

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL ATMOSFÉRICO
GENERADO POR LAS EMISIONES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE
GAS EN EL ÁREA DEL CAMPO SANTA ROSA, PDVSA GAS ANACO”**

Realizado por:

NOELIA DEL VALLE FIGUEROA MOLERO

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero Químico**

Barcelona, febrero de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL ATMOSFÉRICO
GENERADO POR LAS EMISIONES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE
GAS EN EL ÁREA DEL CAMPO SANTA ROSA, PDVSA GAS ANACO”**

ASESORES

Ing. Quím. Rayda Patiño (M.Sc)
Asesor académico

Ing. Agron. Vicente Velásquez
Asesor industrial

Barcelona, febrero de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL ATMOSFÉRICO
GENERADO POR LAS EMISIONES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE
GAS EN EL ÁREA DEL CAMPO SANTA ROSA, PDVSA GAS ANACO”**

JURADOS

Ing. Quím. Rayda Patiño (M.Sc)
Asesor académico

Ing. Quím. Maritza Millán (M.Sc)
Jurado principal

Ing. Quím. Lucas Álvarez (Ph.D)
Jurado principal

Barcelona, febrero de 2010



RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado: “Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

DEDICATORIA

Ante todo le dedico mi trabajo a Dios todo poderoso y a mi virgen del Valle por protegerme, acompañarme e iluminar mi camino y darme fuerzas cuando más lo necesitaba.

A mama Onelia, se que desde el cielo me proteges y estás feliz por mi logro. Te amo mamá, no hay palabras suficientes para decir lo mucho que te extraño y la falta que me haces.

A mis padres, gracias a ustedes soy lo que soy, son mi mayor orgullo. Sin ustedes no habría podido alcanzar tan anhelado sueño; sus consejos, su apoyo incondicional sobre todo su amor, son lo mejor que la vida me ha regalado. Mami, papi los amooo, este logro es de ustedes gracias por todo.

A mi hermano Esteban, te amo mi gatito adorado. Estoy muy orgullosa de ti. Dios te bendiga y te proteja.

A mis abuelos: Odila, Cruz y Jesús, gracias por sus consejos y su apoyo. Los quiero abuelitos.

A mi chiquita Alexlis, la luz de mis ojos. Desde que naciste llenaste de alegría a todos en casa. Te amo mi linda, Diosito te cuide y te proteja.

A mi hermano Daniel y a mi sobrinita linda los adoro.

A todos mis primos en especial a Eduardo, José Jesús, Jean Piero, Paola, Genesis, Vanessa, Alexis, Jesús, Prisnellys, Dari, este logro tan anhelado por mí, hoy lo comparto con ustedes, espero pronto compartir el suyo. Los quiero a todos.

A mis tías y tíos, por su apoyo y cariño, los quiero.

A mis ahijados y mis comadres por ser tan especiales para mí.

AGRADECIMIENTOS

Mi Dios, tú el que todo lo puede, el ser supremo y mi virgencita adorada del Valle; gracias por guiarme por el camino del bien y darme la fortaleza para salir adelante hoy y siempre. Ilumínenme y no me desamparen ni ahora ni nunca.

Mami, el ser más hermoso que la vida me ha dado; gracias por darme la vida y por tanto amor. No existe palabra alguna que defina el inmenso amor y orgullo que siento por ti mi mami adorada. Tus palabras día a día me daban fuerzas para seguir adelante y soportar el estar lejos de lo que más amo (usted, papi y mi gatito). Mil gracias mamita bella por estar siempre, por tu apoyo incondicional, consejos y sobre todo por siempre confiar en tu niña.

Papi, mi adoración, mi gran orgullo, sin usted no habría llegado a cumplir mi sueño, te amo papi bello, nunca me cansaré de agradecerle y decirle que soy lo que soy gracias a usted y a mami. Siempre has estado ahí cuando lo necesito, nunca me ha faltado nada, sobre todo por el inmenso amor que me das. Gracias por todo papito.

A mi gato Esteban, por siempre estar ahí cuando te necesito en las buenas y en las malas, por tu apoyo y amor. Mil gracias manito te amo.

Gracias abuelitos por su inmenso cariño, apoyo y consejos.

Mi Glorys, más que mi amiga, compañera, eres mi hermana. Gracias por estar cuando más lo necesitaba, poco a poco te fuiste ganando mi cariño eres muy especial para mi manita. Siempre en las buenas y en las malas, en la risas y el llanto. Dios te bendiga y te proteja mana.

Samira, fuiste y serás más que una amiga, una hermana para mí. Mil gracias por tu apoyo incondicional durante muchos años, siempre te estaré agradecida.

A mis incondicionales amigos de la uni: Anita, Daniel, Joa, Glory, yole, Anakary, ustedes son parte importante de este gran sueño, gracias amigos por su apoyo y compañerismo y sobre todo por su amistad. Los quiero y le pido a Dios que esta amistad perdure en el tiempo.

A mis amigas y compañeras de pasantías: Tania, Giselle y Adriana; en los meses que estuvimos juntas surgió una linda amistad, nos ayudamos las una a las otras. Sin ustedes no hubiese sido lo mismo mil gracias amigas.

A la Universidad de Oriente (UDO), por darme la oportunidad de formarme como profesional.

Jhonny Pino, muchísimas gracias amigo por tu apoyo incondicional y colaboración, tú también formas parte de este logro.

Edwin, gracias por apoyarme, comprenderme y ayudarme cuando más lo necesite; por tus consejos, palabras de aliento, nunca las olvidaré.

A mi madrina Luzmila y familia, gracias por su cariño y apoyo.

A mis tíos y tías, gracias por su apoyo, comprensión y cariño.

A mis amigos, amigas y primas: Alexa, Amaurys, Yethsi, Juliannys, Prisnelly, Genessis, Camilo, Jeferson, Dariana, Ana Claudia, Luis José, Samira, Romulo, María Angélica, Dayana, Vanessa, Mariannys, Prisnel, Agustin, Adrian, Kelly, etc, etc.. gracias por estar siempre presentes en mi vida y por su amistad; los quiero a todos.

A PDVSA GAS por abrirme sus puertas y realizar allí mis pasantías. En especial al Ing. Vicente Velásquez por su apoyo y colaboración.

A mi asesora Rayda Patiño, le doy las gracias por brindarme su apoyo en la elaboración de mi tesis y por su amistad.

A todos mis profesores, que me impartieron sus conocimientos a lo largo de mi carrera mil gracias a todos.

RESUMEN

Debido a la naturaleza de los procesos, las operaciones de las industrias petroleras generan consecuencias directas sobre el ambiente, entre las que destacan las emisiones atmosféricas. En los últimos años estas industrias han comenzado a preocuparse en la parte de producción por los asuntos ambientales, buscando minimizar los impactos sobre el ambiente. En este trabajo se evaluó el impacto ambiental atmosférico generado por las emisiones del sistema de producción de gas en el área del campo Santa Rosa, PDVSA GAS Anaco. Para ello se identificaron en el sistema, las fuentes y los gases contaminantes provenientes de éstas, dando como resultado las fosas, tanques de almacenamiento, fugas en equipos, pozos, y como gases contaminantes los compuestos orgánicos volátiles (COV). Luego se procedió a estimar las emisiones provenientes de las fuentes identificadas en cada una de las estaciones de flujo, las cuales se llevaron a cabo a través de factores de emisión y modelos matemáticos; con la finalidad de establecer comparaciones con la normativa legal vigente (Decreto 638 referente a los límites de emisión de COV); obteniéndose que en todas las estaciones se supera el límite de emisión de COV. También se determinó la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software DISPER 4.0, encontrándose que las fuentes superan los límites de calidad del aire establecidos por el ORAQI en el manual DISPER 4.0. Ante estos resultados se propusieron estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo estudiado.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN.....	x
CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
CAPÍTULO I.....	18
INTRODUCCIÓN	18
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2 Objetivos	20
1.2.1Objetivo general.....	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Antecedentes	21
2.2 Ubicación geográfica del área en estudio.....	22
2.3 Proceso de producción del gas natural.....	23
2.4 Contaminación atmosférica.....	25
2.4.1 Emisión de contaminantes a la atmósfera	26
2.4.2 Evaluación del impacto ambiental	28
2.4.3 Inventario de emisiones.....	28
2.4.4 Contaminantes a considerar en un inventario de emisiones	29
2.4.5 Categorías de fuentes de emisiones.....	31
2.4.5.1 Fuentes puntuales o fijas	31
2.4.6 Técnicas básicas de estimación de emisiones	32
2.4.7 Estimación de emisiones mediante factores de emisión	34
2.4.7.1 Factores de emisión basados en procesos	35

2.4.8 Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes	35
2.4.8.1 Modelos mecanísticos	36
A. Tanques de almacenamiento	36
B. Software TANKS 4.09 de la EPA	39
2.4.9 Emisiones fugaces	40
2.5 Principios de transferencia de masa	41
2.5.1 Ley de Fick para la difusión molecular	41
2.5.2 Difusión molecular en gases	42
2.5.3 Coeficientes de difusión para gases	46
2.6 Software disper 4.0	47
2.6.1 Aplicaciones del software Disper 4.0	47
2.7 Técnicas para la minimización de emisiones de gases contaminantes	49
2.8 Decreto 638 y los límites de emisión	54
CAPÍTULO III	56
DESARROLLO DEL PROYECTO	56
3.1 Descripción del sistema de producción de gas del campo Santa Rosa	56
3.2 Identificación de las fuentes fijas de emisiones y los gases contaminantes provenientes de éstas	58
3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos	60
3.3.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos	60
3.3.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento	60
3.3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos	63
3.3.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas	64
3.4 Determinación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software disper 4.0	65
3.5 Comparación de las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el decreto 638	66
3.6 Proposición de estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio	66
3.7 Muestra de cálculo	68
3.7.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos	68

3.7.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento	68
3.7.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos	70
3.7.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas	70
3.7.4.1 Determinación del área de la fuente	70
3.7.4.2 Determinación del coeficiente de difusión	71
3.7.4.3 Determinación de la tasa de emisión de los gases contaminantes	72
3.8 Equipos, materiales, sustancias y herramientas	74
3.8.1 Equipos	74
3.8.2 Materiales	74
3.8.3 Sustancias	74
3.8.4 Herramientas	74
CAPÍTULO IV	75
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
4.1 Descripción del sistema de producción de gas del campo Saanta Rosa	75
4.2 Identificación de las fuentes fijas de emisiones y los gases contaminantes provenientes de éstas	77
4.3 Estimación de las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos	78
4.3.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos	78
4.3.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento	79
4.3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos	81
4.3.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas	82
4.4 Determinación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software disper 4.0	84
4.5 Comparación de las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el decreto 638	92
4.6 Proposición de estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio	98
4.7 Conclusiones	100
4.8 Recomendaciones	101
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXO A: Figuras	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Parámetros requeridos y valores por omisión en tanques de techo fijo.	38
Tabla 2.2	Volúmenes de difusión atómica para el modelo de Fuller y colaboradores.	46
Tabla 2.3	Límites de emisión para los componentes orgánicos volátiles (COV).	55
Tabla 3.1	Inventario de fuentes de emisión	59
Tabla 3.2	Factores para emisiones de gas en solución proveniente de tanques de almacenamiento de petróleo crudo, kg/m³.	61
Tabla 3.3	Diámetro, altura, capacidad y producción de los tanques de almacenamiento de las estaciones.	61
Tabla 3.4	Pérdidas por respiración (LS), pérdidas por trabajo (LW) en tanques de almacenamiento.	62
Tabla 3.5	Factores de emisiones fugaces en producción de gas y petróleo liviano, kg/h/componente.	63
Tabla 3.6	Dimensiones de las fosas asociadas a las estaciones.	64
Tabla 3.7	Propiedades de los gases contaminantes (COV).	65
Tabla 3.8	Límite de calidad del aire del ORAQI.	66
Tabla 4.1	Fuentes de emisiones y gases contaminantes.	78
Tabla 4.1	Tasa de emisiones en los pozos.	79
Tabla 4.2	Pérdidas totales (LT) de COV y gas en solución (GS), en tanques de almacenamiento.	80
Tabla 4.3	Tasa de emisiones en tanques de almacenamiento de techo fijo de las estaciones.	81
Tabla 4.4	Tasas de emisiones fugaces en equipos.	82

Tabla 4.5 Difusividades y tasa de emisiones de los gases contaminantes.	82
Tabla 4.6 Tasas de emisiones y área de las fosas.	83
Tabla 4.8 Concentraciones máximas de COV en estaciones de flujo y fosas asociadas	91
Tabla 4.9 Tasas de emisiones de los gases contaminantes generadas por las fuentes.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación geográfica del distrito Anaco.	23
Figura 2.1. Niveles de inventario de emisiones en fuentes puntuales o fijas.	32
Figura 2.2. Benceno que se evapora al aire.	44
Figura 3.1 Proceso de producción de gas natural.	58
Figura 4.1 Plano de ubicación de las estaciones y complejo del campo Santa Rosa	75
Figura 4.2 Sistema de producción del campo Santa Rosa.	76
Figura 4.8 Mapa de concentraciones de COV generados por los tanques de almacenamiento en la estación de flujo SREF-1	85
Figura 4.9 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-1	85
Figura 4.10 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-2	86
Figura 4.12 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-3	87
Figura 4.13 Mapa de concentraciones de COV generados por los tanques de almacenamiento en la estación de flujo SREF-4	88
Figura 4.14 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-4	88
Figura 4.15 Mapa de concentraciones de COV generados por el tanque de almacenamiento en la estación de flujo SREF-5	89
Figura 4.16 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-5	89

Figura 4.17	Mapa de concentraciones de COV generados por el tanque de almacenamiento en la estación de flujo SREF-6	90
Figura 4.18	Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-6	90
Figura 4.19	Valores de concentraciones máximas de COV en cada escenario	92
Figura 4.20	Valores de emisión de COV en SREF-1	94
Figura 4.22	Valores de emisión de COV en SREF-3	95
Figura 4.23	Valores de emisión de COV en SREF-4	96
Figura 4.24	Valores de emisión de COV en SREF-5	97
Figura 4.25	Valores de emisión de COV en SREF-6	97
Figura A.1	Datos meteorológicos.	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.2	Características físicas de los tanques.	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.3	Contenido de los tanques y propiedades.	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.4	Data meteorológica promedio	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.5	Datos meteorológicos.	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.6	Condiciones de la fuente.	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

PDVSA GAS se concibe como la filial de Petróleos de Venezuela, S. A. que se dedica a la exploración y explotación de gas no asociado, así como a la extracción y fraccionamiento de líquidos del gas natural (LGN), al transporte, distribución y comercialización del metano; dada su importancia esta industria está presente en casi todo el país. En agosto de 1999, se crea PDVSA GAS con la disposición de lograr el desarrollo en las diferentes actividades de producción, tratamiento y distribución del gas natural; esta nueva división la conforman el Distrito Anaco, situado en el centro del estado Anzoátegui y abarca parte de los estados Monagas y Guárico. PDVSA GAS Anaco se divide en dos grandes extensiones operacionales: Área Mayor de Anaco (AMA) y Área Mayor Oficina (AMO).

