicados en lugares poco accesibles, viables. Esto nos

recuerda que existen cuatro condicionantes para ubicar físicamente un sitio para la medición de contaminantes del aire: Accesibilidad física, seguridad del sitio, tomas de corriente eléctrica y servicios cercanos.

Asimismo, las dimensiones de cada una de las refinerías nos sugiere que existe la probabilidad que alguno de los sitios de los trabajos de medición de contaminantes se ubique dentro de la propia refinería. Esta posibilidad ayudaría a una gran discusión que se ha presentado en la normatividad mexicana acerca del concepto de "monitoreo perimetral". En este caso los centros de refinación podrían tener tanto dentro como fuera del perímetro del predio. Para apoyar más la discusión en este concepto los potenciales puntos de medición durante el año podrían o no ser los mismos. Esto se discutirá y aclarará más adelante.

6.2 Sobre la localización geográfica de los observatorios y las estaciones meteorológicas.

La problemática de no tener una estación meteorológica en las refinerías o en sus inmediaciones se solucionó asignando un observatorio, varias estaciones climatológicas, automáticas y satelitales de las revisadas en las diversas fuentes consultadas.

La elección se hizo bajo dos criterios, el primero de ellos fue considerar el mismo régimen climático entre la refinería y las estaciones meteorológicas (en cualquiera de sus formas) para así establecer una zona con las mismas condiciones en el que las mediciones de sus elementos se manejaran indistintamente en cualquier punto. Por lo tanto, las seis refinerías de PEMEX fueron delimitadas climatológicamente y la información meteorológica obtenida de las diferentes fuentes en este rubro, ubicadas dentro de esa zona y sirvieron para establecer el comportamiento de los vientos para cada región.

El segundo criterio se basó en la distancia entre ellas, aunque para las refinerías de Salamanca y Tula no tuvieron observatorio en su ciudad (pero sí de estaciones climáticas, automáticas y satelitales) se eligieron observatorios de Querétaro y Pachuca, respectivamente. La importancia de cada estación meteorológica y su información aportada será discutida particularmente, más adelante.

Es importante señalar que los observatorios son lugares meteorológicos en donde se registran una gran cantidad de parámetros, por lo tanto, se aseguraba contar con información suficiente (como temperatura, dirección y velocidad del viento y la humedad relativa) para ser vaciada en cuadros de análisis estadístico posterior.

Asimismo, el hecho de recalcar que el trabajo de recopilación es sobre 20 años de información rara vez valorada. Si bien existen algunos vacíos de información la consistencia de las frecuencias en todas las estaciones trabajadas es de llamar la atención.

El primero de los cuadros realizados fue para arreglar y distribuir el registro de los vientos dominantes obtenidos para cada una de las refinerías; sin embargo, no en todos los casos los observatorios tuvieron la información eólica esperada en los 19 años de estudio. Los cuadros relacionados a las refinerías "Miguel Hidalgo" y "Francisco I. Madero" tuvieron un llenado del 90% de información adjudicado a los Observatorios de Pachuca y Tampico, respectivamente.

Los cuadros para las refinerías "Héctor R. Lara Sosa" y "Antonio Dovalí Jaime" fueron llenados por fuentes meteorológicas distintas para alcanzar una mayor cantidad de datos; no obstante, aún juntas contribuyeron con poco menos del 60% de la totalidad de datos. Así las fuentes para la primera refinería fueron el observatorio de la ciudad de Monterrey y las estaciones satelitales con clave 3900, 3930, 3940, 3943 y 3944 en la localidad de Cadereyta. Para la segunda, refinería en Salina Cruz, se contó con el observatorio del mismo nombre y las estaciones satelitales 8330, 8485 y 8486.

Los observatorios de Querétaro para la refinería "Antonio M. Amor" y Coatzacoalcos para la de "Gral. Lázaro Cárdenas", fueron fuentes con muy poca información meteorológica, por lo tanto el suministro de datos en los cuadros relacionados a estas refinerías tienen origen de la fuente Itzamná. No obstante, ésta última contribuyó con información registradas en las estaciones satelitales 6650, 6655 y 6656 en la región de Salamanca; y en la segunda, región de Minatitlán, las estaciones 7383 y 7410 con registros meteorológicos en cinco años, para tener una capacidad del 25% en su cuadro. CLICOM, que fue la tercera fuente meteorológica, no contribuyó con ningún dato dado que solo su información estaba relacionada con la temperatura.

Es de interés destacar que de los dos observatorios distantes seleccionados, fue el de Pachuca al que se le graficaron los registros térmicos dentro de las curvas, también térmicas, de las fuentes Itzamná y CLICOM. La razón de esta comparativa gráfica fue para observar si se tenía el mismo comportamiento en los 12 meses del año con respecto a las otras dos fuentes seleccionadas en la localidad; por consiguiente, bajo esas circunstancias comparativas el Observatorio de Pachuca, que a un poco mas de 50 km de la refinería en Tula, se consideró para el llenado de cualquier cuadro de índole meteorológico. Además, según con la clasificación de Koppen modificado por Enriqueta García, se tiene el mismo régimen climático en ambas ciudades. Por otra parte, sin comparación analítica alguna fue para el observatorio de Querétaro (el otro observatorio distante seleccionado para la refinería de Salamanca) ya que las papeletas consultadas la información meteorológica fue escasa y su importancia en el llenado de cuadros fue irrelevante.

Realizados los cuadros de soporte eólico se tuvo lugar a un arreglo de la dirección del viento dominante mensual por estación (conteniendo asimismo sus meses). La finalidad de este arreglo fue el determinar el comportamiento regional del aire en cada refinería mediante un conteo a sus direcciones para obtener así la frecuencia en cada estación del año. Después de obtener la frecuencia se observó que al menos tres son las direcciones del viento dominante en la región de Tula y Cadereyta para cualquiera de sus periodos. Asimismo, también para Salina Cruz y la ciudad de Madero, pero respecto al otoño y verano solo se tuvieron dos viento dominantes, respectivamente. En Salamanca el régimen del viento es obedecido por dos direcciones, al igual que lo que sucede en la ciudad de Minatitlán en sus periodos invierno y primavera, salvo en verano y otoño el viento dominante sopla hacia una sola dirección.

Los vientos dominantes ocurridos en los 19 años de estudio en la región que comprende a la refinería "Miguel Hidalgo" obedecen constantemente a tres direcciones dominantes N, NNE, y NE; sin embargo entre ellas las frecuencias dominantes son diferentes, según sea la temporada. El viento proveniente del N es el que sopla con más del 56% de frecuencia en las estaciones de invierno, primavera y otoño; aunque en verano es el viento del NNE el más frecuente (51.8%), el N hace acto de presencia por encima del NE en este periodo. La refinería en cuestión, se localiza en el altiplano mexicano aproximadamente a unos 2000 msnm, altura a la el viento sigue siendo producto de la gran circulación de los vientos Alisios que tocan al país y de los que provienen de norte en épocas frías, los frentes polares. Tal es así que las tres direcciones del viento más frecuentes durante las estaciones del año son debidas a esos factores regionales, que aunque existen algunos cuerpos acuáticos a no más de 25 km, el de Michimaltongo y la presa Endhó, geoelevaciones y vientos locales alteran relativamente poco al régimen eólico para la región.