Siendo el campo en estudio Santa Rosa, el cual pertenece al Área Mayor Anaco ubicado a diez kilómetros al Noreste de la población de Anaco. Abarca un total de 20.800 ha y fue reconocido como un campo gigante en 1948; siete años después de su descubrimiento. Debido a su extensión y a sus grandes reservas de hidrocarburos del tipo condensado, crudos livianos y gas es el campo más importante del área de Anaco.

El sistema de producción del campo Santa Rosa, está formado por los pozos productores, estaciones de flujo y las fosas asociadas a éstas, en el cual se generan emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Los elementos de las instalaciones son propicios para que exista una emisión fugitiva, como los ductos, válvulas, bridas, tanques de almacenamiento, etc.

Desde el punto de vista ambiental, este sistema es considerado susceptible de degradar el ambiente; específicamente los niveles de calidad del aire, debido a las emisiones fugitivas de hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de carbono y de otros gases contaminantes de la atmósfera que se generan en las actividades rutinarias del proceso, los cuales no poseen un sistema de control de las emisiones. Debido a esta necesidad se plantea evaluar el impacto ambiental atmosférico generado por las emisiones del sistema de producción de gas en el área del campo Santa Rosa. Para ésto se identificarán las fuentes fijas de emisiones y los gases provenientes de éstas, se estimarán las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos, se determinará la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software DISPER 4.0, se comparará las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el Decreto 638 y se propondrán estrategias para minimizar los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio.

Para la simulación se utilizará el software DISPER 4.0, basado en el modelo numérico ISCST (*Industrial Source Complex Short Term Model*) de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (EPA). Este software está diseñado para evaluar la contaminación atmosférica del ambiente, riesgo ambiental, estudios de impacto ambiental e ingeniería ambiental, auditoría y gestión del ambiente, administración del ambiente y control de vertidos, educación y salud ambiental, ciencias del ambiente y evaluación ambiental en general.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto ambiental atmosférico generado por las emisiones del sistema de producción de gas en el área del campo Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Describir el sistema de producción de gas del campo Santa Rosa.
- 2) Identificar las fuentes fijas de emisiones y los gases contaminantes provenientes de éstas.
- 3) Estimar las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos.
- 4) Determinar la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software DISPER 4.0
- 5) Comparar las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el Decreto 638.
- 6) Proponer estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

- En el año 1999 Pérez estudió la dispersión de contaminantes atmosféricos (BTEX), basados en el modelo gaussiano de Pasquill-Guifford que son emanados desde fosas recolectoras de condensado provenientes principalmente de la unidad de regeneración de trietilenglicol. Se utilizó el programa de computación Hysim a fin de obtener la cantidad y características del condensado que es vertido constantemente a las fosas [1].

- En el año 2003 García estableció un sistema para la disminución de los niveles de contaminación por emisiones atmosféricas de los contaminantes SO₂, CO, NO_x, F⁻ y partículas sólidas en la planta Conductores de Aluminio del Caroní. En el cual se utilizó un sistema de filtros de manga con el fin de minimizar las emisiones de los contaminantes [2].

- En el año 2003 Guarino estudió los contaminantes atmosféricos (SO₂ y Cl⁻) que actúan en el proceso de corrosión atmosférica en el estado Anzoátegui. También propuso dispositivos captadores para los contaminantes atmosféricos señalados, además de la metodología necesaria para la recolección de los mismos [3].

- En el año 2005 Zúnico realizó un estudio para la evaluación de las concentraciones atmosféricas que resultan de la dispersión, debido a las emisiones (SO₂, H₂S, NO₂) generadas en el mejorador de Petrolera Ameriven (PA). Se estimaron las concentraciones de dichos contaminantes mediante el uso del modelo Aermod View en posibles escenarios de contingencias; en el cual se

observó y evaluó el efecto que tiene la ocurrencia de estos escenarios sobre la calidad del aire y sobre las poblaciones y sitios de interés para PA [4].

El presente trabajo se diferencia de los anteriores, ya que en éste se evalúa el impacto ambiental atmosférico generado por los contaminantes (COV), a través de factores de emisión y modelos matemáticos. Utilizándose los software TANK 4.09 y DISPER 4.0.

2.2 Ubicación geográfica del área en estudio

En 1999 el Ministerio de Energía y Minas convirtió a Anaco en el Distrito Gasífero de Venezuela; actualmente este Distrito se conoce con el nombre de Producción Gas Anaco. Está ubicado geográficamente en la parte central del estado Anzoátegui, abarcando parte del estado Monagas y Guárico (figura 1.1). Este distrito posee reservas probadas de gas superiores a los 15.600 MMMPCG, con un área aproximada de 13.400 km² y está conformado por dos extensas áreas operacionales [5]:

- Área Mayor de Anaco (AMA), ubicado en la parte norte de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 3.160 km². Se encuentran los campos de producción: El Toco, Santa Ana, San Roque, El Roble, San Joaquín, Guarío y Santa Rosa.
- Área Mayor Oficina (AMO), ubicado en la parte sur de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 10.240 km². Se encuentran los campos de producción: Soto/Mapiri, La Ceibita, Mata R, Zapatos/Zulus, Aguasay y Carisito.

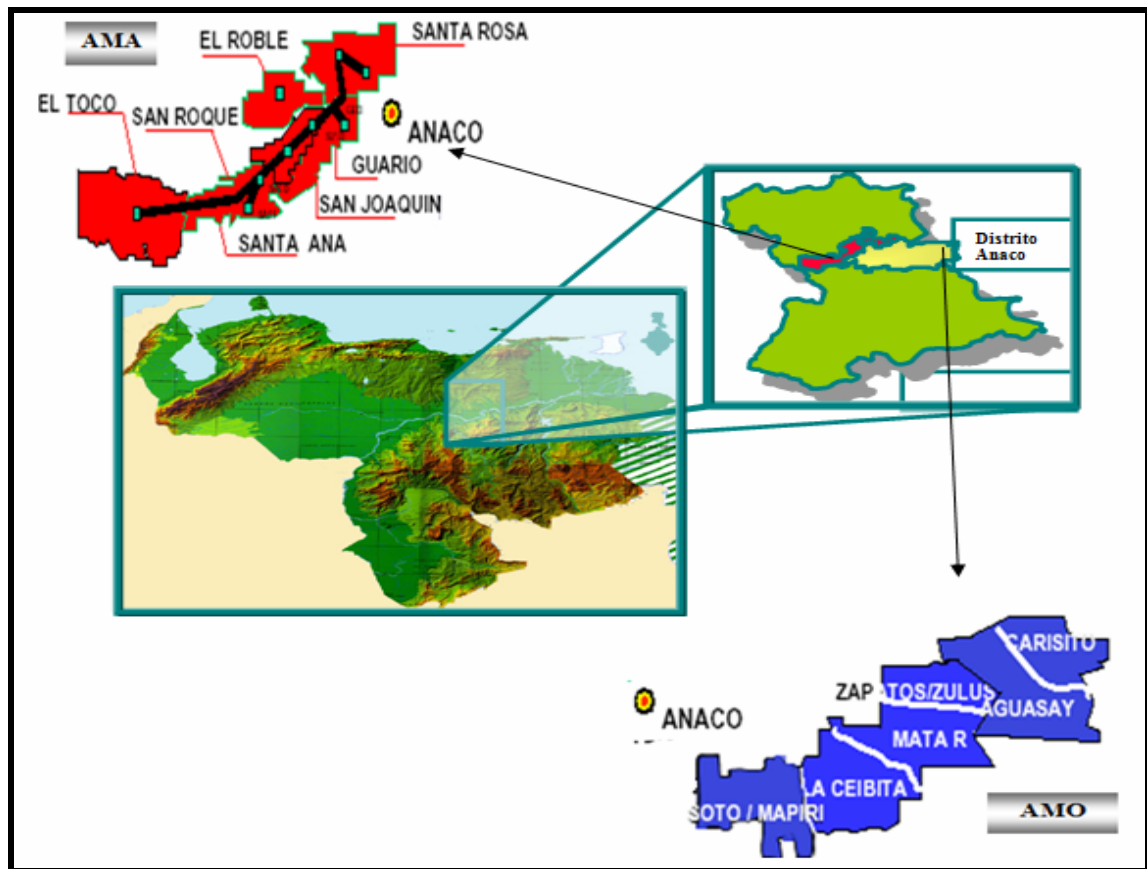


Figura 1.1 Ubicación geográfica del distrito Anaco.

2.3 Proceso de producción del gas natural

Para la obtención del gas natural se tienen cinco etapas principales que son:

- **Extracción:** la recolección de los hidrocarburos que se extraen del yacimiento para llevar el gas desde la salida del pozo hasta la etapa de separación de los hidrocarburos (gas líquido) tiene todo un conjunto de instalaciones, y entre las más importantes de esta etapa están el cabezal de pozo, estranguladores y líneas de flujo.

- **Separación:** es donde el gas llega a las estaciones de descarga, estaciones de recolección o centros operativos para luego ir a las plantas compresoras.

La estación de flujo y recolección de la producción de los pozos la componen un grupo de instalaciones que facilitan el recibo, la separación, medición, tratamiento, almacenamiento y despacho del petróleo. Es parecida a una estación de descarga, la diferencia es que en la estación de flujo no se realiza tratamiento ni medición del crudo, sino que sirve de punto de recolección y almacenamiento del petróleo antes de ser bombeado a las estaciones de descarga. A las estaciones de flujo llega crudo de los pozos directamente [6].

Una vez que el flujo multifásico llega a la estación de descarga o en su defecto a la estación de flujo, la mezcla multifásica de hidrocarburos y agua es sometida al proceso de separación de la fase líquida (petróleo + agua) y la fase gaseosa; siendo esta última de mayor interés. El equipo más importante en esta etapa es el separador. La separación física de estas fases es una de las operaciones fundamentales en la producción, procesamiento y tratamiento de las mismas, con el fin de optimizar la comercialización de crudo y gas [7].

- **Compresión:** una vez realizada la separación, los gases con niveles de presión bajos son enviados a las plantas compresoras, para que el gas cumpla con la presión requerida en la red de transmisión y así ser enviado a la siguiente etapa del proceso. En el caso particular del Distrito Gas Anaco, se requiere llevar los niveles de baja presión hasta una presión nominal de 1.200 psig. Los gases que se encuentren a esta presión luego de la separación, no son sometidos a proceso y son enviados a la red de transmisión directamente.
- **Transporte:** en el proceso de producción del gas natural se tienen que tomar muchas consideraciones al momento del diseñar las tuberías y accesorios que

llevarán las mismas. El elemento básico del sistema de transporte es la tubería, que son elementos huecos que se utilizan para transferir fluidos.

Los gasoductos son todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el gas en su transporte, como tuberías, válvulas, accesorios, bridas (incluyendo el empernado y las empaquetaduras), reguladores, recipientes a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue, y otros accesorios instalados en la tubería, unidades de compresión, estaciones de medición, estaciones de regulación y conjuntos fabricados.

- **Almacenaje y distribución:** un sistema de transmisión de gas natural comprende tuberías de alta presión que transportan gas entre puntos de abastecimiento y puntos de distribución a las áreas de consumo (de mercado). El gas distribuido en las áreas de mercado ingresan al sistema de distribución a presión más baja para ser distribuida a los consumidores finales. El gas también puede ser transportado para su almacenaje o bien para su conexión a otros sistemas de transmisión. Los sistemas de transmisión consisten de secciones de tubería interconectados y frecuentemente incluyen estaciones compresoras ubicadas a intervalos, conforme a las necesidades de variación de presión del flujo de gas a través de las tuberías.

2.4 Contaminación atmosférica

Para definir la contaminación atmosférica, primeramente se debe definir el concepto de impacto ambiental. El impacto ambiental es cualquier efecto positivo o negativo que produce una cierta actividad humana sobre el entorno.

La contaminación atmosférica hace referencia a la alteración de la atmósfera por la adición de gases, o partículas sólidas o líquidas en suspensión en proporciones distintas a las naturales; por lo que la contaminación atmosférica supone la

unificación de dos tipos de contaminación: la contaminación del aire y la contaminación sonora.

Se dice que un contaminante atmosférico es aquella sustancia química o forma de energía, presente durante un tiempo y en una concentración suficiente como para producir un efecto mensurable en el hombre, seres vivos o materiales. En función de la naturaleza del contaminante atmosférico que predomina, existen dos grandes tipos de contaminación:

1. Contaminación química: cuando el contaminante es una sustancia química concreta.
2. Contaminación física: cuando la contaminación se debe a cambios en las características físicas de la atmósfera, como son los casos de contaminación acústica, térmica y radioactiva. [8]

2.4.1 Emisión de contaminantes a la atmósfera

La contaminación atmosférica se genera por la emisión de sustancias contaminantes, las cuales provienen directamente del foco que las genera o después de haber pasado por un sistema de depuración cuya efectividad no es total. La atmósfera arrastra los contaminantes vertidos a la misma, alejándolos del punto emisor, a la vez que los va diluyendo o dispersando; al cabo de un cierto tiempo, gran parte de estos contaminantes son eliminados de la atmósfera por las precipitaciones o depositados en el suelo, bien en forma original o después de sufrir transformaciones químicas. Estos procesos de limpieza, que a veces causan acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación, suelo, agua, etc.), pueden producirse lejos del punto de emisión.

El vertido de contaminantes a la atmósfera se puede realizar por medio de chimeneas más o menos elevadas, o bien al nivel del suelo. En ambos casos, es

siempre la concentración recibida al nivel del suelo la que interesa considerar, ya que es a esta altura donde afecta a la salud humana o al ambiente en general.

La capacidad de dispersión de la atmósfera respecto de los contaminantes vertidos en la misma depende de las condiciones meteorológicas, en especial de la velocidad del viento y de la turbulencia atmosférica. La velocidad del viento condiciona la rapidez con la cual el contaminante se separa de la fuente que lo ha originado, mientras que la turbulencia atmosférica posibilita los efectos de mezcla y dispersión del contaminante; a mayor turbulencia, mayores grados de dilución va alcanzando el contaminante que se aleja de la fuente. En caso contrario, con movimiento del aire en régimen laminar, la turbulencia ha sido suprimida y el penacho de las emisiones es arrastrado por el viento y diluido tan sólo por efectos de difusión molecular. Por ello, las concentraciones de contaminante en el interior del penacho en régimen laminar son mayores que las que se pueden observar para el caso de régimen turbulento. [8]

Por ello, las condiciones meteorológicas bajo las cuales se produce emisión de contaminantes a la atmósfera son tan importantes en los estudios de contaminación. En general, se requiere el conocimiento de la dirección y velocidad del viento así como la turbulencia atmosférica. Los parámetros dirección y velocidad del viento se pueden conocer directamente por mediciones anemométricas a una cierta altura, o por los registros rutinarios en observatorios meteorológicos; pero la turbulencia atmosférica no es susceptible de medición directa.