La región de Cadereyta es un lugar en el que el régimen de vientos obedece a tres direcciones dominantes, diferentes en cada estación. Pero la dirección que se hace presente y de forma más frecuente, en las cuatro temporadas, es ENE; en algunas ocasiones se hace acompañar con direcciones que no rebasan el 11.1% como el viento del NE en los tres primeros periodos, así como los que se manifiestan con menos frecuencia, NNE, W y ESE.

La circulación de los vientos es debido principalmente, al igual que lo que determina a la región de Tula, a los vientos alisios que traen la dirección ENE; no obstante los vientos locales que se desarrollan en la ciudad de Cadereyta acentúan esta dirección. El viento local es atribuido al fenómeno eólico llamado "viento de valle y montaña", en el que por diferencia térmica, que suceden en el día y la noche, se generan corrientes de aire en el lugar. Entonces los elementos aquí participantes son las elevaciones terrestres de la Sierra Madre Oriental, localizada a unos 15 km, y la gran planicie que hace el papel de valle en la región de la refinería "Héctor R. Lara Sosa". Por el mismo fenómeno, esta región posee en sus temporadas una diferencia muy marcada en sus de temperaturas promedio mensual, siendo en las calurosas mayores de 26°C y frías menores de 15°C; éstas últimas influenciada además, por los vientos fríos de las masas de aire polar.

La refinería "Antonio Dovalí Jaime" se encuentra localizada en la ciudad de Salina Cruz, en donde los vientos para la región tienen un comportamiento frecuente con más del 78% en la dirección N y en las cuatro estaciones del año. Asimismo, las direcciones NNE (salvo en otoño con el 14% de frecuencia), S y NNW acompañan al viento dominante con porcentajes menores al 10%. Los vientos monzones y sus corrientes de istmo de Tehuantepec hacen presencia localmente, son los vientos Alisios los que determinan el movimiento de aire más frecuente. Sin embargo, existen algunas ráfagas contrarias a la dirección dominante que sin lugar a dudas se pueden manifestar durante algunas horas, lo cual justifica algunos vientos que soplan del sur originados ya sea por las corrientes del istmo o de las brisas del mar. Otras mas como las del NNE y NNW, podrían derivarse por el encuentro de las tres circulaciones del viento presentes en la zona.

Otra región que posee el mismo denominador en la circulación local y regional de vientos que Salina Cruz es la ciudad de Madero en Tamaulipas; solo que no hay vientos que se contrapongan a los vientos E y ESE. La región se encuentra prácticamente rodeada por cuerpos acuáticos; en el sur por el río Pánuco y al sureste la laguna Pueblo Viejo, al oeste las lagunas El Chairel y La Vega Escondida y por el noroeste la laguna Champayan. No obstante, es el Golfo de México el

cuerpo acuático que cubre los otros puntos de la región de Madero, derivándose de éste los vientos, anteriormente mencionados, como los más frecuentes en las estaciones primavera, verano y otoño. En otoño se nota la presencia de los vientos provenientes del N (33.3%) sin alcanzar una frecuencia dominante; sin embargo, es en el invierno cuando sopla continuamente (71%) dejando por debajo a las otra dos direcciones E y ESE dominantes en las otras temporadas. Los del N son atribuidos a dos corrientes, a los alisios y a los frentes polares que entran a la República Mexicana. Ambos interactúan en los meses de septiembre hasta febrero para contrarrestar o desviar los vientos dominantes del Golfo; Además, se originan intercambios de calor entre las corrientes provocando nublados y consecuentemente lluvias durante otoño y parte de invierno.

Los vientos que circulan frecuentemente en la región de Salamanca son los de la dirección SW y N. Las dos direcciones se acompañan durante todo el año, pero siempre dominando una de ellas. Por ejemplo, en invierno y primavera el viento SW es el de mayor frecuencia, y el N es para el verano y otoño. Las corrientes de aire que se generan en Océano Pacífico dan origen a la dirección dominante SW; esta circulación va entrando a tierra mexicana entre espacio relativamente libre entre las Sierras Madre del Sur y Occidental, para dirigirse a la Meseta Central del Anáhuac lugar en donde se localiza la región de Salamanca. Durante su trayecto, es encontrado con el Eje Neovolcánico sin sufrir alguna alteración en el sentido eólico. Los vientos presentados en los meses de Julio a Diciembre, vientos del N, son producidos por las corrientes Alisias.

El Golfo de México situado al norte de la ciudad de Minatitlán establece, como lo hace en la región de Madero, una pronunciada circulación regional del viento. Es así que en cualquier periodo del año el viento del N es el que domina ante los otros dos, NNW y NNE. La corriente que pudiera influir en la dirección son los vientos alisios, pero como traen casi el mismo sentido, pudiera pensarse que interactúan para darle más intensidad a la corriente regional.

Las georeferencias fueron parte importante para la ubicación precisa de las refinerías, observatorios, estaciones climatológicas y satelitales (Itzamná) para realizar una comparativa distancial simple entre ellas, dentro de la región climática establecida. En ocasiones las coordenadas eran reportadas en publicaciones consultadas (Itzamná y CLICOM), pero en otras fueron calculadas a través de los planos digitales de las refinerías (SICORI) obtenidos de los informes archivados en el IMP. Al tomar las mediciones geográficas en varios puntos permitió geodimensionar cuatro unidades de refinación; las otras dos, las refinerías "Miguel Hidalgo" y "Lázaro Cárdenas", obtienen sus geodimensiones en otras maneras. La primera fue a través de una visita a campo y con la ayuda de un geoposicionador; y para la segunda, utilizando el mismo método que SICORI, pero con planos digitalizados en el INEGI.

Por un lado, se logró darle a cada refinería una mayor ubicación geodimensional a su área, por el contrario a la que anteriormente se tenía (las coordenadas en solo un punto del centro de refinación) lo cual impedía la superposición de imágenes digitales, previamente elaboradas, sobre las ciudades en donde se encuentran inmersos los complejos de refinación. Aún más, con sus puntos así georeferidos, se pueden calcular las extensiones territoriales en hectáreas o kilómetros cuadrados de los complejos de refinación.

Las referencias geográficas de las refinerías sirvieron también para posicionar los planos digitalizados (realizados en Autocad) dentro del programa X-Mon como imágenes, por consiguiente se puede observar su distancia real entre ellas asentados en la República Mexicana.

Lo que respecta a la ubicación geográfica de observatorios y estaciones climatológicas, la obtención de las coordenadas fueron tomadas de las cartas climatológicas escala 1:1 000 000 publicadas por INEGI y consultadas en la mapoteca del Servicio Meteorológico Nacional. Posteriormente, se hacen la corroboración de coordenadas en el manual publicado por la SARH (1984) sin tener que cambiar la posición terrestre o buscar otra fuente para tal precisión. No obstante, en el Servicio Meteorológico Nacional, en la publicación de tarjetas meteorológicas, tampoco se encontraron variaciones en la precisión geográfica, aunque si en el manejo de claves.

Otra fuente que se esperaba contar con información meteorológica y con ubicación geográfica de las mismas fueron las estaciones automáticas de la SMN. Los últimos datos de registro fueron hasta 1995 ya que desaparecen; sin embargo en la relación de estaciones automáticas se tienen la ubicación geográfica y el estado al que corresponden por lo que se encontró que son consideradas actualmente como estaciones climatológicas, según lo determina sus coordenadas y la altitud tan similar a la que reportan en las estaciones climatológicas. Por ejemplo, la estación automática Salamanca GT16 tiene las siguientes coordenadas Longitud 101° 12' 00", Latitud 20° 34' 00" y altitud 1721 msnm, similarmente a lo que se presenta como estación climatológica Salamanca 11-054 101° 12' 00", 20° 34' 00" a 1721 msnm.

Las fuentes que aportaron información meteorológica para realizar la **base de datos** fueron tres, como se ha venido mencionando; en ellos se tuvieron que realizar validación de datos, cálculos estadísticos y ajustes hasta lograr el formato meteorológico mensual requerido. Por lo tanto, se discute el porqué y la forma de cada proceso numérico:

6.3 Sobre la validación de datos.

- **Primera etapa.** Consistió en hacer una revisión para ver si se cumplía al menos el 75% de los datos durante un mes determinado. De tal forma, que se hizo un cálculo de porcentaje ante cada fuente utilizada.
 - **Estaciones climatológicas del SMN.** No se aplica la validación a las estaciones climatológicas en estudio debido a que los datos obtenidos se encontraban calculados en promedios mensuales.
 - **Observatorios.** Al igual que a las estaciones climatológicas, los observatorios contaban ya en las papeletas meteorológicas con registros mensuales para los diferentes parámetros solicitados.
 - **Estaciones del Itzamná.** A los datos procesados por Itzamná, si cumplieron con dicha validación del 75%, ya que la información se obtenía, al menos, un registro al día.

- **Segunda etapa.** Se realizó una búsqueda de algún error que pudiera existir entre los datos, es decir, alguna incongruencia. Esto se llevó a cabo con gráficas respectivas a los valores finales de la base de datos; en aquellos casos donde se tuvieran comportamiento irregulares (picos) se procedió a la revisión y corrección de los mismos llegando hasta la raíz del problema. Al revisar cada una de las gráficas de los parámetros meteorológicos en las diferentes fuentes, se observó que solo se tuvo un error de captura en el cálculo de la temperatura máxima para una estación meteorológica, con la ayuda de las graficas se rectifico el error presentado.

6.4 Cálculo estadístico.

El total de los datos capturados en las diferentes fuentes fueron aproximadamente de dos millones. Enseguida se describe el proceso estadístico aplicado en cada una de las fuentes.

- **Estaciones climatológicas.** El elemento meteorológico obtenido en las estaciones climatológicas fue la temperatura, debido a que éstas solo registraban ese elemento y en promedios mensuales como los máximos y mínimos, no se les realizó un tratamiento estadístico.
- **Observatorios.** Al igual que la información obtenida de las estaciones climatológicas, a los observatorios tampoco se les dio modificación estadística, aunque se hayan obtenido una mayor cantidad de parámetros requeridos, los mismos se encontraban ya tratados. Los parámetros meteorológicos obtenidos mensualmente fueron temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, humedad relativa promedio, dirección dominante y velocidad promedio.
- **Estaciones de Itzamná.** Como fue una de las fuentes que aportó información meteorológica más completa y con una gran cantidad de registros por horas, el tratamiento estadístico fue por separado. En la temperatura y la humedad relativa se obtuvieron los máximos, mínimos y promedios mensuales; del mismo modo, a la velocidad del viento se obtuvo su promedio mensual, así como la frecuencia mensual para dirección del viento. A continuación se presenta las correcciones y el procedimiento realizados para cada parámetro.
 - **Corrección de horario.** Para ajustar al horario de la Republica Mexicana los datos temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento de cada estación satelital se le aplicó varios cálculos y correcciones numéricas mediante algoritmos, elaborados por personal del IMP. El primer cálculo realizado fue la conversión del horario a tiempo de la Republica Mexicana, es decir, restar seis horas al registro horaria de la estación satelital porque manejaba la hora de Greenwich.
 - **Cálculo de la Humedad Relativa.** Otra modificación a los datos fue la obtención de la humedad relativa máxima, mínima y promedio mediante un algoritmo. Los datos considerados para aplicar el algoritmo fueron los registros de la temperatura bulbo seco y bulbo húmedo; obtenidos los datos, después de aplicárseles el

algoritmo, se dividían entre sí (DPT/DBT) para obtener un resultado parcial; y para concluir el cálculo, se multiplicaba por 100 para determinar la humedad relativa promedio, máxima y mínima mensual.

- **Cálculo de Temperatura.** Con respecto a la temperatura, se seleccionaron la máxima y la mínima y el promedio diario para determinar el promedio mensual máximo, mínimo y la media mensual. El registro se hacía por intervalos de tiempo variado, por ejemplo, en cada hora o cada seis horas. Cabe mencionar, que la temperatura considerada para tal tratamiento estadístico fue la temperatura de bulbo seco porque es la forma similar a la que se registra la temperatura en termómetro de observatorios y estaciones climatológicas.
- **Obtención de la Dirección del Viento.** En la base de datos Itzamná, la dirección del viento se mostraba en escala gradual, comprendido entre 0 y 360°, por lo que fue necesario hacer la conversión a la nomenclatura para una rosa de vientos. Se identificó, que para cada dato gradual tenía una constancia en su variación de 10°, por lo que se le dio a cada uno un punto cardinal.

Realizada la conversión de datos, se procedió a calcular la dirección más frecuente del viento durante el mes, mediante una de las herramientas de la hoja de cálculo. Dicha herramienta permite hacer la búsqueda de cualquier valor más repetido bajo una serie de datos. Se hacía el conteo final de las direcciones del viento más repetidas y se seleccionaba la de mayor frecuencia durante ese mes.

- **Determinación de la velocidad media del viento.** Por último, a los datos de la velocidad del viento, se le realizó un promedio diario y, más adelante, un promedio mensual.

Finalmente, Los porcentajes que aportaron cada fuente para la Base de Datos Meteorológica General fueron los siguientes:

Estaciones Climatológicas. La aportación fue aproximadamente del 10% ya que solo presentaron los registros de temperaturas completos en los años de 1980 a 1987.

Observatorios. Aportaron una mayor cantidad de datos con varios parámetros; sin embargo, también se carecían de algunos registros mensuales de algún elemento meteorológico. La diferencia con respecto a los periodos de registro con las estaciones climatológicas fue que los observatorios presentaban mayor intervalo de registro y para más elementos. La contribución a la base de datos fue particularmente de los parámetros humedad relativa, dirección y velocidad del viento y la temperatura, lográndose con esto el 50%.

Itzamná. De igual forma, se incrementó el recopilado pero sólo en cinco (1990 a 1994) de los 19 años del estudio; por lo que su aporte a la base de datos fue de aproximadamente del 25%.