Por esta razón, la turbulencia se relaciona con otro parámetro más fácil de determinar, como es la estratificación atmosférica; con estratificación denominada estable la turbulencia tiende a ser suprimida y con estratificación inestable la turbulencia tiende a ser aumentada. Existe además una estratificación neutra, donde la turbulencia no es ni suprimida ni aumentada. [8]

El concepto de estratificación atmosférica permite clasificar el estado de la atmósfera en categorías de estabilidad, correspondiendo a cada una de estas categorías un grado de desarrollo de la turbulencia. Son las categorías de estabilidad las que se tienen en cuenta en los cálculos de concentración de contaminantes a nivel del suelo, aparte de la velocidad del viento. Su determinación es sencilla a partir de la altura del sol durante el día, la cobertura de nubes y la velocidad del viento; siendo estos dos últimos parámetros recogidos normalmente por los observatorios meteorológicos. [8]

2.4.2 Evaluación del impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental tiene hoy diferentes sentidos. Por este término, se designan diferentes metodologías, procedimientos o herramientas, que se emplean por agentes públicos y privados en el campo de la planificación y la gestión ambiental. Se utiliza para describir los impactos ambientales resultantes de los proyectos de ingeniería, de obras o actividades humanas de cualquier tipo, tanto incluyendo los impactos causados por los procesos productivos, como los productos de esa actividad. También se emplea para describir los impactos que pueden provenir de una determinada instalación a ser implantada, así como para designar el estudio de los impactos que ocurrieron o están ocurriendo como consecuencia de un conjunto de acciones humanas.

Evaluación del impacto, simplemente definida, es el proceso de identificar las consecuencias futuras de una acción presente o propuesta. [9]

2.4.3 Inventario de emisiones

El inventario de emisiones es un componente clave de todo programa de gestión de la calidad del aire. Antes de desarrollar estrategias para mejorar la calidad del aire, debe recopilarse información sobre las emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisiones, cantidades de contaminantes emitidos, características

temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en la región. El inventario de emisiones se usa para identificar fuentes que están sujetas a posibles medidas de control, para medir la efectividad de los programas de control y predecir futuros niveles de calidad del aire a través de modelación. Los datos de emisiones también se utilizan para evaluar la relación costo-efectividad de posibles estrategias de control de la contaminación.

Los inventarios de emisiones se emplean durante todo el proceso de la planeación y la gestión de la calidad del aire. Los datos que contiene el inventario se emplean como puntos iniciales de referencia, también para entender los orígenes de las emisiones en el área. El inventario de emisiones proporciona una visión general de posibles causas del no-cumplimiento de las normas de calidad del aire, especialmente durante condiciones meteorológicas adversas. Además, el inventario juega un papel muy importante al proporcionar la información clave para los modelos de calidad del aire, incluyendo lo siguiente:

- Tipos de fuente
- Tipos de contaminantes
- Tasas de emisión
- Ubicación de las fuentes
- Alturas de las chimeneas y otros puntos de emisiones
- Proyecciones futuras de emisiones [10]

2.4.4 Contaminantes a considerar en un inventario de emisiones

En general, un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia emitida a la atmósfera que altere la composición natural del aire y pueda ocasionar efectos adversos en seres humanos, animales, vegetación o materiales. En este sentido, el propósito u objetivos de un inventario de emisiones determinan los

contaminantes que deben ser incluidos. Por ejemplo, en un inventario de contaminantes el criterio deberá incluir hidrocarburos totales (HCT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas con diámetro aerodinámico menor que 10 micras (PM10) y plomo (Pb). Por otro lado, un inventario de ozono deberá enfocarse en los precursores de este compuesto, es decir, compuestos orgánicos totales (COV), CO y NO_x . Finalmente, un inventario de visibilidad incluirá emisiones de SO_x , NO_x , partículas finas [diámetro aerodinámico menor que 2,5 micras (PM2.5)], carbón elemental (Cele), carbón orgánico (COT) y amoníaco (NH_3) [10].

Una vez que los contaminantes que deben ser incluidos en el inventario han sido identificados, es importante definir claramente a cada uno de ellos, con el objetivo de que todos los datos recopilados sean consistentes y arrojen resultados precisos sobre su emisión a la atmósfera. Si bien existe una «terminología convencional para los contaminantes», se recomienda que todos sean definidos por escrito al inicio del esfuerzo de inventario, con el objetivo de reducir la confusión con respecto a las sustancias a ser inventariadas. Cabe señalar que muchos contaminantes son definidos por sus nombres químicos y que, con frecuencia, pueden tener sinónimos y nombres comerciales.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Suelen presentar una cadena con un número de átomos de carbono inferior a doce, y contienen otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Su número supera el millar, pero los más abundantes en el aire son metano, tolueno, n-butano, i-pentano, etano, benceno, n-pentano, propano y etileno. Tienen un origen tanto natural (COV biogénicos) como antropogénicos (debido a la evaporación de disolventes orgánicos, a la quema de combustibles, al transporte, etc.). Participan activamente en numerosas reacciones, en la tropósfera y

en la estratósfera, contribuyendo a la formación del *smog* fotoquímico y al efecto invernadero.

Los compuestos orgánicos son emitidos a la atmósfera por diversas fuentes. Sin embargo, en general se considera que los compuestos orgánicos son emitidos, principalmente, por fuentes de combustión o de evaporación. [10]

2.4.5 Categorías de fuentes de emisiones

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos domésticos de limpieza y pinturas. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales [10]:

- Fuentes puntuales o fijas
- Fuentes de área
- Fuentes de vehículos automotores
- Fuentes naturales

2.4.5.1 Fuentes puntuales o fijas

Las fuentes puntuales pueden ser inventariadas en los siguientes tres niveles de detalle (que se ilustran en la figura 2.1):

- Nivel de planta, lo cual incluye las emisiones de las diversas actividades emisoras de contaminantes en un mismo establecimiento;
- Nivel de punto de emisión o de chimenea, que es en donde ocurren físicamente las emisiones de contaminantes;

- Nivel de proceso, que representa las emisiones de operaciones o procesos unitarios típicos de una categoría de fuente.

Siempre que sea posible, las emisiones deben ser inventariadas a nivel de proceso para apoyar la planeación y la gestión de la calidad del aire en actividades tales como el desarrollo y actualización de la regulación, la vigilancia y certificación del cumplimiento normativo, y el otorgamiento de licencias. Por ejemplo, se requiere estimar las emisiones por proceso o equipo para identificar los posibles efectos al aplicar una regulación y, posteriormente, estimar los costos y beneficios de dicha regulación.

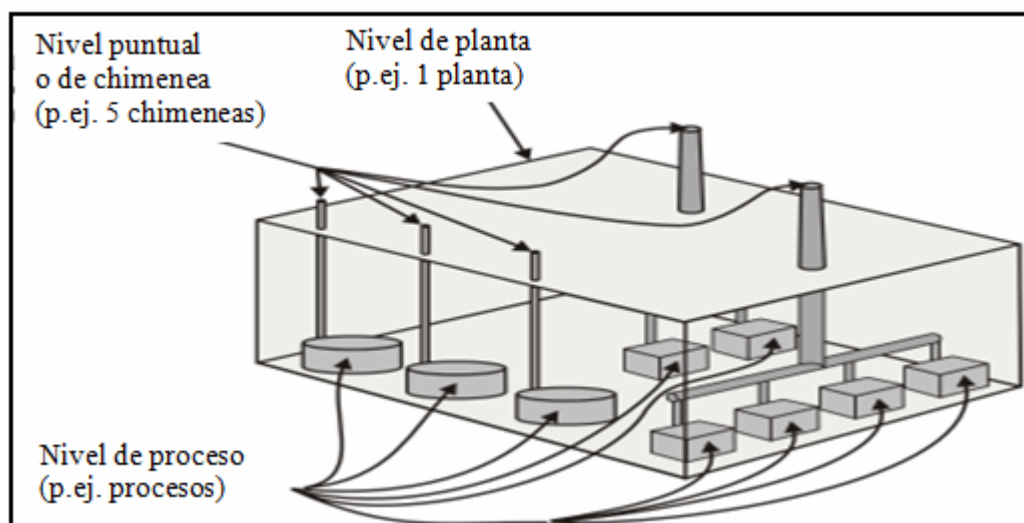


Figura 2.1. Niveles de inventario de emisiones en fuentes puntuales o fijas [10].

2.4.6 Técnicas básicas de estimación de emisiones

Las seis técnicas para la estimación de emisiones básicas que se describen a continuación representan los métodos más comunes para desarrollar inventarios de emisiones y que actualmente se utilizan en Norteamérica, Latinoamérica, Europa y Asia, e incluyen criterios y lineamientos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EEUU, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el

Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y otras instituciones de referencia internacional. Dichas técnicas para la estimación de emisiones son [10]:

- Muestreo en la fuente: se trata de mediciones directas de la concentración de contaminantes con información conocida sobre el flujo másico o volumétrico de los gases de salida en la chimenea. Esta técnica se utiliza con mayor frecuencia en fuentes de emisiones de combustión.
- Modelos de emisión: son ecuaciones desarrolladas para el cálculo de emisiones, cuando éstas dependen de multitud de parámetros. Por su complejidad, estos modelos normalmente requieren del uso de programas computacionales. Por ejemplo, el programa TANKS de la EPA es un modelo de emisiones computarizado que se usa para estimar emisiones de COV desde los tanques de almacenamiento de combustibles o solventes.
- Factores de emisión: expresan la relación existente entre la cantidad de un contaminante emitido y una unidad de actividad (p.ej., toneladas de producto elaborado, horas de operación, área superficial); también pueden relacionarse con información más general obtenida en censos (p. ej., población, número de empleados, ingreso per cápita, etc.)
- Balance de materiales: se basa en mediciones de todos los componentes de un proceso para determinar las emisiones al aire. Es utilizado con mayor frecuencia para fuentes de evaporación de solventes cuando no existe información disponible para utilizar otros métodos de estimación.
- Encuestas: son cuestionarios diseñados para obtener información sobre emisiones. A menudo son utilizados para recopilar información sobre los establecimientos industriales y de servicios, pero también para obtener

información de fuentes de área como parte de un muestreo representativo de fuentes dentro de una categoría dada.

- Extrapolación: consiste en el cálculo de las emisiones de una fuente con base en las emisiones de otra fuente, por medio del uso de un parámetro de extrapolación conocido para ambas fuentes; por ejemplo, cantidad de producción, área del terreno, número de empleados, etc.

2.4.7 Estimación de emisiones mediante factores de emisión

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los factores de emisión, en general, se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo general, los primeros se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o en balances de materiales. Por otro lado, los factores de emisión basados en censos se usan generalmente para estimar emisiones de fuentes de área. La fuente más completa de factores de emisión específicos para los EEUU, para los contaminantes criterio es la publicación AP-42 Recopilación de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire (*EPA, 1995a*) (*AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors*) [10].

La ecuación para la estimación de emisiones mediante factores de emisión es la siguiente [10]:

$$E = A \times EF \quad (\text{Ec.2.1})$$

y para la reducción de emisiones después de los controles se aplica [10]:

$$E = A \times EF (1 - ER/100) \quad (\text{Ec.2.2})$$

donde:

E: tasa de emisión

A: tasa de actividad (p.ej., producción, población, etc.)

EF: factor de emisión (kg de contaminante/unidad de tasa de actividad)

ER: eficiencia global de reducción de emisiones, %.

2.4.7.1 Factores de emisión basados en procesos

En muchos países se han realizado múltiples estudios para determinar las tasas de emisión promedio de diferentes procesos que son fuentes de emisiones. Puesto que con frecuencia no se requiere ni es económicamente factible hacer un muestreo en cada fuente de emisión, se usan los resultados de muestreos de «fuentes representativas» para desarrollar factores de emisión, los cuales se expresan como unidades de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Entre las unidades de proceso más comunes se encuentran el consumo de energía, el consumo de materia prima, las unidades de producción, el calendario de operación, o el número de dispositivos ó las características de éstos. Por ejemplo, lb/ MMBtu, lb/gal, lb/lote, lb/h ó lb/pie² [área superficial].

2.4.8 Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes

Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (p.ej., cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc.). Para ciertas categorías de fuente, la relación funcional entre las emisiones, procesos múltiples y las variables ambientales se estudia lo suficientemente para dar lugar a modelos matemáticos complejos. Si estos modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos, es probable que se apoyen en programas de cómputo.

Los modelos de emisión pueden clasificarse en tres tipos: adaptativos, mecánicos y de múltiples variables. Los primeros están basados en programas de cómputo que integran conceptos de redes neurales, lógica tipo *fuzzy* y sistemas caóticos (Collins and Terhune, 1994). Sin embargo, por su complejidad y costo estos modelos no se recomiendan para la estimación de emisiones, por lo que los ejemplos

que se presentan corresponden solamente a modelos mecanísticos y de múltiples variables.

2.4.8.1 Modelos mecanísticos

Los modelos mecanísticos se basan en ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos de química, física y biología, para describir la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular. Por ejemplo, una fuente importante de COVs para la cual se pueden calcular las emisiones utilizando modelos mecanísticos son las operaciones de almacenamiento y manejo de derivados del petróleo (p.ej., tanques de almacenamiento superficiales y subterráneos; carga de carros-tanque, pipas y buques-tanque; y carga de gasolina en las estaciones de servicio).

A. Tanques de almacenamiento

Las ecuaciones de modelos de emisión de la EPA para tanques de almacenamiento constituyen uno de los mejores ejemplos de modelos mecanísticos. Se han desarrollado modelos de emisiones tanto para tanques de techo fijo como para tanques de techo flotante. En el modelo de tanques de almacenamiento de techo fijo se aplican entre otros, principios de transferencia de calor a las pérdidas por respiración en el modelo.

A.1 Tanques de techo fijo

Los dos tipos de emisiones más significativas de los tanques de almacenamiento de techo fijo son las pérdidas en reposo denominadas también pérdidas por respiración y las pérdidas en operación. Las primeras consisten en la expulsión de vapor del tanque debidas a la expansión y la contracción del vapor, que son resultado de los cambios en la temperatura y en la presión barométrica. Estas pérdidas se presentan sin ningún cambio en el nivel del tanque. La pérdida combinada por el llenado y el vaciado se conoce como pérdida en operación. La evaporación durante las operaciones de llenado es resultado de un aumento en el nivel del líquido en el tanque. A medida que el nivel del líquido aumenta, la presión dentro del tanque

rebasa la presión de alivio y se expulsan vapores del tanque. La pérdida evaporativa durante el vaciado del líquido se presenta cuando el aire arrastrado hacia el tanque durante la remoción del líquido se satura con vapores orgánicos y se expande, excediendo así la capacidad del espacio de vapor.

Las emisiones de los tanques de techo fijo varían en función de la capacidad del contenedor, la presión de vapor del líquido almacenado, la tasa de utilización del tanque y las condiciones atmosféricas del lugar donde se encuentra el tanque. A continuación se resumen las ecuaciones del modelo de emisión. Las ecuaciones detalladas pueden encontrarse en el AP-42, Sección 7.1. Los parámetros requeridos y los valores por omisión se presentan en la tabla 2.1.