Sumando los porcentajes de cada fuente, encontramos un 85% de información vertida para la construcción de la Base de Datos Meteorológica en cada centro de refinación. El otro 15% restante, para el 100%, fue la ausencia de registros debido a

que en cada fuente no contenía información para esos años. Las causas de esta inexistencia de datos fue principalmente por la ausencia de personal, poco mantenimiento de los aparatos de medición ante una deterioro, presupuesto limitado a los centros de observación, etc,

La **Base de Datos General** realizada se logra visualizar en las dos versiones del programa X-mon. Dicho programas permitieron observar e interactuar con el comportamiento meteorológico en el período de 1980 a 1998 y los planos digitalizados de las seis refinerías. En la tercera y última versión se tenía pensado ingresar el modelo de dispersión para así determinar las zonas en donde debían de localizarse los sitios de monitoreo para cada refinería. No se concreta esta última etapa de modelación digital porque el personal que apoyaba este punto fue asignado a otros proyectos ante los cambios internos (reducción y desaparición de áreas) que se tuvo en el IMP durante la presente investigación. Sin embargo, se logra aplicar el modelo, al menos en un complejo de refinación.

6.5 Sobre la determinación de los sitios de monitoreo mediante un modelo de dispersión en las refinerías.

Como ya se presentó en la sección 5.10 las variables que se utilizan son solo dos parámetros meteorológicos (temperatura ambiental y velocidad del viento) e información obtenida de muestreos en las fuentes fijas como chimeneas o calderas en las refinerías.

Originalmente las constantes 5.15, 2.64 y 2.24, que se encuentran integradas en las fórmulas (descritas en la sección 5.10) para el cálculo de la Δh bajo diversas estabildades, eran multiplicadas por la división entre el raíz cuadrada de la tasa de emisión de calor Q_h y la velocidad del viento u ; el valor de esta división era aproximadamente de 1 por lo que al aplicar las operaciones algebraicas con las constantes no alteraban significativamente el resultado final de la Δh . (Wark y Warner 1981)

La relación entre la dispersión de contaminante de una fuente fija y la dirección frecuente del viento establecen el transporte de contaminantes en la atmósfera a favor del viento; es por eso que se calculó la amplitud angular del viento para rastrear el contaminante (sobre una bisectriz trazada) en la región delimitada por el viento frecuente. Los alcances del contaminante a favor del viento pueden ser hasta decenas de kilómetros; durante el recorrido de esas distancias se tocan poblaciones susceptibles a contraer problemas de salud; por lo tanto, la cantidad de pobladores, existentes hasta 10 km, determinaron el número de sitios de monitoreo en la región. El número de sitios obtenidos para las refinerías "Antonio M. Amor" y "Francisco I. Madero" fueron cuatro, y para las cuatro restantes, tres. (Sosa 2001)

El radio de dispersión dentro de los 10 primeros kilómetros en la región angular, fue establecido porque se esperaba encontrar allí la concentración máxima del contaminante; sin embargo, las concentraciones máximas fueron encontradas en distancias menores (según el modelo de dispersión aplicado), aún ante cualquier estabilidad atmosférica.

En la obtención de la región angular se observó que para las refinerías " Francisco I. Madero", "Héctor R. Lara Sosa", "Antonio M. Amor" y "Antonio Dovalí Jaime" presentaban una doble región eólica en la misma y/o en diferentes estaciones del año. La distribución de sitios, en estos casos, será de dos por región, independientemente del número determinado. La razón de esa distribución responderá a buscar valores reales y representativos.

En cada campaña de monitoreo atmosférico a las refinerías de PEMEX se debe considerar un sitio de monitoreo testigo, antes de que el viento toque las fuentes contaminantes; este punto ha sido considerado en las anteriores campañas, pero siempre sin referencia metodológica, por lo que en el caso de la refinería localizada en Tula ya se tiene seleccionado y georeferenciado.

El área de monitoreo proporcionó información, confidente para PEMEX, de una caldera existente en la refinería "Miguel Hidalgo" por lo que se completa el último de los factores para realizar la modelación. La orientación cardinal del modelo tomó como punto de dispersión la dirección dominante del viento en los 19 años para la región de Tula. Los vientos dominantes obedecen a tres direcciones constantes pero en diferentes frecuencias (discutidas anteriormente) durante las cuatro estaciones del año, por tal motivo siempre se tuvo una misma región angular eólica de 306.15 *ha* localizada entre los 600 y 2 200 m de la refinería. La distribución de los sitios de monitoreo fue lineal, es decir, entre 600 a 700 m el primero; 1350 a 1450 m el segundo; y el tercero, entre 2100 a 2200 m. Los tres sobre la bisectriz de la región angular. El modelo gaussiano puede pronosticar la concentración en cualquier punto a favor de viento, pero donde se obtienen los valores más altos siempre será sobre la línea central, por tal motivo los sitios se intercalan en forma lineal para obtener esas concentraciones ya que cualquier desplazamiento, ya sea vertical (eje *z*) u horizontalmente (eje *y*), se obtienen valores disminuidos.

Los valores de la concentración obtenidos en la aplicación del modelo matemático en cada estabilidad atmosférica para las refinería "Miguel Hidalgo" fueron puestos en los anexos; estos valores se dan cada que transcurren 100 metros, rango permite situar los laboratorios móviles en ± 50 m del punto recomendado. Lo anterior previene los obstáculos que se pueden presentar cuando se ubica la estación de monitoreo dentro y fuera de las instalaciones de refinación; dentro por plantas fraccionadoras, ductos, unidades de almacenamiento, etc; y al exterior ríos, casas, zonas restringidas, cuerpos acuáticos, etc. Sin embargo, de modo estricto y preciso, los sitios deben cumplir con ciertos requerimientos físicos enlistados en la publicación de la OMS en 1977, de los cuales se cumplieron cinco de los seis mencionados.

En el primero de ellos, es referente a que en el lugar se tenga la disponibilidad total durante largos periodos, lo cual según el propósito del estudio, es monitorear en periodos cortos de tiempo al SO₂ (una vez al año), dado que así lo requiere como mínimo la norma. Para tal caso se habla de tan solo uno a dos días donde la estancia de la unidad de monitoreo no representará problema alguno. El segundo, es la accesibilidad las 24 horas y durante todo el año; cuando el sitio de monitoreo esté dentro o en los límites del predio de refinación (sitios **A**, **B** y **C**), no habrá inconvenientes, pero sí al exterior de él, cuando el lugar donde se encuentre el sitio sea una zona federal o privada, como en el caso de sitio **D** de monitoreo.

En el requerimiento sobre la energía eléctrica no limitará la presencia del sitio ya que los laboratorios móviles de monitoreo cuentan con planta generadora de luz independiente. El sitio **D** será el único lugar susceptible a los actos vandálicos por encontrarse fuera del área de refinación, sin embargo se reduce el riesgo porque se trata de una zona despoblada.

La exposición prolongada a la radiación solar del equipo, en especial el analizador de SO₂, podría disminuir su medición; pero éste se localiza en el interior del laboratorio móvil lo cual lo aísla sustancialmente de la temperatura ambiente. Además, el analizador y el laboratorio cuentan con un sistema de enfriamiento interno.

Como el área de selección de sitios no se encuentra sobre una zona poblada, el sitio **D** no se resguardada por construcciones públicas, por lo que fue el único requerimiento no aprobado.

Con la presente investigación, se logró obtener una metodología con respaldo científico ante un campo donde establecer el lugar y el número de sitios en las refinerías habían sido poco estudiados a través de un enfoque meteorológico.

Esta claro que existen modelos de dispersión de contaminantes más complejos que el usado en este trabajo, sin embargo los requerimientos de información son mucho más estrictos en frecuencia y número de variables que se necesitan.

VII. CONCLUSIONES

La metodología usada tiene suficiente respaldo para realizar otros estudios ambientales a las refinerías.

Es importante tomar en cuenta el monitoreo perimetral que este considerado dentro de la normatividad mexicana y actualizarlo periódicamente.

Con el presente trabajo se sientan las bases para iniciar un proceso el cual permitirá que en cualquier estudio atmosférico dispersión de contaminantes de las refinerías o centros de emisión que se encuentren cerca de los sitios y regiones estudiadas.

El modelo de dispersión utilizado permitió conocer las distancias a las cuales se captan las concentraciones máximas de contaminante según a diferentes estabildades atmosféricas en la refinería "Miguel Hidalgo".

El modelo es aplicable a todas las refinerías siempre y cuando se cuente con la información puntual para realizar los cálculos matemáticos del SO₂.

Se logró desarrollar información para una base de datos que será de gran utilidad para otros estudios ambientales en las zonas de estudio

Se determinaron los sitios de monitoreo potencial con un modelo de dispersión para el SO₂, en una refinería de PEMEX, pudiéndose aplicar a otras cinco. Los sitios seleccionados cumplen con los requerimientos físicos de ubicación.

Se evaluó la calidad del aire con el modelo de dispersión y de esa manera se determinaron los sitios potenciales de mayor riesgo a la salud humana.

Se conocieron las distancias potenciales entre los sitios de medición de contaminantes que tienen éstos con las refinerías.

Se logró desarrollar información para una base de datos que será de gran utilidad para otros estudios ambientales en las zonas de estudio.

Se determinó el número ideal de sitios de monitoreo a los cuales se deben sujetar los estudios de carácter ambiental que se le hagan a las refinerías de PEMEX.

Se estableció el régimen de circulación regional y con ello la posición a la que se podrá dar una mejor dirección a cualquier laboratorio móvil con respecto a cada refinería.

VIII. RECOMENDACIONES

Establecer una estación meteorológica propia en cada refinería. A pesar que los objetivos ambientales de un centro de refinación son muy limitados. Con esto permitirá alimentar la información tanto para autoridades federales, locales y de la propia refinería para tener mejores elementos a la toma de decisiones.

Realizar monitoreos atmosféricos una vez en cada estación del año para poder cuantificar los valores del contaminante y sus efectos en la población, ecosistemas y materiales. Esto para prevenir o mitigar los efectos del contaminante en la zona bajo diferentes estados del tiempo.

Si se desea disertar sobre el concepto de "monitoreo perimetral" es importante definir en la normatividad mexicana cuales serían los casos en cuales el sitio de monitoreo sea dentro del perímetro del predio del centro emisor de contaminantes y cuales los casos en los que se deba tomar el sitio de medición fuera del predio de tal emisor. Este estudio puede aportar elementos tanto a favor de una opción u otra.

Actualmente, el Área de monitoreo cuenta con tres unidades móviles de monitoreo atmosférico, su desplazamiento hasta los sitios potenciales de medición pueden ser impedidos por las argumentaciones discutidas en los resultados, sin embargo, cuando se trata del mar la única opción sería montar un analizador para el SO₂ con batería portátil e híbrida sobre una embarcación capaz de mantenerse firme en el lugar.

IX. REFERENCIAS

- Aguirre, R. J., Sánchez S. J. y Villegas V. A., 1982. Estudio sobre las velocidades máximas del viento. Boletín iie, 6 (11):365-372.
- Alfaro, B. J. M., 2001. Ciencias del ambiente, Editorial Compañía. México., 363 p.
- American Petroleum Institute (API), 1995a. Monitoring Near Refineries for Airbone Chemicals on the SARA Title III Section 313 List. API Publication No. 4494 Vol. II. Health and Environmental Sciences Department. June 1989. Copyright 1995. Washington, D.C., U.S.A. 70 p.
- American Petroleum Institute (API), 1995b. Monitoring Near Refineries for Airbone Chemicals on the SARA Title III Section 313 List. API Publication No. 4495 Vol. III. Health and Environmental Sciences Department. December 1988. Copyrigh 1995. Washington, D.C., U.S.A. 78 p.
- American Petroleum Institute (API), 1995c. Monitoring Near Refineries for Airbone Chemicals on the SARA Title III Section 313 List. API Publication No. 4496 Vol. IV. Health and Environmental Sciences Department. December 1988. Copyrigh 1995. Washington, D.C., U.S.A. 85 p.
- Atlas de Agua de la Republica Mexicana. 1976. Cincuentenario de la creación de la comisión nacional de irrigación precursora de la secretaria de recursos hidráulicos., 1976. Año del XII congreso internacional de Grandes presas.
- Bravo, A. H., Sosa E. R. y Torres J. R., 1986. La calidad del aire en la conurbación industrial de Coatzacoalcos-Minatitlán. Edita la Dirección de Publicaciones de la Comisión Nacional de Derechos Humanos. México, D. F., 117-145 p.
- Baldasano, J. M., 1994. Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Mundo Científico, 11 (114):40-47.
- Barry, R., 1985. Atmósfera, Tiempo y Clima. Editorial Omega S.A., Barcelona, España., 500 p.
- Benítez, L., 1993. La patología ambiental, contaminación termodinámica y salud. Ciencia y Desarrollo, 16:69-84.
- Bedoya, J. y Jacko, R., 1988. Un mejor modelo para el calculo matemático de la dispersión a corto plazo. Contaminación ambiental, 17(20):54-72.

- Behar G. R., 1983. acercamiento a la construcción de una función de impacto ambiental. *Contaminación ambiental*, 7 (12):3-12.
- Bravo, H. 1985. "Evaluación de la Meteorología en la Zona Minatitlán-Coatzacoalcos". 2º. Seminario sobre Preservación del Ambiente entre ITM.
- Briggs A. G., Vander H. I., Engemant R. J. y Halitsky J. 1968. "Processes other than natural turbulence affecting effluent concentrations. Meteorology and atomic energy". Editor Air resource laboratories. Springfield, Virginia., 189-255 p.
- Canter, L. W., 1989. Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Editorial McGraw-Hill. España., 842 p.
- Chávez, R. D., 1999. Caracterización, Selectividad y Uso de Hidrocarburos Líquidos y Gaseosos. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Certificada por la Secretaría de Relaciones Exteriores 1975.134 p.
- Comisión Nacional del Agua, (CNA) 1993. Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de SMN catalogo de estaciones con registro en procesos de digitalización.
- Cruz N. X., Chávez N. S., Serrano M. E. Y Ruiz S. M., 1992. Análisis de sensibilidad local para un modelo de calidad del aire. *Revista Sociedad Química México*, 36 (3):105-116.
- Davydova B. V., Skiba N. Y., Bulgakov N. S. y Martínez Z. A., 1999. Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara Jalisco, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 15 (2):103 –111.
- Donn, L.W., 1978. Meteorología. Editorial Reverte, S.A., España., 111 p.
- Finlayson J. B. y Pitts N. J., 2000. Chemistry of the upper and low atmosphere. Editorial Academic Press. Printed United State Of America., 1150 p.
- García, E., 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía, U.N.A.M. México. 118 p.
- Giorgio, J. A., 1977. Contaminación atmosférica. "Métodos de medida y vigilancia". Editorial Alhambra. Madrid, España., 176 p.
- Hardy, R., 1984. El Libro del Clima. Editorial. Orbis, S.A., España., 160 p.