Las pérdidas totales de emisión en los tanques de techo fijo son definidas como [10]:

$$LT = LS + LW \quad (\text{Ec.2.3})$$

donde:

LT: pérdidas totales, lb/año

LS: pérdidas en reposo, lb/año

LW: pérdidas en operación, lb/año.

Las pérdidas en reposo (respiración) [10]:

$$LS = 365 \times V_v \times W_v \times KE \times KS \quad (\text{Ec.2.4})$$

donde:

V_v : volumen del espacio de vapor, pie^3

W_v : densidad del vapor, lb/ pie^3

KE: factor de expansión del espacio del vapor, adimensional

KS: factor de saturación del vapor venteado, adimensional

Las pérdidas en operación (trabajo) [10]:

$$LW = 0,0010 \times MV \times PVA \times Q \times KN \times KP \quad (\text{Ec.2.5})$$

donde:

MV: peso molecular del vapor, lb/lb-mol

PVA: presión del vapor a la temperatura promedio diaria del líquido, lb/pulg² absoluta

Q: flujo neto anual, bbl/año

KN: factor de producción, adimensional

KP: factor de pérdida de producto en la operación, adimensional. (0,75 para petróleos crudos, 1,0 para los demás líquidos orgánicos)

Tabla 2.1 Parámetros requeridos y valores por omisión en tanques de techo fijo [10].

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN
Diámetro del tanque	D	
Altura de la envolvente del tanque	H _s	
Altura del líquido del tanque	H _L	
Pendiente del techo cónico del tanque	S _R	0,0625
Radio del techo del tanque	R _R	Diámetro del tanque (D)
Capacidad del tanque	V _{LX}	
Absorción solar de la pintura del tanque	a	0,17(p.ej., pintura blanca en buenas condiciones)
Color de la pintura del tanque	Se utiliza para determinar a	
Condición de la pintura del tanque	Se utiliza para determinar a	

Presión preestablecida en la válvula de alivio del tanque	P_{EP}	0,03 psig
Presión de vacío preestablecida en la válvula de alivio del tanque	P_{EV}	-0,03 psig
Gasto o flujo del material	Q	
Peso molecular del vapor del material	M_V	Valores proporcionados de acuerdo a peso molecular de productos petroquímicos selectos
Presión de vapor del material a las temperaturas promedio máxima y mínima de la superficie del líquido	$P_{VA}, P_{VX}, y P_{VN}$ $T_{LA}, T_{LX} y T_{LN}$	Valores proporcionados de acuerdo a presión de vapor de productos petroquímicos selectos. Las correlaciones de la presión de vapor basadas en RVP (presión de vapor Reid) y S están disponibles para diversos petróleos crudos y productos refinados de petróleo.
Presión de vapor Reid del material	RVP	Valores proporcionados para productos refinados de petróleo selectos
Pendiente de destilación del material	S	Valores proporcionados para productos refinados de petróleo selectos
Temperaturas ambiente locales diarias, máxima y mínima	T_{AX} y T_{AN}	Valores proporcionados para diversas localidades
Factor de insolación total en la localidad	I	Valores proporcionados para diversas localidades

B. Software TANKS 4.09 de la EPA

El programa TANKS está diseñado para estimar las emisiones de COVs de tanques de almacenamiento. El usuario da la información específica sobre el tanque y su contenido, y el programa estima las emisiones anuales o estacionales y genera un reporte. Las emisiones se pueden dividir en pérdidas de respiración y pérdidas por operación. Sin embargo, existe una desventaja al usar el programa TANKS o las

ecuaciones del AP-42, ya que se requieren más recursos para reunir los datos de entrada que si se usaran otras aproximaciones. El programa TANKS tiene una base de datos sobre productos químicos para más de 100 líquidos orgánicos, y datos meteorológicos de más de 250 ciudades en EU. El usuario puede añadir nuevas sustancias y ciudades (con datos meteorológicos) a su propia versión de la base de datos. Los estilos de tanque incluidos en el programa incluyen tanques de techo fijo, tanto verticales como horizontales, y tanques de techo flotante tanto interno como externo. El tanque puede contener uno o múltiples componentes líquidos. Las ecuaciones para estimar emisiones que forman la base del software fueron desarrolladas por el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés). [10]

2.4.9 Emisiones fugaces

Las emisiones fugaces se estiman multiplicando el número de componentes incluidos en la instalación por los factores apropiados. Un componente es cualquier pieza de equipo que puede perder: conexiones, bridas, válvulas, sellos de bombas, sellos de compresores, drenajes, etc.

Los factores de emisiones fugaces presentados para instalaciones petroleras y de gas fueron desarrollados para el Instituto Americano del Petróleo (Publicación API Número 4615, enero 1995). Se discute una amplia variedad de instalaciones: producción de petróleo crudo liviano y pesado, producción de gas, plantas de gas, y producción de gas/petróleo costa afuera. El estudio indicó que no había diferencias en los factores de emisión entre estos tipos de instalaciones, para pérdidas, no emisores y valores calificados en el rango de 10-9.999ppmv. [11]

Determinar la cantidad de cada tipo de componente puede tomar mucho tiempo. Los tipos de componentes pueden estimarse aplicando los siguientes métodos:

- Conteo físico de los componentes en la instalación.
- Conteo basado en los planos de construcción (suponiendo que los planos están actualizados).
- Valores típicos para una planta de complejidad similar.

2.5 Principios de transferencia de masa

2.5.1 Ley de Fick para la difusión molecular

La difusión o transporte molecular puede definirse como la transferencia (o desplazamiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas.

La ecuación general de la ley de Fick puede escribirse como sigue para una mezcla binaria de A y B [12]:

$$J_{AZ}^* = -cD_{AB} \frac{dx_A}{dz} \quad (\text{Ec.2.6})$$

donde:

c : concentración total de A y B (kg mol de A + B/m³).

x_A : fracción molar de A en la mezcla de A y B.

Si c es constante, entonces, puesto que $c_A = cx_A$, [12]:

$$cdx_A = d(cx_A) = dc_A \quad (\text{Ec.2.7})$$

Sustituyendo la ecuación 2.7 en la ecuación 2.6 se obtiene la ecuación 2.8 para una concentración total (A+B) constante:

$$J_{AZ}^* = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \quad (\text{Ec.2.8})$$

Esta ecuación es la de uso más común en muchos procesos de difusión molecular.

2.5.2 Difusión molecular en gases

A. Caso general para la difusión de los gases A y B más convección

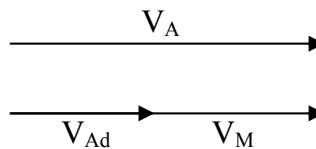
En este caso se considera lo que sucede cuando la totalidad del fluido se mueve con un flujo general o convectivo hacia la derecha. La velocidad molar promedio de la totalidad del fluido con respecto a un punto estacionario es V_M m/s. El componente A sigue difundiéndose hacia la derecha, pero ahora, su velocidad de difusión V_{Ad} se mide con respecto al fluido en movimiento. Para un observador estacionario, A se desplaza con mayor rapidez que la fase total, pues su velocidad de difusión V_{Ad} se añade a la de la fase total V_M . Expresada matemáticamente, la velocidad de A con respecto al punto estacionario es la suma de la velocidad de difusión y de la velocidad convectiva o promedio [12]:

$$V_A = V_{Ad} + V_M \quad (\text{Ec.2.9})$$

donde:

V_A : velocidad de A con respecto al punto estacionario.

Expresándolo esquemáticamente:



Multiplicando la ecuación 2.9 por C_A :

$$C_A V_A = C_A V_{Ad} + C_A V_M \quad (\text{Ec.2.10})$$

Cada uno de estos tres componentes es un flujo específico. El primer término, $C_A V_A$ puede representarse por el flujo específico N_A kg mol A/s m^2 . Este es el flujo

específico total de A con respecto al punto estacionario. El segundo término es J_A^* , es decir, el flujo específico de difusión con respecto al fluido en movimiento. El tercer término es el flujo convectivo específico de A con respecto al punto estacionario. Por consiguiente, la ecuación (2.10) se transforma en:

$$N_A = J_A^* + C_A V_M \quad (\text{Ec.2.11})$$

Sea N el flujo convectivo total de la corriente general con respecto al punto estacionario. Entonces [12]:

$$N = cV_M = N_A + N_B \quad (\text{Ec.2.12})$$

ó, despejando V_M ,

$$V_M = \frac{N_A + N_B}{C} \quad (\text{Ec.2.13})$$

Sustituyendo la ecuación 2.11 en la 2.9

$$N_A = J_A^* + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B) \quad (\text{Ec.2.14})$$

Puesto que J_A^* es la ley de Fick, ecuación 2.8,

$$N_A = -cD_{AB} \frac{dx_A}{dz} + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B) \quad (\text{Ec.2.15})$$

La ecuación 2.15 es la expresión general final para difusión más convección, que debe usarse cuando se emplea N_A y se refiere a un punto estacionario. Puede escribirse una ecuación similar para N_B :

$$N_B = -cD_{AB} \frac{dx_B}{dz} + \frac{C_B}{C} (N_A + N_B) \quad (\text{Ec.2.16})$$

Las ecuaciones 2.15 y 2.16 son válidas para la difusión de gases, líquidos o sólidos.

B. Caso especial de A difundiéndose a través de B estacionario

El caso de la difusión de A a través de B, que está estacionario y no se difunde, es una situación de estado estacionario bastante frecuente. En este caso, algún límite al final de la trayectoria de difusión es impermeable al componente B; por lo que éste no puede atravesarlo. Un ejemplo es el que se muestra en la figura 2.2 para la evaporación de un líquido puro como el benceno (A) en el fondo de un tubo estrecho, por cuyo extremo superior se hace pasar una gran cantidad de aire (B) inerte o que no se difunde. El vapor de benceno (A) se difunde a través del aire (B) en el tubo. El límite en la superficie líquida en el punto 1 es impermeable al aire, pues éste es insoluble en el benceno líquido. Por consiguiente, el aire (B) no puede difundirse en la superficie o por debajo de ella.

En el punto 2, la presión parcial $p_{A2} = 0$, pasa un gran volumen de aire. De esta forma, y puesto que B no puede difundirse, $N_B = 0$.

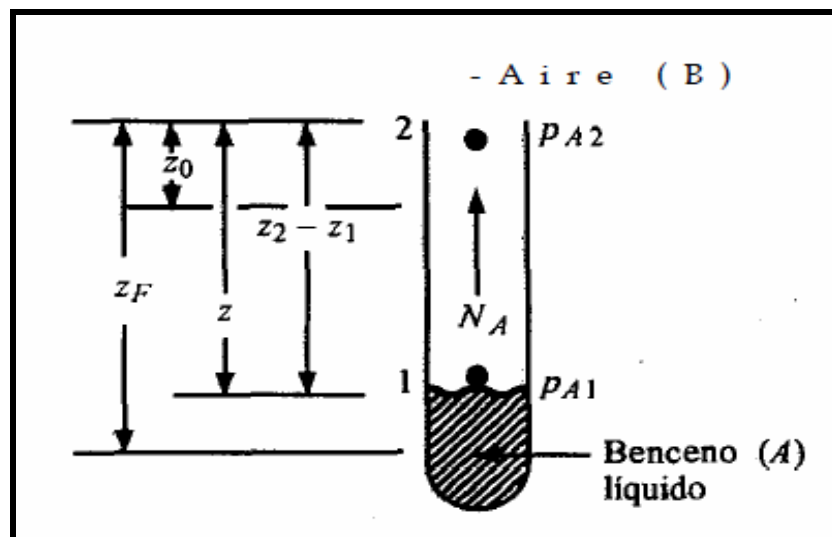


Figura 2.2. Benceno que se evapora al aire [12].

Para deducir el caso de A que se difunde en B estacionario, en la ecuación general 2.15 se sustituye $N_B = 0$,

$$N_A = -cD_{AB} \frac{dx_A}{dz} + \frac{C_A}{C} (N_A + 0) \quad (\text{Ec.2.17})$$

Manteniendo constante la presión total P, sustituyendo $c = P / RT$, $p_A = x_A \times P$ y $c_A/c = p_A/P$ en la ecuación 2.17:

$$N_A = - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{dp_A}{dz} + \frac{P_A}{P} N_A \quad (\text{Ec.2.18})$$

Integrando,

$$N_A \times \left(1 - \frac{P_A}{P}\right) = - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{dp_A}{dz} \quad (\text{Ec.2.19})$$

$$N_A \int_{z_1}^{z_2} dz = - \frac{D_{AB}}{RT} \int_{P_{A1}}^{P_{A2}} \left(\frac{1}{1 - P_A/P}\right) dp_A \quad (\text{Ec.2.20})$$

$$N_A = \frac{D_{AB}P}{RT(z_1 - z_2)} \ln \frac{P - P_{A2}}{P - P_{A1}} \quad (\text{Ec.2.21})$$

La ecuación 2.21 es la expresión final adecuada para calcular el flujo de A. Sin embargo, con frecuencia se escribe también en otra forma. Primero se define un valor de media logarítmica de B inerte. Puesto que $P = P_{A1} + P_{B1} = P_{A2} + P_{B2}$ [12]:

$$P_{B1} = P - P_{A1} \quad \text{y} \quad P_{B2} = P - P_{A2}$$

$$P_{BM} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln(P_{B2}/P_{B1})} = \frac{P_{A1} - P_{A2}}{\ln[(P - P_{A2})/(P - P_{A1})]} \quad (\text{Ec.2.22})$$

Sustituyendo la ecuación 2.22 en la 2.21

$$N_A = \frac{D_{AB}P}{RT(z_1 - z_2)P_{BM}} (P_{A1} - P_{A2}) \quad (\text{Ec.2.23})$$

2.5.3 Coeficientes de difusión para gases

La difusividad de una mezcla binaria de gases en la región de gases diluidos, esto es, a presiones bajas cercanas a la atmosférica, se puede predecir mediante la teoría cinética de los gases. Se supone que el gas consta de partículas esféricas rígidas completamente elásticas en sus colisiones con otras moléculas, lo que implica conservación del momento lineal. En un tratamiento simplificado, se supone que no hay fuerzas de atracción o de repulsión entre las moléculas.

Se usa con más frecuencia el método semiempírico de Fuller y colaboradores [12]. Esta ecuación se obtuvo correlacionando muchos datos de reciente obtención y usa los volúmenes atómicos de la tabla 2.2, que se suman para cada molécula de gas. Esta ecuación es[12]:

$$D_{AB} = \frac{1,00 \times 10^{-7} T^{1,75}}{P[(\sum v_A)^{1/3} + (\sum v_B)^{1/3}]^2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2} \quad (\text{Ec.2.24})$$

Tabla 2.2 Volúmenes de difusión atómica para el modelo de Fuller, Schettler y Giddings [12].