- Hurtado, F. G. y Fernández M. E., 1998. Un acercamiento al tema de la contaminación atmosférica. *Minería y Geología*, 15 (2):63-68.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1996. Zonificación de Combustibles en la República Mexicana. Informe Técnico Final GCA 96022 D0B-8140. Participantes Arias, B.M.; Barranco, G.D.; García, Y.J.S.; García, M.R.E.; Hernández, M.E.; Morán, G.J.M.; Olvera, M.S. y Wilson, G.E. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1997. Zonificación de Combustibles en la República Mexicana. (Segunda parte) Informe Técnico Final GCA 96023 D0B-8038. Participantes García, Y.J.S.; Mendoza, G.P.C.; Morán, G.J.M.; Olvera, M.S.; y Wilson, E.G. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas". Minatitlán, Ver. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/022/99 Proyecto P.08843.02004. Participantes Castro, J.J. C.; Flores, S.J.L.; López, M.J.L.; Mora, R.E.; Morán, J.G.M. y Torres, G.J.G. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Francisco I. Madero" Cd. Madero, Tamps. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/011/99 Proyecto P.08843.02.005. Participantes Castro, J.J. C.; Castro, J.J.C. y García, Y.J.S. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Miguel Hidalgo" Tula de Allende , Hgo. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/009/99 Proyecto P.08843.02.001. Participantes Castro, J.J.C.; Castro, J.J.C., y Vázquez, G.M. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Héctor R. Lara Sosa" Cadereyta de Jiménez, N.L. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/024/99 Proyecto P.08843. Participantes Castro, J.J.C.; Gutiérrez, L.S. y Vázquez, G.M. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 2000. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Ing. Antonio M. Amor" Salamanca, Gto. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/002/2000 Proyecto F. 00132.03.024. Participantes Castro, J.J.C.; Gutiérrez, L.S. y Vázquez, G.M. Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.

- Instituto Mexicano del Petróleo, 2000. Estudio Integral para la Evaluación y Control del Impacto de Emisiones e Inmisiones en los Centros de Refinación. Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime" Salina Cruz, Oax. Informe Técnico Final de Inmisiones. GCA/003/2000 Proyecto F. 00132.03.028. Participantes Domínguez, R.E.; Mora, R.E.; Morán, G.J.M. y Rodríguez, M.R., Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. México, D. F.
- Jáuregui, F., Klaus, D. y Lauer W., 1981. Una primera estimación del transporte de SO₂ sobre la ciudad de México. *Geofísica internacional*, 20(1):55-79.
- Jáuregui, F., 1988. Efectos del Clima Urbano Sobre los Niveles de Contaminantes en la Ciudad de México. *Geografía y Desarrollo*, 1 (2):37-44.
- Jáuregui, F., 1993. La contaminación atmosférica. *Ciencia y desarrollo*, 19(109):53-64.
- Jones, P., 1994. El Clima de los Últimos Mil Años. *Mundo científico*, 10 (102):542-550.
- Lambert, G., 1987. El Dióxido de Carbono en la Atmósfera. *Mundo científico*, 7 (72):848-857.
- Llaugé, D.F. (1986). *Iniciación a la Meteorología*. Editorial Marcombo Borxareu. Madrid, España p. 345
- López, M. J. L., 1998. Uso de un modelo gaussiano para estimar la dispersión de emisiones contaminantes proveniente de fuentes fijas. *Tecnología, ciencia educación*, 13(1):44-49.
- López, M. J. L., 1998. Modelos de dispersión gaussianos. En el Aire Gaceta de la Gerencia del Ciencias del Ambiente, IMP, (3):1-3.
- Magaña, V. 1994. El pronóstico del tiempo para los próximos días, meses años. *Ciencias*,(35) 15-22.
- Martínez, M. J. y Cantú M. M. 1991. consideraciones básicas en la selección de equipo de control de contaminación de aire. *Revista del instituto mexicano del ingeniero químico*, 24: 45-51.
- Martínez, P. A. y Romieu, I., 1997. *Introducción al monitoreo Atmosférico*. Editorial ECO, Metepec, Estado de México., 200 p.
- Masson, J., Camps, J. y Parés, S., 1996. La observación de nuestra atmósfera. *Mundo Científico*, 167: 325-328.
- Mcintosh, H. D. y Tom, S. A., 1983. *Meteorología básica*. Editorial Alhambra. Madrid, España., 365 p.

- Mejía, N. W. H. y Isaza R. S., 1983. Estudio de dispersión de plumas por métodos fotográficos. *Contaminación ambiental*, 7(12):33-41.
- Morán, G. J. M. y Wilson, G. E. 1997. Estudio para la Distribución de Gasolinas Automotrices por Refinería en la República Mexicana para 1998. Patente No 163243/97 IMP-616, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F.
- Morán, G. J. M. y Wilson, G. E. 1997. Zonificación de Combustibles Automotrices en la República Mexicana. Patente No 163244/97 IMP-617, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F.
- Nakamura, M., Pérez, A. R. y Pérez, A. V., 1993. Un modelo estadístico para excedentes de episodios altos de ozono en la ciudad de México. *Ciencia* 44:397-407.
- Nehls, J. G. y Akland, G.G., 1973. Procedures for handling aerometric data. *Journal of the air pollution control association*, 23(3):180-184.
- Ortiz, M. V. y Romero, C. J., 1990. El pronóstico meteorológico en México. *Ingeniería hidráulica en México*, Numero especial, octubre 123-137.
- Parke, A., 1983. *Contaminación del aire*. Editorial Reverte S. A. España., 709 p.
- PEMEX Refinación 1983. Refinería "Ing. Antonio M. Amor" Salamanca, Gto. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis Editorial, Tipografía, Formato e Impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 32 p.
- PEMEX Refinación 1986. Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas". Minatitlán, Ver. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis editorial, tipografía, Formato e Impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de capacitación y desarrollo profesional. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 45 p.
- PEMEX Refinación 1990. Refinería "Miguel Hidalgo" Tula de Allende, Hgo. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis Editorial, Tipografía, Formato e Impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 68 p.
- PEMEX Refinación 1991. Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime" Salina Cruz, Oax. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis Editorial, Tipografía, Formato e impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 40 p.

- PEMEX Refinación 1992. Refinería "Héctor R. Lara Sosa" Cadereyta de Jiménez, N.L. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis Editorial, Tipografía, Formato e Impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 23 p.
- PEMEX Refinación 1995. Refinería "Francisco I. Madero" CD. Madero, Tamps. Subdirección de Transformación Industrial. Análisis Editorial, Tipografía, Formato e Impresión a cargo de la División Editorial. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), 43 p.
- Quadri, G. 1994. La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Editorial Limusa. México., 316 p.
- Ramírez L. H., 1999. El programa Quetzal/II para el estudio de la dispersión de contaminantes en flujos con recirculación. Boletín iie, 20 (2): 68-72.
- PEMEX Cadereyta 1992. Revista Refinería "Héctor R. Lara Sosa". División editorial. Subdirección de Desarrollo Profesional del IMP. 26 p.
- PEMEX Madero, 1995. Revista Refinería "Francisco I. Madero". División editorial. Impreso en el IMP. Subdirección General de Capacitación y Servicio Técnicos. 43 p.
- PEMEX Minatitlán 1986. Revista Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas del Río". División editorial. Subdirección de Transformación Industrial. 45 p.
- PEMEX Salamanca 1998. Revista Refinería "Ing. Antonio M. Amor". División editorial. Subdirección de Transformación Industrial. 23 p.
- PEMEX Salina Cruz, 1986. Revista Refinería "Antonio Dovalí Jaime". División editorial. Subdirección General de Capacitación y Desarrollo Profesional. Subdirección de Transformación Industrial. 27 p.
- PEMEX Tula 1990. Revista Refinería "Miguel Hidalgo". División editorial. Instituto Mexicano del Petróleo. Subdirección de Capacitación y Desarrollo Profesional 21 p.
- Restrepo, I., 1992. La contaminación atmosférica en México. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México, D. F. 288 p.
- Rúa, A. y Hernandez E., 1998. Aplicación de una modelación Lagrangiana a la contaminación atmosférica transfronteriza. *Atmósfera* 11:75-94.

- Rubinstein, K., 2001. Two approaches to meteorological data supplying for pollution transfer modeling. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 17(1):37-45.
- Ruiz, S. G. y Cruz, N. X., 1991. Modelo fotoquímico de contaminantes atmosféricos urbanos. *Ciencia*, 42:99-109.
- Salcido, G. A. V. y Saldaña F. R., 1993. Modelación y dispersión de contaminantes atmosféricos. *Boletín iie*, 17(2): 79-82.
- Sandoval, E. Escamilla, P., Cerna, M. J., páramo, H. V. Y Gonzalez, R., Jáuregui, F., 1992. Meteorología y contaminación. *Ciencia y Desarrollo*, 17(103):50-63.
- Schifter, I. y Gutiérrez D. L., 2001. El desarrollo de un modelo predictivo de emisiones para gasolinas en México. *Ciencia*, 52(1-2):44-59.
- Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos, (SARH) 1984. Relación de estaciones y observatorios d la red meteorológica nacional en orden numérico SMN.
- Secretaría de Salud 1994. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección a la Salud. Diario Oficial de la Federación. 23 de Diciembre de 1994. 45-65 p.
- Sosa, E. R., 2001. "Evaluación y control de la contaminación del aire" Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y de Químicos A. C. (CNIQQ). Diplomado en protección ambiental In: Instituto Mexicano del Petróleo, México D. F. 2001 julio 23-27, 2001. 218 p.
- Stoker, S. H. y Seager L. S., 1981. Química ambiental. "Contaminación del aire y del agua". Editorial Blume. Barcelona, España., 320 p.
- Summer, B. D., 1983. Manual de química. Editorial iberoamericana. México D. F., 112 p.
- Vega, G. S. 1992. Como determinar las normas de calidad del aire. Edita la dirección de Publicaciones de la Comisión Nacional de Derechos Humanos. México, D. F., 43-59 p.
- Tiburcio, S. A. y Domínguez, E. M., 1997. Monitoreo de la contaminación ambiental y de emisiones de riesgos. *Ciencia y desarrollo*, 12(35): 66-69.
- Toharia, C. M., 1984. Tiempo y Clima, Editorial Salvat S. A., España. 64 p.
- Wark, K. y Warner, F. 1981. Air pollution. "Its origin and control". Editorial Harpercoollinspublishers. New York, N. Y. 525 p.

- Wetzenfeld, H., 1985. Evaluación rápida de fuentes de contaminación ambiental-Experiencia en América Latina para emisiones de aire. *Contaminación ambiental*, 8(15):51-63.
- Wilson, G. E., Morán, G. J. M. y Nava, N. M. M. 1991. Sistema Process para Análisis de Información de la Contaminación en el Valle de México. Patente No. 19216/91 IMP-267, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F.
- Wilson, G. E., González, O. E., Morán, G. J. M. y Escamilla, B. 1992. Impacto de Contaminantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Patente No. 2397/92 IMP-279, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F.
- Wilson, G. E., González, O. E., Morán, G. J. M. y Escamilla, B. P. 1992. Monitoreo de Vientos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Patente No. 2398/92 IMP-280, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D. F.
- Wilson, G. E., Morán, G. J. M. y González, O. E. 1993. Desarrollo de un Sistema para Evaluar el Impacto en la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Patente No. 3531/93 IMP-385, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.
- Wilson, G. E., Morán G. J. M. y Mendoza, G. P. C. 1997. Visualización de los Resultados de las Normas ASTM para Combustibles en la República Mexicana. Patente No. 127130/97 IMP-585, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.
- Wilson, G. E., Morán, G. J. M. y Mendoza, G. P. C. 1997. Cálculo Estadístico y Aplicación de Normas ASTM para combustibles en la República Mexicana. Patente No. 127131/97 IMP-586, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.
- Wilson, G. E. y Morán, G. J. M. 1997. Caracterización de Combustibles en México, Guadalajara y Monterrey para 1998. Patente No. 163239/97 IMP-612, Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.
- World Health Organization. Manual on urban Air quality management. Geneva: WHO, 1977. 200 p.
- World Health Organization. Air monitoring programme design for urban and industrial areas. Geneva: WHO, 1977. 46 p.
- Refinería Ing. Antonio M. Amor. Cambio 2000. Órgano informativo de la Refinería de Salamanca, Guanajuato. No. 11. Septiembre 1998.

X. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA): <http://www.epa.gov> marzo del 200

Comisión Estatal de ecología (COESE): <http://www.coese.gob.mx> Enero del 2002

Contaminación Atmosférica: <http://www.calidad-del-aire.gob.mx>. Diciembre del 2001

Curso de contaminación del aire <http://www.cepis.ops-oms.org>. Abril del 2002

El efecto de acumulación y su influencia en el patrón de dispersión de contaminantes: <http://www.met.inf.cu>. Julio del 1999

Información Meteorológica: <http://www.inta.gov.ar>. Abril del 2000

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI): <http://www.inegi.gob.mx>. Febrero del 2005.

Instituto Nacional de Ecología (INE): <http://www.ine.gob.mx>. Noviembre del 2004.

Monitoreo de la Calidad del Aire Ambiental: <http://www.mem.gob.pe>. Enero del 2002

Modelos de Difusión Atmosférica: <http://www.etsimo.uniovi.es>. Junio del 1999

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) <http://www.semarnat.gob.mx>. Mayo del 2004.

Sistema integral de monitoreo ambiental: <http://www.nl.gob.mx>. Diciembre del 2000

XI. CARTOGRAFÍA

SICORI Cadereyta Refinería "Héctor R. Lara Sosa" Cadereyta N. L. PEMEX. 1996. Escala gráfica: 1:0.13 km. Dirección Corporativa de Administración. Subdirección de Servicios Corporativos Sistema Corporativo de Información Geográfica. Octubre.

SICORI Cadereyta Refinería "Francisco I. Madero" Tampico Tamps. PEMEX. 1996. Escala gráfica: 1:0.2 km Dirección Corporativa de Administración. Subdirección de Servicios Corporativos Sistema Corporativo de Información Geográfica. Octubre.