Componente	Volumen atómico
C	16,5
H	1,98
O	5,48
N	5,69
S	17,0
Aire	20,1

donde:

$\sum v_A$: suma de incrementos de volúmenes estructurales.

D_{AB} : difusividad (m^2/s).

La ecuación 2.24 muestra que D_{AB} es proporcional a $1/P$ y a $T^{1,75}$. [12]

2.6 Software disper 4.0

El programa está basado en el modelo ISCST3 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). En dicho modelo, la contaminación del aire producida por chimeneas emisoras se modela mediante penachos gaussianos independientes del tiempo (en régimen estacionario). La dirección del penacho, su altura efectiva y el semiancho que posee dependen de las condiciones atmosféricas (como son la dirección del viento, la estabilidad atmosférica, la temperatura del aire, etc.) y del foco emisor (velocidad de salida del contaminante, temperatura del gas, etc.). A pesar de que las emisiones son evaluadas en el régimen estacionario, el programa es capaz de realizar promedios temporales y, de esta manera, evaluar situaciones que sí dependen del tiempo. La base del modelo es el uso de una ecuación gaussiana e independiente del tiempo que simula el penacho de humo que se genera en la atmósfera por un emisor. El modelo gaussiano es un modelo analítico que integra la ecuación de transporte-difusión después de suponer ciertas hipótesis. Puede considerar fuentes puntuales, lineales y áreas superficiales (difusas).

2.6.1 Aplicaciones del software Disper 4.0

El software Disper 4.0 se aplica principalmente en [13]:

- Ideal para estudios de impacto ambiental, auditorías ambientales y para la gestión ambiental en general ya que permite evaluar los efectos posibles de una gran cantidad de fuentes de contaminación atmosférica como son: chimeneas, carreteras y vías de circulación, líneas férreas, vertederos al aire libre, incendios forestales, movimientos de tierra por obras, minas a cielo abierto, aplicaciones de pesticidas en cultivos, etc.

- Evalúa de una manera rápida y sencilla la dispersión de cualquier contaminante atmosférico en el aire de menos de 10 micras de diámetro: CO₂, NO₂, sulfatos, metales pesados, compuestos inorgánicos, clorofluorocarbonos, contaminantes secundarios, compuestos inorgánicos, óxidos, anhídridos, metales contaminantes, ozono, óxido nitroso, benceno, alcanos, compuestos orgánicos, sustancias organolépticas, anhídrido carbónico, amoníaco, bióxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, pesticidas, plomo, arsénico, clorofluorocarbonados, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, fotoquímicos, lluvia ácida, *smog*, etc.
- Para fuentes contaminantes ya existentes, permite obtener mapas de las concentraciones de contaminantes que pueden ser complementarios de las medidas reales de estaciones que toman datos en un único punto del terreno
- Permite construir de una manera gráfica el escenario sobre el que se va a producir la simulación actuando interactivamente con el usuario de tal manera que se puedan diseñar carreteras, chimeneas, etc., atendiendo a sus efectos ambientales.
- Permite realizar estudios de riesgo en industrias contaminantes, ya que puede evaluar la contaminación bajo condiciones teóricas extremas (excesiva emisión, vientos fijos, etc.).

2.7 Técnicas para la minimización de emisiones de gases contaminantes

La minimización de emisiones es la reducción, en la extensión de lo posible, de las emisiones generadas o subsecuentemente tratadas o descargadas. Consiste en actividades que disminuyen la cantidad o volumen total de las emisiones y/o la toxicidad de las mismas, y tiene como objetivo principal la reducción de los riesgos presentes y futuros a la salud humana y al ambiente.

Para minimizar las emisiones de una operación contaminante se dispone de cuatro categorías básicas, que son: control de inventario, modificaciones de producción/producto, reducción de volumen y recuperación/reutilización, que se detallan a continuación [14]:

- **Control de inventario**

El control adecuado sobre los materiales empleados en los procesos de fabricación es una medida importante que reduce la generación de emisiones. Disminuyendo tanto la cantidad de materiales peligrosos empleados en los procesos, como el exceso de materiales almacenados de reserva, se puede disminuir la cantidad de emisiones y residuos. Dentro de la categoría de control de inventario se incluyen las siguientes prácticas:

- a) Procedimientos de revisión y aprobación de las materias primas adquiridas: mediante esta práctica se determina si la materia prima contiene sustancias peligrosas y, en caso de contenerlas, determinar si hay disponibilidad y factibilidad de emplear sustitutos no peligrosos.
- b) Ordenar las cantidades necesarias de materia prima, manteniendo un estricto control del inventario.

- c) Incluir procedimientos de revisión en los casos de fabricación de productos nuevos: esto permite evaluar las características de las materias primas y del proceso de fabricación.

La técnica de control de inventario es apropiada para cualquier tipo de industria y está creciendo en aplicación, ya que tiene la gran ventaja de que no es costosa ni difícil de implantar. Es considerada una técnica de minimización “en sitio”, es decir, de aplicación en las instalaciones de proceso.

- **Modificaciones de producción / producto**

Dentro de esta categoría, existen tres técnicas de minimización: mejoramiento y mantenimiento de las prácticas de manufactura, cambio de materiales y productos, y modificaciones de los procesos o de los equipos. Cada una de estas técnicas “en sitio” se discute a continuación:

- a. Aseguramiento de buenas prácticas de manufactura, mejoramiento de los procesos y seguimiento de los programas de mantenimiento.

El mejoramiento de los procesos de operación y mantenimiento puede reducir significativamente las emisiones, pero usualmente esta técnica ha tenido poca prioridad dentro del marco de minimización. Existen numerosas opciones para operar un proceso al máximo de su eficiencia y, en la mayoría de los casos, son opciones poco costosas. Para lograr esto se requiere optimizar el uso de las materias primas a través de prácticas operacionales estándar, lo cual también contribuye a reducir las pérdidas de materiales. Las prácticas operacionales estándar se desarrollan partiendo de una revisión detallada de todos los segmentos del proceso y estudiando las posibilidades de hacerlos más eficientes. Un área de suma importancia en las operaciones de fabricación la constituye el manejo de los materiales. Esto incluye almacenamiento de materias primas, de productos, de residuos y la transferencia de

cada uno de ellos dentro del proceso, en las instalaciones de planta. Una vez establecidas las prácticas operacionales estándares, éstas deben ser documentadas y formar parte del entrenamiento del personal.

Las fallas en los equipos de planta, que son fuentes potenciales de generación de emisiones, pueden ser corregidas mediante un programa de mantenimiento preventivo y correctivo. Además, este tipo de programas permite al personal identificar otras posibles fuentes de emisiones y corregirlas antes de que haya pérdida de materiales. Se deben mantener registros precisos de las fechas y actividades de mantenimiento, así como informes regulares y actualizados de la condición de los equipos. Conjuntamente con los procedimientos operacionales estándar y los programas de mantenimiento, es imprescindible el entrenamiento del personal que labora en operaciones de manejo, producción y mantenimiento.

b. Cambio de materiales y productos.

Dentro de esta técnica existen a su vez dos grupos, cada uno referido al recurso que se maneja. El primer grupo corresponde a los productos y las técnicas de minimización, que a su vez se dividen en: sustitución de productos y cambios en la composición del producto. El segundo grupo se relaciona con los materiales, e igualmente se tienen las siguientes técnicas: purificación de materiales, sustitución de materiales y uso de materias primas menos dañinas al ambiente.

- Sustitución de producto: esta operación consiste en reemplazar un producto con otro diferente, previsto para el mismo uso intermedio o definitivo.
- Cambios en la composición del producto: los productos compatibles con el ambiente minimizan los efectos negativos al mismo, en su elaboración, uso y disposición final. El impacto ambiental de un producto es, básicamente, determinado durante la fase de diseño. Los cambios en el diseño del producto que tengan como

objetivo evitar la contaminación, deben ser implantados de tal manera que ni la calidad, ni la función del producto se vean alteradas.

- Purificación de materiales: si se considera que los procesos son etapas de purificación, el uso de materias primas de mayor pureza genera menos residuos.
- Sustitución de materiales: las materias primas peligrosas o contaminantes utilizadas en la formulación de un producto o en el proceso de producción, pueden ser sustituidas por materiales menos peligrosos, con la ventaja de que los productos de descarga serán inocuos a la atmósfera. Esta técnica de minimización puede requerir, en algunos casos, ligeros ajustes en el proceso o cambios sustanciales de éste. Cuando esta técnica puede ser aplicada, los resultados son muy satisfactorios a un bajo costo.
- Uso de materias primas menos dañinas al ambiente: esta técnica puede solaparse con la técnica de cambios de producto, en lo que se refiere a la revisión de la formulación de un producto para descartar la utilización de materias primas contaminantes. Un producto puede ser fabricado mediante varios procesos que difieren entre sí; por lo tanto conviene estudiar el proceso que requiera insumos de materias primas menos dañinas al ambiente, de manera de reducir los residuos contaminantes asociados a las operaciones de transformación.

c. Modificaciones de los procesos o de los equipos.

La generación de emisiones puede reducirse significativamente mediante la instalación de procesos y equipos eficientes, o mediante la modificación de los equipos existentes para aprovechar las ventajas de mejores procedimientos de operación. Estas técnicas pueden incluir la modificación de los sistemas de control, automatización de ciertas operaciones, modificaciones para la conservación de materias primas y ajuste de los parámetros de proceso. En muchos casos, el uso de procesos y equipos más eficientes necesariamente involucra el cambio a materiales menos contaminantes, y ambos factores determinan una significativa reducción de los

residuos y emisiones. En la industria petrolera se han desarrollado modificaciones en los procesos, haciendo énfasis en operaciones continuas automatizadas, controladas por computadoras, y en sistemas completamente contenidos o cerrados que minimizan la descarga de materiales a la atmósfera.

- **Reducción de volumen**

Las técnicas de reducción de volumen se refieren a la remoción de la porción contaminante de una corriente, separándola del resto de la misma. Las técnicas se emplean para reducir el volumen de los residuos y, como consecuencia, disminuir los costos de disposición final. Esta categoría se divide en dos grupos: segregación y concentración, las cuales se discuten a continuación.

a. Segregación: esta técnica, ampliamente utilizada para efluentes, consiste en el manejo y disposición por separado de las corrientes contaminantes, desde que son generadas, evitando mezclarlas o diluirlas con otras corrientes de proceso. Esto permite disminuir el volumen de residuos, los costos de disposición y adicionalmente, el contaminante no diluido puede tener uso en otras operaciones, o someterse a recuperación de algún componente valioso.

b. Concentración: mediante procesos físicos es posible reducir el volumen de corrientes residuales. Comúnmente estos procesos retiran una porción no contaminante de la corriente, concentrándose los componentes contaminantes que quedan en ésta.

- **Recuperación / Reutilización**

Dentro de esta categoría se incluyen las técnicas de reutilización y recuperación de materiales, las cuales contribuyen a reducir los costos de disposición final de los residuos, los costos de materias primas y, en algunos casos, se generan ganancias por

la venta de productos de valor. La efectividad de estas técnicas depende del proceso que genera la corriente de residuos, del volumen, composición y uniformidad de dicha corriente y del tipo de operación para reciclaje (“en sitio” o externo). El reciclaje externo se refiere a operaciones fuera de planta, cuando no hay disponibilidad de equipos para procesar los residuos en la planta, o cuando el volumen o cantidad de estos materiales no justifica implantar un sistema de reciclaje en la planta. Un material o corriente destinada a reutilizarse puede emplearse directamente en un proceso de fabricación de otro producto, ya sea como materia prima o como componente del proceso. Dentro de esta categoría, las corrientes procesadas para separar y aprovechar sus componentes como productos finales no se consideran reutilizadas. Por otro lado, las corrientes con productos ligeramente contaminados pueden emplearse en etapas de proceso que no requieran corrientes de alta pureza. Las corrientes residuales pueden someterse a diversos procesos de purificación, de manera de cumplir los requerimientos mínimos para ser reutilizadas. Igualmente, se tiene la opción de procesar las corrientes para obtener un producto útil al proceso, lo cual se conoce como recuperación. Esto se aplica en casos donde la corriente tiene altas concentraciones de constituyentes de interés.

2.8 Decreto 638 y los límites de emisión

El decreto 638 tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles, capaces de generar emisiones gaseosas y partículas. Las fuentes fijas que deben ser sometidas a este decreto son aquellas que corresponden a las actividades establecidas en la Clasificación Internacional Uniforme de las Naciones Unidas, en las que se encuentra la producción de petróleo y gas natural.

A los efectos de este decreto se establecen los siguientes límites de emisión de contaminantes del aire y de opacidad, para las fuentes fijas de contaminación atmosférica (tabla 2.3).

Tabla 2.3 Límites de emisión para los componentes orgánicos volátiles (COV) [15].

Contaminante	Actividad	ACTIVIDADES		Observaciones
		Existentes (mg/m ³)	Nuevas (mg/m ³)	
Compuestos orgánicos volátiles	Actividades que utilizan solventes orgánicos no reactivos fotoquímicamente	6,8 kg/d ó 1,3 kg/h	6,8 kg/d ó 1,3 kg/h	Solventes sometidos a procesos de calentamiento o contacto con llama
	Actividades que utilizan solventes orgánicos fotoquímicamente reactivos	15 kg/d ó 3 kg/h(i)	15 kg/d ó 3 kg/h(i)	Solventes no sometidos a procesos de calentamiento o contacto con llama

i) Comprenden todas las emisiones durante las doce (12) horas de secado siguientes a la última aplicación de solventes orgánicos o productos que los contienen. Por otra parte, los diferentes componentes de un proceso continuo constituyen una sola fuente fija. [15]

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Descripción del sistema de producción de gas del campo Santa Rosa

El proceso de producción de gas natural se inicia con la extracción de los hidrocarburos (petróleo y gas) del yacimiento o reservorio. Esto se hace a través de los pozos productores, los cuales están constituidos por una tubería de producción por donde sube el crudo hacia la superficie, arrastrando con él gas y agua.

En la superficie del pozo está instalado el cabezal del pozo (árbol de navidad), que es un juego de válvulas que permiten la comunicación desde la superficie con el interior del pozo. El cabezal del pozo está conectado a una tubería, llamada línea de flujo, a través de la cual fluye la mezcla petróleo-gas-agua hasta la estación de flujo.

En la estación de flujo la mezcla bifásica (líquido-gas) es separada. El equipo que se utiliza para ello se llama separador, el cual recibe el fluido proveniente de los pozos. La corriente líquida (petróleo + agua), es sometida a un tratamiento para separar las fases. El crudo pasa a los tanques de almacenamiento para su posterior comercialización y el agua es utilizada para inyección u otros usos.

Paralelamente, la corriente de gas que sale del separador fluye a través de una red de tuberías hacia las plantas compresoras o hacia plantas de extracción, dependiendo de la presión que ésta posea: si la presión es igual o cercana a los 1200 psig, el gas es enviado directamente a las plantas de extracción de líquidos para ser procesado; si la presión está por debajo de los 1200 psig (60, 250, y 500 psig), el gas se envía a las plantas compresoras donde es comprimido para alcanzar la presión de 1200 psig, necesaria para su transmisión hasta la planta de extracción.

En la figura 3.1 se ilustra un esquema del proceso general de producción del gas natural, donde se muestra con líneas punteadas lo que abarca el sistema de producción del campo Santa Rosa en estudio.

El sistema de producción del campo Santa Rosa está conformado por:

- Seis (6) estaciones de flujo
- El Complejo Santa Rosa (CSR)
- Fosas asociadas a cada una de las estaciones
- Pozos productores.

En las estaciones de flujo de este campo se efectúan operaciones de recolección, separación, almacenamiento y bombeo de los fluidos. En éstas no hay tratadores ya que el crudo que se produce es liviano casi condensado.

La evaluación se llevó a cabo en las estaciones, sus fosas asociadas y en los pozos excepto en el complejo.

Para llevar a cabo esta descripción se realizaron visitas al campo en estudio y por cada una de las instalaciones que la conforman.

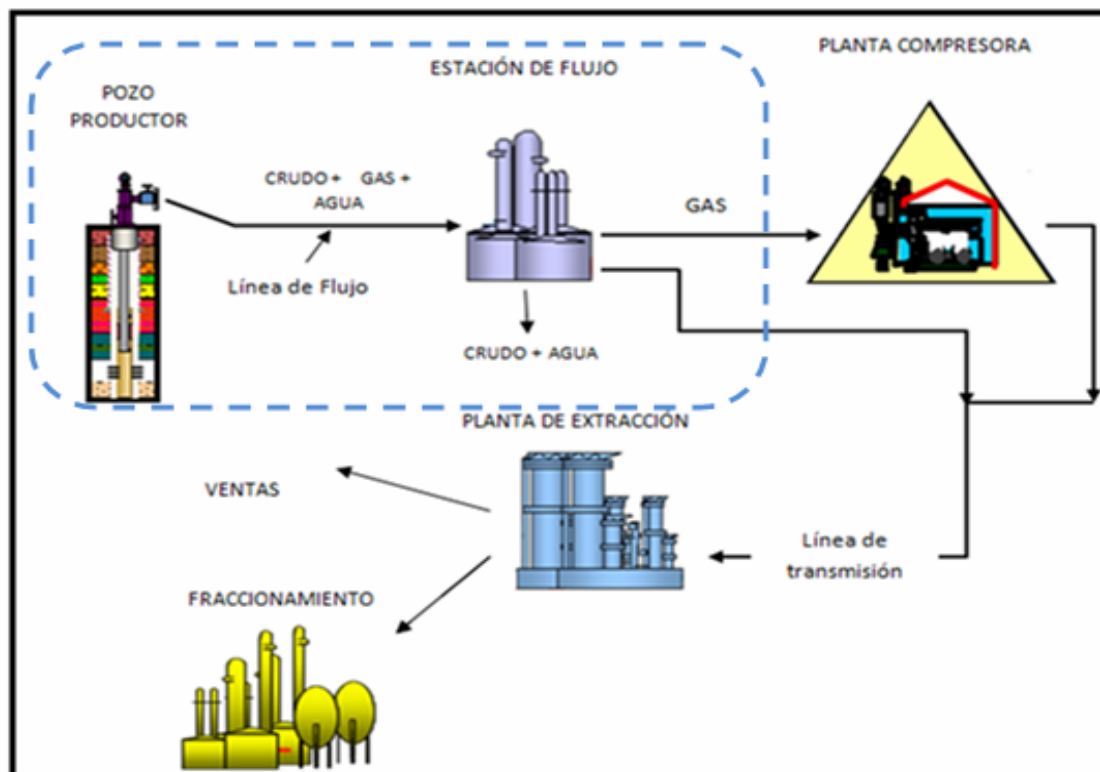


Figura 3.1 Proceso de producción de gas natural.

3.2 Identificación de las fuentes fijas de emisiones y los gases contaminantes provenientes de éstas

En cada una de las estaciones de flujo del campo Santa Rosa, se identificaron las fuentes generadoras de emisiones atmosféricas y los gases contaminantes, en las distintas etapas del sistema de producción. Para ello se analizó a cada estación la siguiente información:

- Descripción del proceso, diagramas de flujo, producción y capacidades.
- Inventario de fuentes de emisión en cada caso.
- Listado de las instalaciones con sus componentes principales y accesorios.
- Potenciales de producción.
- Descripción de tareas no rutinarias en las que se generan emisiones.

- Caracterización de productos y subproductos.

Las fuentes de emisión y los gases contaminantes, fueron inventariados rigiéndose por la EIIP (*Emission inventory improvement program*) de la EPA [16] y por las metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera de la ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe) [11]. A continuación se muestra en la tabla 3.1, el inventario que se realizó en el campo estudiado:

Tabla 3.1 Inventario de fuentes de emisión.

Estaciones	Tanques		N° de componentes		N° de pozos	Fosas asociadas
	Nombre	Capacidad (bls)	Válvulas	Bridas		
SREF-1	TK-5197	5000	180	392	65	1
	TK-5196	5000				
	TK-1699	1500				
	TC-1538	1500				
SREF-2	NT	-	132	418	22	1
SREF-3	TK-500	500	106	364	7	1
SREF-4	TK-1537	1500	315	858	81	1
	TK-1906	1500				
	TK-5000	5000				
SREF-5	TK-1500	1500	110	320	13	1
SREF-6	TK-1694	1500	55	194	5	1

3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos

En esta parte del estudio se procedió a estimar las tasas de emisiones que se generan en cada una de las fuentes identificadas en el sistema de producción en el campo Santa Rosa. Para determinar las tasas de emisiones correspondientes a cada una de las fuentes, se utilizó los factores de emisión y modelos matemáticos como principios de transferencia de calor, transferencia de masa (difusión molecular en gases), entre otros.

3.3.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos

En los pozos las emisiones se generan por las despresurizaciones y mantenimientos en las líneas del mismo. Según lo establecido por la ARPEL en la guía ambiental metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera; se estima que la limpieza y despresurización de líneas producen un venteo de 1,26 kg de gas por pozo activo al año siendo este valor el factor de emisión utilizado para estimar dicha emisión. [11]

3.3.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento

En la estimación de emisiones de los tanques, es necesario incluir tanto el gas en solución disuelto en el petróleo crudo como la evaporación del mismo. Los factores proporcionados en la tabla 3.2 se utilizaron como estimaciones preliminares del gas en solución descargado de los tanques de almacenamiento de petróleo crudo. La pérdida total por evaporación de un tanque con techo fijo es la suma de las pérdidas por respiración y trabajo; las ecuaciones para determinar estas pérdidas están incluidas en el software Tanks 4.09 [10], además se incluyen campos para la inserción de datos meteorológicos: temperaturas máximas, mínimas, radiación, velocidad del viento y presión atmosférica, etc., las características de los tanques a

simular y su contenido (figuras A.1, A.2 y A.3 respectivamente). Este software se utilizó para dichas estimaciones.

Tabla 3.2 Factores para emisiones de gas en solución proveniente de tanques de almacenamiento de petróleo crudo, kg/m³ [11].

	Metano	Etano	Propano+	FE
Sin tratador en proceso	2,746	0,822	1,097	4,665

donde:

FE: factor de emisión total del gas.

En la tabla 3.3 se muestran las características de los tanques de almacenamiento de techo fijo que se encuentran en cada una de las estaciones de flujo del campo Santa Rosa. Estos datos se suministraron al software Tanks 4.09. y en la tabla 3.4 los valores de las pérdidas por respiración y por trabajo obtenidas a través de dicho software para calcular las tasas de emisiones en cada uno de los tanques de almacenamiento.

Tabla 3.3 Diámetro, altura, capacidad y producción de los tanques de almacenamiento de las estaciones [17].

Estaciones	Tanques	Diámetro (pie)	Altura (pie)	Capacidad (bls)	A (gal/año)
SREF-1	TK-5197	38	24	5000	22770511,29
	TK-5196	38	24	5000	22770511,29
	TK-1699	21	24	1500	6954151,99
	TC-1538	21	24	1500	6954151,99

SREF-2	NT	-	-	-	-
SREF-3	TK-500	15	16	500	444165,55
SREF-4	TK-1537	21	24	1500	6954151,99
	TK-1906	21	24	1500	6954151,99
	TK-5000	38	24	5000	22770511,29
SREF-5	TK-1500	21	24	1500	1368029,90
SREF-6	TK-1694	21	24	1500	1368029,90

donde:

A: tasa de actividad (producción, gal/año)

NT: no tiene

Los datos meteorológicos fueron suministrados por la estación aeronáutica 419 ubicada en Barcelona a 79 km de Anaco, ya que Anaco no cuenta con una estación meteorológica y la aeronáutica 419 es la estación más cercana. Estos datos se promediaron para crear los datos meteorológicos en el software Tanks 4.09 (figura A.4).

Tabla 3.4 Pérdidas por respiración (LS), pérdidas por trabajo (LW) en tanques de almacenamiento.

Estaciones	Tanques	LS (lb/año)	LW (lb/año)
SREF-1	TK-5197	13362,72	46286,07
	TK-5196	13362,72	46286,07
	TK-1699	4081,00	14135,84
	TC-1538	4081,00	14135,84

SREF-2	NT	-	-
SREF-3	TK-500	2082,14	2188,40
SREF-4	TK-1537	4081,00	14135,84
	TK-1906	4081,00	14135,84
	TK-5000	13362,72	46286,07
SREF-5	TK-1500	4081,00	6740,27
SREF-6	TK-1694	4081,00	6740,27

3.3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos

Las emisiones fugaces, las cuales son las que se presentan en los equipos tales como: separadores, múltiples de producción y válvulas multipuertos; se estimó utilizando los factores de emisión promedios correspondientes a cada uno de los componentes de dichos equipos (conexiones, bridas, válvulas, etc.) y multiplicándolo por el número de los mismos (tabla 3.1).

En la tabla 3.5 se muestran los factores de emisiones fugaces en la producción de gas y petróleo liviano.

Tabla 3.5 Factores de emisiones fugaces en producción de gas y petróleo liviano, kg/h/componente [18].

COMPONENTE	FACTORES DE EMISIÓN		
	Gas	Petróleo liviano	FE
Válvulas	3,87 E-03	1,33 E-03	5,20 E-03
Bridas	4,39 E-04	7,70 E-04	12,09 E-04

donde:

FE: factor de emisión total.

3.3.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas

Se estimaron las pérdidas de hidrocarburos (COV) a la atmósfera desde las fosas mediante la aplicación de principios de transferencia de masa.

En la tabla 3.6 y 3.7 se muestran las dimensiones de cada una de las fosas asociadas a las estaciones de flujo y las propiedades de los gases contaminantes (COV) respectivamente.

Tabla 3.6 Dimensiones de las fosas asociadas a las estaciones.

ESTACIONES	BASE (m)	ALTURA (m)	PROFUNDIDAD (m)
SREF-1	50	45	3
SREF-2	20	15	2
SREF-3	30	30	2
SREF-4	30	25	3
SREF-5	20	15	2
SREF-6	20	15	2

Tabla 3.7 Propiedades de los gases contaminantes (COV) [19].

Gas contaminante	Fórmula	P.M	Presión de vapor (atm)	\sum_{VA}
Metano	CH ₄	16,04	909,9699	24,42
Etano	C ₂ H ₆	30,07	59,5259	44,88
Propano	C ₃ H ₈	44,09	14,5678	65,34
Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	4,0915	85,80
Pentano	C ₅ H ₁₂	72,15	1,2694	106,26
Hexano	C ₆ H ₁₄	86,17	0,4183	126,72
Heptano	C ₇ H ₁₆	100,20	0,1396	147,18
Octano	C ₈ H ₁₈	114,22	0,0479	167,64
Nonano	C ₉ H ₂₀	128,25	0,0167	188,10
Decano	C ₁₀ H ₂₂	142,28	0,0058	208,56
Benceno	C ₆ H ₆	78,11	0,2735	110,88
Tolueno	C ₇ H ₈	92,13	0,0899	131,34
xileno	C ₈ H ₁₀	106,16	0,0239	151,80
Etilbenceno	C ₈ H ₁₀	106,16	0,0823	151,08

3.4 Determinación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software disper 4.0

Se realizó la simulación de las emisiones atmosféricas provenientes de las fuentes mediante el uso del software DISPER 4.0 para determinar la dispersión de los gases contaminantes en la atmósfera. A este software se le introdujeron datos tales como: datos meteorológicos promedios y las condiciones de la fuente, etc., (figuras A.5 y A.6). Se realizó la simulación sobre fotos aéreas de cada una de las estaciones y

fosas asociadas; determinándose las concentraciones de los gases contaminantes para compararlos con los límites de calidad del aire del ORAQI (*Oak Ridge Air Quality Index*) (tabla 3.8) establecidos en el manual del DISPER 4.0.

Tabla 3.8 Límite de calidad del aire del ORAQI [20].

Contaminante	C_xH_y
Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	140

donde:

C_xH_y : hidrocarburos

3.5 Comparación de las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el decreto 638

Con los resultados de las estimaciones de las tasa de emisión obtenidos en cada una de las fuentes, se establecieron comparaciones con los límites de emisión de los compuestos orgánicos volátiles que se encuentran en el decreto 638 [15] el cual tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles, capaces de generar emisiones gaseosas y partículas.

3.6 Proposición de estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio

En esta etapa del trabajo consistió en proponer estrategias para la disminución de las emisiones de gases contaminantes (COV) generadas en las estaciones del campo Santa Rosa y consigo el impacto a la calidad del aire, las cuales se plantearon en base a los resultados obtenidos.

En las estaciones se encuentran contenedores para almacenamiento cerrados y contenedores para almacenamiento abiertos; en el primer caso se tienen los tanques de techo fijo y para el segundo las lagunas (fosas) y reservorios. El control de emisiones de almacenamiento tienen tres propósitos: minimización o eliminación de los contaminantes atmosféricos, reducción del riesgo de incendio y recuperación de productos valiosos o costosos.

Los métodos de control que se utilizan comúnmente y serán estudiados son los siguientes:

- Adecuación de techos flotantes para los tanques de techo fijo.
- Cubiertas o “mantas” plásticas.
- Sistemas de balance de vapores.
- Sistemas de recuperación de vapores.
- Modificación de las operaciones de bombeo y llenado de los tanques.

Las fugas representan la causa más significativa de emisiones durante las operaciones de proceso, lo que implica que buenas prácticas de mantenimiento y operación, constituyen la principal y más efectiva estrategia para reducir las emisiones de COV.

3.7 Muestra de cálculo

3.7.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos

Se calcula la tasa de emisión en pozos, utilizando la siguiente ecuación 3.1 [11]:

$$E = V \times N^{\circ} \text{ de pozos} \quad (\text{Ec.3.1})$$

donde:

E: tasa de emisión (kg/h).

V: venteo de kg de gas por pozo activo al año.