SICORI Cadereyta Refinería "Antonio Dovalí Jaime" Salina Cruz Oax. PEMEX. 1996. Escala gráfica: 1:0.17 km. Dirección Corporativa de Administración. Subdirección de Servicios Corporativos Sistema Corporativo de Información Geográfica. Octubre.

SICORI Cadereyta Refinería "Ing. Antonio M. Amor". Salamanca Gto. PEMEX. 1996. Escala gráfica: 1:0.2 km. Dirección Corporativa de Administración. Subdirección de Servicios Corporativos Sistema Corporativo de Información Geográfica. Octubre.

Carta topográfica Minatitlán 1996 E15 C15. Escala 1:50 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática INEGI.

Cartas de climas Guadalajara. 1995. Escala grafía 1:1 000 000 Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Cartas de climas México. 1995. Escala grafía 1:1 000 000 Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Cartas de climas Monterrey. 1995. Escala grafía 1:1 000 000 Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Cartas de climas Villahermosa. 1995. Escala grafía 1:1 000 000 Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Carta topográfica Pachuca. 1998. F14-11. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática INEGI.

Carta topográfica Cd de México. 1998. E14-02. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Tampico. 1998. F14-03. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Río Bravo. 1998. G14-08. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Monterrey. 1998. G14-07. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Minatitlán. 1998. E15-07. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Querétaro 1998. F 14-03. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

Carta topográfica Salina Cruz. 1998. E15-10. Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática
INEGI.

ANEXO 1

Breve descripción de los modelos aplicados por la EPA.

- ◆ El ISC (Industrial Source Complex) en su versión a corto plazo. Este es un modelo proporcionado y avalado por la EPA (Environment Protection Agency), el cual con una aproximación gaussiana resuelve la ecuación de transporte, además se ha demostrado que uno de los simuladores más completos y robustos existentes actualmente.
- ◆ El ISCST2. Este programa modela emisiones de fuentes industriales complejas (chimeneas múltiples), con periodos de dispersión cortos; se aplica para terrenos planos o no más elevados que el tope de la chimenea.
- ◆ ISCLT (complejo de fuentes industriales de largo plazo). Modelo gaussiano de penacho, de régimen permanente, que pueden utilizarse para dar entrada a las concentraciones de contaminantes procedentes de un complejo de fuentes industriales, con periodos de dispersión largo. Se aplica a terrenos planos o no mas elevados que el tope de las chimeneas.5,DI-10
- ◆ ISCLT (complejo de fuentes industriales de corto plazo). Modelo gaussiano de penacho, de régimen permanente, que pueden utilizarse para dar entrada a las concentraciones de contaminantes procedentes de un complejo de fuentes industriales, con periodos de dispersión corto. Se aplica a terrenos planos o no mas elevados que el tope de las chimeneas. 1,DI-10
- ◆ LONGZ,SHORTZ. Concebido para calcular la concentración de contaminantes a largo y corto plazo producida en una gran número de receptores mediante emisiones de múltiples chimeneas, edificios y fuentes zonales. 1,5,DI-10
- ◆ MPTEP. Modelo gaussiano para fuentes puntuales múltiples con ajuste opcional del terreno.5,DI-22
- ◆ SCREEN. Este modelo puede utilizarse en <<modo de Screening>> para calcular las concentraciones a nivel del suelo bajo condiciones limitadas de dispersión. Si los resultados resultan interesantes cuando se comparan con los estándares, puede utilizarse una modelización mas detallada5,DI-22
- ◆ CDM. El modelo climatológico de dispersión (CDM) determina las concentraciones de contaminantes a largo plazo (estacional o anual) y casi estables en cualquier receptor a nivel del suelo, utilizando las tasas de emisión medias procedentes de fuentes puntuales y zonales, así como una distribución conjunta de frecuencia de la dirección del viento, velocidad del viento y estabilidad para el mismo periodo.5,DI-22

- ◆ **CRSTER.** Este algoritmo estima las concentraciones a nivel del suelo, resultantes de más de 19 emisiones de chimeneas elevadas para un año entero, y proporciona las dos concentraciones más altas en 1.3 y 24 horas, así como las concentraciones medidas anuales en un grupo de 180 receptores (5 distancias por 36 azimuts). El algoritmo es una forma modificada de la ecuación gaussina de régimen permanente del penacho, que utiliza coeficientes empíricos de dispersión e incluye ajuste para la elevación del penacho y la mezcla limitada. Los ajuste del terreno se realizan siempre que el terreno circundante esté físicamente por debajo de la altura más baja de la chimenea. Las concentraciones de contaminantes para cada promedio de tiempo se calculan para periodos discretos y no solapados (no se calculan medias de funcionamiento) , utilizando los valores horarios medidos de velocidad y dirección del viento y los valores horarios estimados de estabilidad atmosférica y altura de la mezcla.5,DI-22

- ◆ **PAL.** Es un algoritmo que representa fuentes "puntuales, zonales, lineales". Este algoritmo gaussiano de régimen permanente, a corto plazo, estima las concentraciones de contaminantes estables para fuentes puntuales, zonas y lineales. Los cálculos para fuente zonales incluyen los efectos a partir del extremo de la fuente. Los cálculos de fuentes lineales pueden incluir los efecto de una tasa de emisiones variables a lo largo de la fuente. El algoritmo no está proyectado para aplicarlo a zonas totalmente urbanas, sino para el análisis a menor escala de fuentes como centros comerciales, aeropuertos y plantas sencillas. Se estiman las concentraciones horarias y pueden obtenerse las concentraciones medias de 1 a 24 horas.5,DI-22

- ◆ **PTMAX.** Lleva a cabo un análisis de las concentraciones máximas a corto plazo a partir de una fuente puntual única, en función de la estabilidad y dirección del viento. Para cada cálculo se utiliza la altura del penacho final.5,DI-22

- ◆ **PTMTP.** Estima la concentraciones a partir de fuentes puntuales, para diversos puntos receptores localizados arbitrariamente al nivel del suelo o por encima del mismo. Para cada fuente se determina la elevación del penacho. Se determinan las distancias con viento a favor y con viento de costado para cada par fuente-receptor. Se supone que en un receptor las concentraciones procedentes de varias fuentes son aditivas. Se utilizan los datos meteorológicos horarios; pueden obtenerse las concentraciones horarias y promedios para cualquier tiempo medio entre 1 y 24 horas.

- ◆ **Valley.** Este es un algoritmo gaussiano de régimen permanente de difusión del penacho concebido para estimar las concentraciones de 24 horas o anuales resultantes de las emisiones de más de 50 fuentes puntuales y zonales (total). Los cálculos de las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo se realizan para cada frecuencia designada en una serie definida por seis estabilidades, 16 direcciones del viento y seis velocidades de viento para 112 emplazamiento de receptores concebidos por el programa en una cuadrícula radial de escala variable. Se utilizan coeficientes de dispersión empíricos y el calculo incluye los ajuste para la elevación del penacho y la mezcla limitada. La altura del penacho se ajusta según las elevaciones del terreno y las claves de estabilidad.

Anexo 2



Ubicación de las seis refineries de PEMEX en la República Mexicana