Para la estación SREF-1, tomando el valor de la tabla 3.1 se obtiene:

$$E = \frac{1,26 \text{ kg de gas}}{\text{pozos.año}} \times 65 \text{ pozos} \times \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} = 0,00935 \frac{\text{kg de gas}}{\text{h}}$$

De igual forma se calcula la tasa de emisión para el resto de las estaciones y estos valores se encuentran en la tabla 4.1.

3.7.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento

Se calcula la tasa de emisión de contaminantes proveniente de los tanques de almacenamiento, a través de la ecuación 3.2 [10]:

$$E = LT + GS \quad (\text{Ec.3.2})$$

donde:

E: tasa de emisión, kg/h

LT: pérdidas totales, kg/h

GS: gas en solución, kg/h

Para calcular las pérdidas totales se utiliza la ecuación 3.3 [10]:

$$LT = (LS + LW) \times \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \times \frac{0,45359 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \quad (\text{Ec.3.3})$$

donde:

LS: pérdidas en reposo (respiración), lb/año

LW: pérdidas en operación (trabajo), lb/año.

Para calcular el gas en solución se utiliza la ecuación 3.4 [10]:

$$GS = A \times FE \times 0,003785 \frac{\text{m}^3}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \quad (\text{Ec.3.4})$$

donde:

A: tasa de actividad (producción, gal/año)

FE: factor de emisión, kg/m³

Para el tanque TK-5197 de la estación SREF-1, se calcula la emisión tomando los valores de la tabla 3.4 e introduciéndolos en las ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4 respectivamente:

$$LT = (13.362,72 + 46.286,07) \frac{\text{lb}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \times \frac{0,45359 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 3,0886 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$GS = 22770511,2894 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times 4,665 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,003785 \frac{\text{m}^3}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} = 45,8972 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$E = 3,0886 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 45,8972 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 48,9858 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De la misma manera se calculan las emisiones en los demás tanques pertenecientes a las diferentes estaciones, estos valores se reportan en la tabla 4.3.

3.7.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos

Las emisiones fugitivas se estiman a partir de la ecuación 3.5 [11]:

$$E = FE \times N^{\circ}comp \quad (\text{Ec.3.5})$$

donde:

E: tasa de emisión, kg/h

FE: factor de emisión, kg/h.comp

N°comp: número de componentes (válvulas, bridas)

Para estimar las emisiones fugaces en válvulas de la estación SREF-1, se toman los datos de las tablas 3.1 y 3.5 y se introducen en la ecuación 3.5:

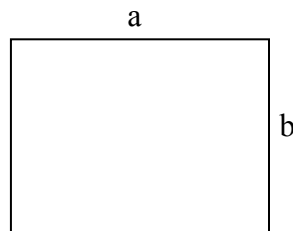
$$E_{\text{válvula}} = 5,20 \text{ E} - 03 \frac{\text{kg}}{\text{comp. h}} \times 180 \text{ comp} = 0,9360 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De igual forma se procede a calcular las emisiones en las bridas y en las demás estaciones tanto para producción de gas como de petróleo liviano. La tasa de emisión total es la suma de las emisiones en válvulas y bridas; estos resultados se presentan en la tabla 4.4.

3.7.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas

3.7.4.1 Determinación del área de la fuente

La fuente de emisión estudiada son las fosas, las cuales son de forma cuadrada.



El área cuadrada de emisión está dada por:

$$A = b \times a \quad (\text{Ec.3.6})$$

donde:

A: área, m²

b: base, m

a: altura, m

Sustituyendo los valores de la tabla 3.6 para la estación SREF-1 en la ecuación 3.6 se tiene:

$$A = 50\text{m} \times 45\text{m} = 2250\text{m}^2$$

Las áreas de las fosas de las otras estaciones se calculan de la misma manera que la anterior, estos valores se reflejan en la tabla 4.6.

3.7.4.2 Determinación del coeficiente de difusión

El coeficiente de difusión para cada componente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$D_{AB} = \frac{1,00 \times 10^{-7} T^{1,75}}{P[(\sum v_A)^{1/3} + (\sum v_B)^{1/3}]^2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2} \quad (\text{Ec.2.24})$$

Tomando en cuenta los valores de volúmenes atómicos del carbono, hidrógeno y del aire de la tabla 2.2 se tiene, para el tolueno y el aire:

$$\sum v_A = (16,5 \times 7) + (1,98 \times 8) = 131,34$$

$$\sum v_B = 20,1$$

$$M_A = 92,13\text{kg/kgmol}$$

$$M_B = 29\text{ kg/kgmol}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 2.24; tomando la temperatura ambiente de 27,95°C (301,1K)[22] y presión de 1 atm:

$$D_{AB} = \frac{1,00 \times 10^{-7} (301,1K)^{1,75}}{1 \text{atm} [(131,34)^{1/3} + (20,1)^{1/3}]^2} \left(\frac{1}{92,13 \text{kg/kgmol}} + \frac{1}{29 \text{kg/kgmol}} \right)^{1/2}$$

$$D_{AB} = 7,6129 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$

De igual forma se determinan los coeficientes de difusión de los demás componentes (tabla 4.5).

3.7.4.3 Determinación de la tasa de emisión de los gases contaminantes

La tasa de emisión de los gases contaminantes está representada por la tasa de evaporación (N_A) de los mismos en las fosas a una temperatura de 43,33°C, ya que es la temperatura a la cual fue descargado el crudo en las fosas.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$N_A = \frac{D_{AB} P}{RT(z_1 - z_2) F_{BM}} (P_{A1} - P_{A2}) \quad (\text{Ec.2.23})$$

$$P_{BM} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln(P_{B2}/P_{B1})} = \frac{P_{A1} - P_{A2}}{\ln[(P - P_{A2})/(P - P_{A1})]} \quad (\text{Ec.2.22})$$

Para el tolueno, a una temperatura de 43,33°C (tabla 3.7)

$$P^{\text{VAP}} = 0,0899 \text{ atm} = P_{A1}$$

$$P_{A2} = 0 \text{ atm}$$

$$P_{B2} = P - P_{A2} \implies P_{B2} = 1 \text{ atm} - 0 \text{ atm}$$

$$P_{B1} = P - P_{A1} \implies P_{B1} = 1 \text{ atm} - 0,0899 \text{ atm} = 0,9101 \text{ atm}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 2.22 se tiene que:

$$P_{BM} = \frac{1 \text{ atm} - 0,9101 \text{ atm}}{\ln\left(\frac{1 \text{ atm}}{0,9101 \text{ atm}}\right)} = 0,9543 \text{ atm}$$

A partir de la ecuación 2.23:

$$N_A = \frac{7,6129 \times 10^{-6} \times 1 \text{ atm}}{82,06 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ atm/gmolK} \times 316,48 \text{ K} \times 0,5 \text{ m} \times 0,9543 \text{ atm}} (0,0899 \text{ atm} - 0 \text{ atm})$$

$$N_A = 5,5230 \times 10^{-5} \text{ gmol/m}^2 \text{ s}$$

Multiplicando por el peso molecular del gas y por los factores de conversión correspondientes se obtiene:

$$N_A = 5,5230 \times 10^{-5} \text{ gmol/m}^2 \text{ s} \times 92,13 \text{ g/gmol} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$N_A = 1,8318 \text{ E-}02 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$$

De la misma forma se calcula para los demás gases; la suma de las tasa de todos las gases es la tasa de emisión total, se reportan en la tabla 4.5. La tasa de emisión total se multiplica por el área, obteniéndose la tasa de emisión en cada una de las fosas (tabla 4.6).

$$N_A = 2,4456 \text{ E-}01 \text{ kg/m}^2 \text{ h} \times 2250 \text{ m}^2$$

$$N_A = 550,260 \text{ kg/h}$$

3.8 Equipos, materiales, sustancias y herramientas

3.8.1 Equipos

- No se requieren

3.8.2 Materiales

- Implementos de seguridad: botas, casco, lentes y protectores auditivos.
- Planos mecánicos digitales de las estaciones.
- Mapas digitales del campo.
- Fotos aéreas

3.8.3 Sustancias

- No se requiere

3.8.4 Herramientas

- Microsoft Office 2007.
- Software DISPER 4.0
- Visualizador de mapas Bentley View
- Software TANKS 4.09

El software DISPER 4.0 está disponible en la Universidad de Oriente, núcleo de Anzoátegui, en el departamento de Ingeniería de Petróleo y está a la total disponibilidad.

El Software TANKS 4.09 está disponible en:
<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/airchief/>

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Descripción del sistema de producción de gas del campo Saanta Rosa

En la figura 4.1 se muestran las estaciones de flujo y el complejo perteneciente al campo Santa Rosa; donde se indica las distancias que existe desde el complejo hasta cada una de las estaciones.

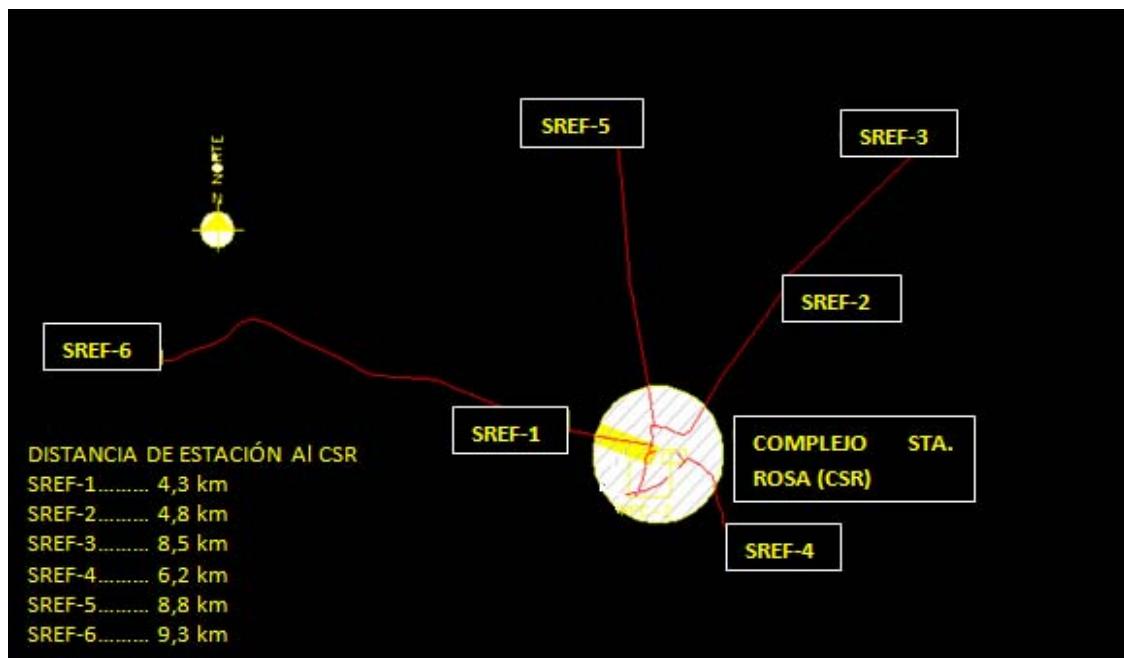


Figura 4.1 Plano de ubicación de las estaciones y complejo del campo Santa Rosa

En las estaciones de flujo del campo Santa Rosa se recibe la producción proveniente de los pozos asociados a éstas, a través de las válvulas multipuertos o múltiples de producción; ésta luego pasa a los separadores, de la corriente líquida el

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

crudo se envía a los tanques de almacenamiento y el agua a la PIA (planta de inyección de agua); y el gas al Complejo Santa Rosa (CSR), dependiendo de la presión. Actualmente se manejan tres niveles de presión: 60, 250 y 500 psig; la producción aportada en los niveles de 60 y 250 psig, gas más crudo, es recolectada y enviada en forma bifásica hasta el Complejo Santa Rosa (CSR) para su posterior separación, mientras que la producción asociada al nivel de 500 psig es separada en las estación y el gas es enviado en forma monofásica al CSR para elevar su energía a través de las plantas compresoras. El crudo se lleva a especificaciones para su posterior comercialización. El sistema de producción del campo Santa Rosa se muestra en la figura 4.2.

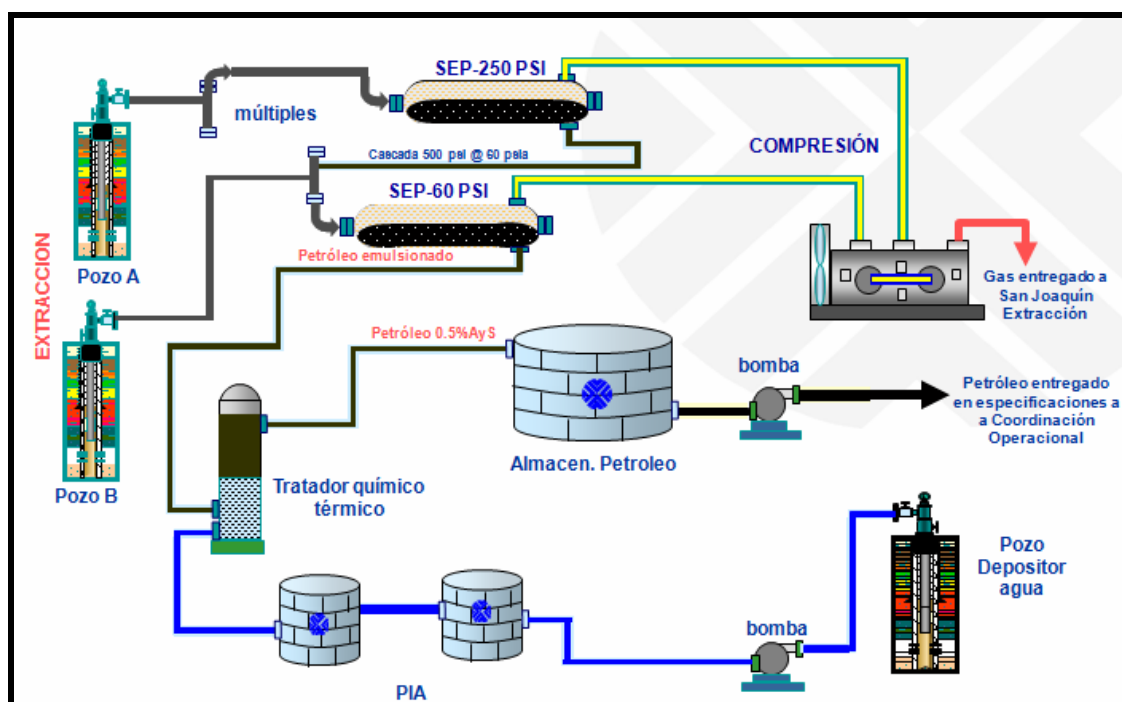


Figura 4.2 Sistema de producción del campo Santa Rosa.

A continuación se presentan los niveles de operación de las estaciones pertenecientes al Campo Santa Rosa:

Estación de Flujo Santa Rosa 1 (SREF-1), nivel de operación 60, 250 y 500 psig.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

Estación de Flujo Santa Rosa 2 (SREF-2), nivel de operación 60, 250 y 500 psig.

Estación de Flujo Santa Rosa 3 (SREF-3), nivel de operación 60 y 250 psig.

Estación de Flujo Santa Rosa 4 (SREF-4), nivel de operación 60, 250 y 500 psig.

Estación de Flujo Santa Rosa 5 (SREF-5), nivel de operación 60 y 250 psig.

Estación de Flujo Santa Rosa 6 (SREF-6), nivel de operación 60 psig.

De acuerdo al potencial de producción del mes de abril-2009 el Campo Santa Rosa cuenta con 193 pozos activos, con una producción total de 367,5 MMPCGD, 3.148 BNPD y 3.457 BAPD.

4.2 Identificación de las fuentes fijas de emisiones y los gases contaminantes provenientes de éstas

El venteo de gases ocurre como resultado de las emisiones fugaces de válvulas, bridas, etc., la despresurización de sistemas y líneas como los pozos, y la evaporación en tanques.

Cabe destacar que la Gaceta Oficial, Decreto 638 “normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosféricas (sección I artículo 9) [15], indica que la producción de petróleo y gas natural es una fuente fija”, según la Clasificación Internacional Uniforme de las Naciones Unidas, la cual se someterá a este decreto.

A partir del inventario que se llevó a cabo en el campo estudiado, se identificaron las fuentes fijas o puntuales y los gases provenientes de éstas; las cuales se muestran en la tabla 4.1.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

Tabla 4.1 Fuentes de emisiones y gases contaminantes.

Cantidad	Fuentes de emisiones	Gases contaminantes
193	Pozos	COV
10	Tanques de almacenamiento	COV
898	Fugas de equipos	COV
2546	Válvulas	
	Bridas	
6	Fosas	COV

Los compuestos orgánicos volátiles (COV), presentes en estas emisiones según las metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera de la ARPEL son: metano, etano, propano, butano, hexano, heptano, octano, nonano, decano, benceno, tolueno, xileno y etilbenceno.

4.3 Estimación de las emisiones atmosféricas generadas en el sistema de producción de gas a través de factores de emisión y modelos matemáticos

4.3.1 Estimación de las emisiones atmosféricas en pozos

En la tabla 4.1 se reflejan las tasas de emisiones (E) estimadas en los pozos asociados a cada una de las estaciones de flujo. El venteo de kg de gas por pozo activo al año es el factor de emisión utilizado para esta estimación, el cual comprende tanto la limpieza de las tuberías como las despresurizaciones de los pozos, tabulado por la ARPEL y obtenido mediante estudios realizados en diferentes industrias petroleras [11].

Tabla 4.1 Tasa de emisiones en los pozos.

Estaciones	E (kg/h)
SREF-1	0,00935
SREF-2	0,00316
SREF-3	0,00101
SREF-4	0,01165
SREF-5	0,00187
SREF-6	0,00072

4.3.2 Estimación de las emisiones atmosféricas en tanques de almacenamiento

Las pérdidas totales (LT) de COV en los tanques de almacenamiento de techo fijo se obtuvieron a través de las simulaciones con el software Tanks 4.09; los reportes de dichas simulaciones se pueden observar en el anexo C.

Para estimar el gas en solución (GS), se utilizó el total de los factores de emisión de los gases sin tratadores en proceso, ya que en estas estaciones no hay tratadores debido al tipo de crudo que se produce.

En la tabla 4.2 se muestra tanto las pérdidas totales como el gas en solución emanados en los tanques de almacenamiento. En ésta se puede observar que la cantidad de gas en solución es mucho mayor a las pérdidas por evaporación; esto debido a que el crudo que se produce es asociado al gas, no se le aplica tratamiento y la mayoría de estos tanques son de prueba.

En la estación SREF-2 no se calculó la tasa de emisión en tanques ya que en dicha estación no hay tanques de almacenamiento; la producción es enviada por la bifásica al CSR.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En la tabla 4.3 se reflejan los resultados de las tasas de emisiones (E) en tanques de almacenamiento de techo fijo de cada una de las estaciones. En la cual se observa que en los tanques de las estaciones SREF-1 y SREF-4 se producen la mayor cantidad de emisiones, debido a que los tanques son de mayor capacidad y son vaciados con más frecuencia que los tanques de las otras estaciones.

Tabla 4.2 Pérdidas totales (LT) de COV y gas en solución (GS), en tanques de almacenamiento.

Estaciones	Tanques	LT (kg/h)	Gs (kg/h)
SREF-1	TK-5197	3,0886	45,8972
	TK-5196	3,0886	45,8972
	TK-1699	0,9433	14,0171
	TC-1538	0,9433	14,0171
SREF-2	NT	-	-
SREF-3	TK-500	0,2211	0,8953
SREF-4	TK-1537	0,9433	14,0171
	TK-1906	0,9433	14,0171
	TK-5000	3,0886	45,8972
SREF-5	TK-1500	0,5603	2,7575
SREF-6	TK-1694	0,5603	2,7575

Tabla 4.3 Tasa de emisiones en tanques de almacenamiento de techo fijo de las estaciones.

Estaciones	Tanques	E (kg/h)
SREF-1	TK-5197	48,9858
	TK-5196	48,9858
	TK-1699	14,9604
	TC-1538	14,9604
SREF-2	NT	-
SREF-3	TK-500	1,1164
SREF-4	TK-1537	14,9604
	TK-1906	14,9604
	TK-5000	48,9858
SREF-5	TK-1500	3,3178
SREF-6	TK-1694	3,3178

4.3.3 Estimación de las emisiones atmosféricas en fugas de equipos

En la tabla 4.4 se presentan las tasas de emisiones fugaces (E), las cuales es la suma de las emisiones en válvulas y bridas de los equipos. Se puede observar que la estación con mayor tasa de emisión es SREF-4, ya que es una de las estaciones más grandes y por ende posee mayor número de componentes.

Tabla 4.4 Tasas de emisiones fugaces en equipos.

Estaciones	$E_{\text{válvula}} \text{ (kg/h)}$	$E_{\text{bridas}} \text{ (kg/h)}$	$E \text{ (kg/h)}$
SREF-1	0,9360	0,4739	1,4099
SREF-2	0,6864	0,5054	1,1918
SREF-3	0,5512	0,4401	0,9913
SREF-4	1,6380	1,0373	2,6753
SREF-5	0,5720	0,3869	0,9589
SREF-6	0,2860	0,2345	0,5205

4.3.4 Estimación de las emisiones atmosféricas en fosas

Los COV estimados en las fosas son los mostrados en la tabla 4.5, ya que son los que tienen la presión de vapor necesaria para la transferencia de masa entre el crudo y el aire. Las difusividades (D_{AB}) se calcularon a la temperatura promedio característica de Anaco (27,95°C) [22]. También se muestran en esta tabla las tasas de emisiones de cada gas contaminante.

Tabla 4.5 Difusividades y tasa de emisiones de los gases contaminantes.

Gas contaminante	$D_{AB} \text{ (m}^2\text{/s)}$	$N_A \text{ (gmol/m}^2\text{s)}$	$N_A \text{ (kg/m}^2\text{h)}$
Hexano	7,7967E-06	3,2517E-04	1,0087E-01
Heptano	7,1774E-06	8,3039E-05	2,9954E-02
Octano	6,6782E-06	2,5243E-05	1,0380E-02
Nonano	6,2708E-06	8,1331E-06	3,7551E-03

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

Decano	5,9287E-06	2,6558E-06	1,3603E-03
Benceno	8,3636E-06	2,0572E-04	5,7848E-02
Tolueno	7,6129E-06	5,5230E-05	1,8318E-02
Xileno	6,8164E-06	1,2694E-05	4,8513E-03
Etilbenceno	6,8164E-06	4,5066E-05	1,7223E-02
Total			2,4456E-01

En la tabla 4.6 se presentan la tasa de emisión (N_A) y el área de cada una de las fosas del campo estudiado.

En las fosas las emisiones de los gases contaminantes (COV), se originan cuando las corrientes de aire se mueven cerca de la superficie expuesta del líquido, y se produce arrastre hacia la atmósfera, por efecto de la radiación solar y la transferencia de masa, incluyendo el mecanismo molecular de difusión.

Tabla 4.6 Tasas de emisiones y área de las fosas.

Fosas	Área(m ²)	N_A (kg/h)
1	2250	550,260
2	300	73,365
3	900	220,104
4	750	183,420
5	300	73,365
6	300	73,365

4.4 Determinación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera utilizando el software disper 4.0

Para la determinación de la dispersión de contaminantes, se calculó mediante el DISPER 4.0 las concentraciones máximas para los gases contaminantes (COV). El límite de calidad del aire (tabla 3.8) del ORAQI (*Oak Ridge Air Quality Index*), constituye el marco de referencia para la comparación de las concentraciones de los contaminantes dispersados (COV) en la atmósfera.

En las figuras (4.8 a la 4.18) se muestran los mapas de concentraciones de los gases contaminantes (COV) tanto de las estaciones de flujo como de las fosas asociadas, a nivel de superficie del terreno; se representan mediante gradientes de colores, siendo el color rojo correspondiente a la máxima concentración. En el Disper 4.0 solo se simularon las emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento y de las fosas, ya que los pozos y las emisiones fugitivas en válvulas y bridas no se adaptaban a las condiciones sugeridas por el Disper 4.0, teniendo en cuenta que las emisiones provenientes de éstas aumentarían las concentraciones de los gases presentes en las estaciones.

En las figuras 4.8 y 4.9 se muestran las simulaciones de los tanques de almacenamiento y de la fosa de la estación SREF-1 respectivamente; observándose mayor de dispersión de los gases en la fosa debido al área de la misma y mayor concentración de COV en los tanques de almacenamiento.



Figura 4.8 Mapa de concentraciones de COV generados por los tanques de almacenamiento en la estación de flujo SREF-1

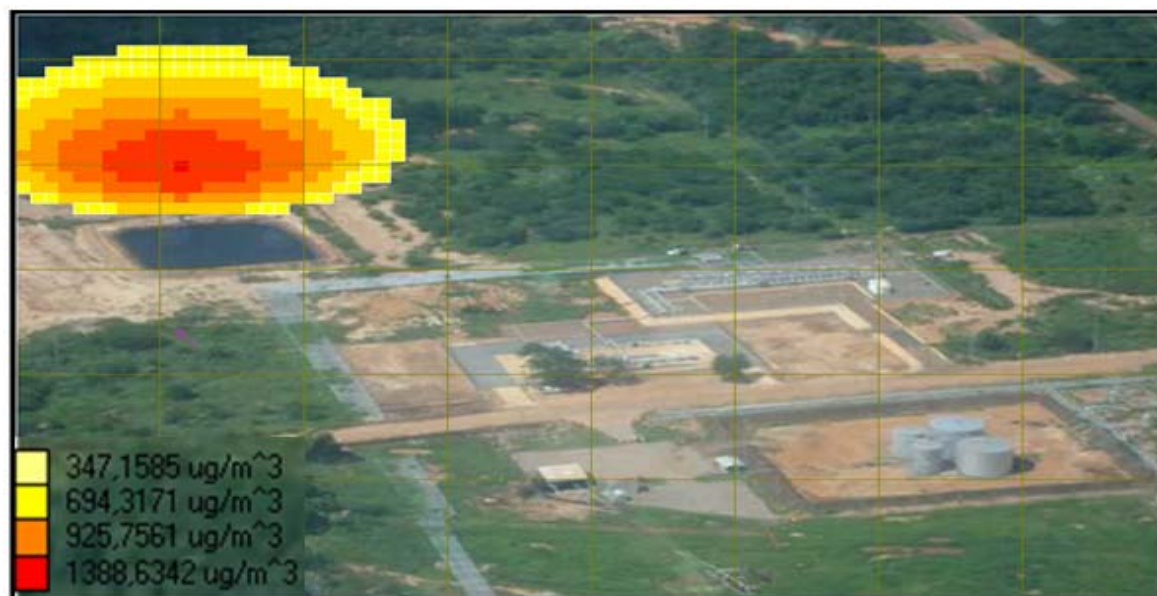


Figura 4.9 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-1

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En la estación SREF-2 no se realizó la simulación en tanques de almacenamiento solo en la fosa, ya que no hay tanques en dicha estación. En la figura 4.10 se puede observar la dispersión y concentración de los gases (COV) emitidos por la fosa.

En las figuras 4.11 y 4.12 se muestran las simulaciones del tanque de almacenamiento y de la fosa de la estación SREF-3 respectivamente; observándose mayor de dispersión y concentración de los gases (COV) en la fosa.

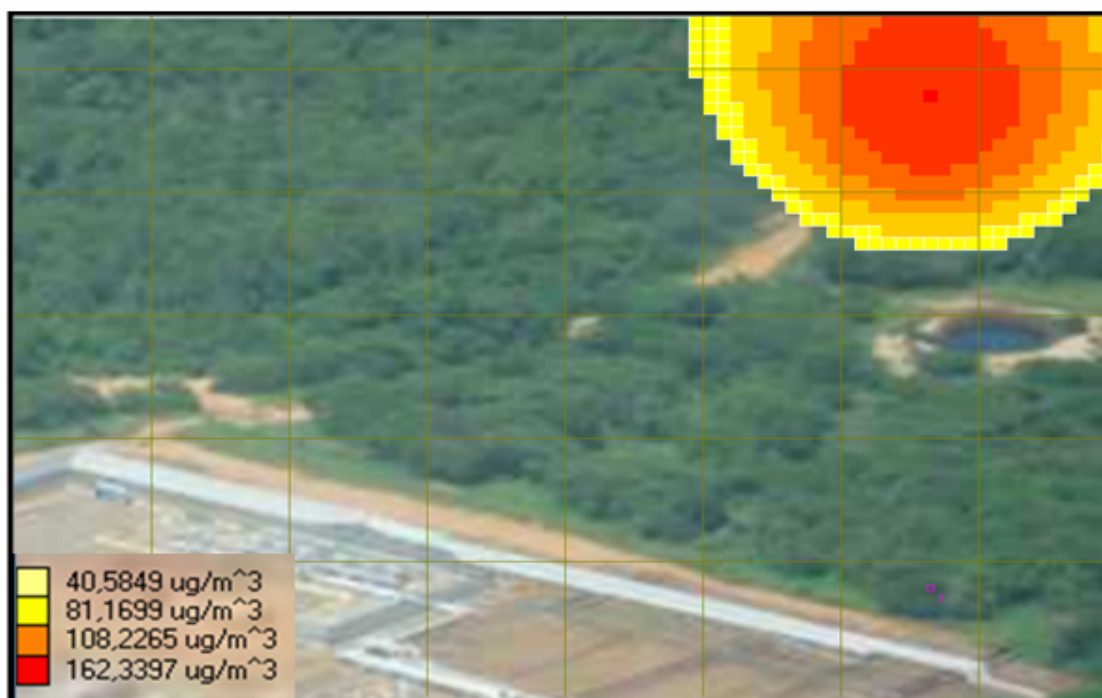


Figura 4.10 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-2

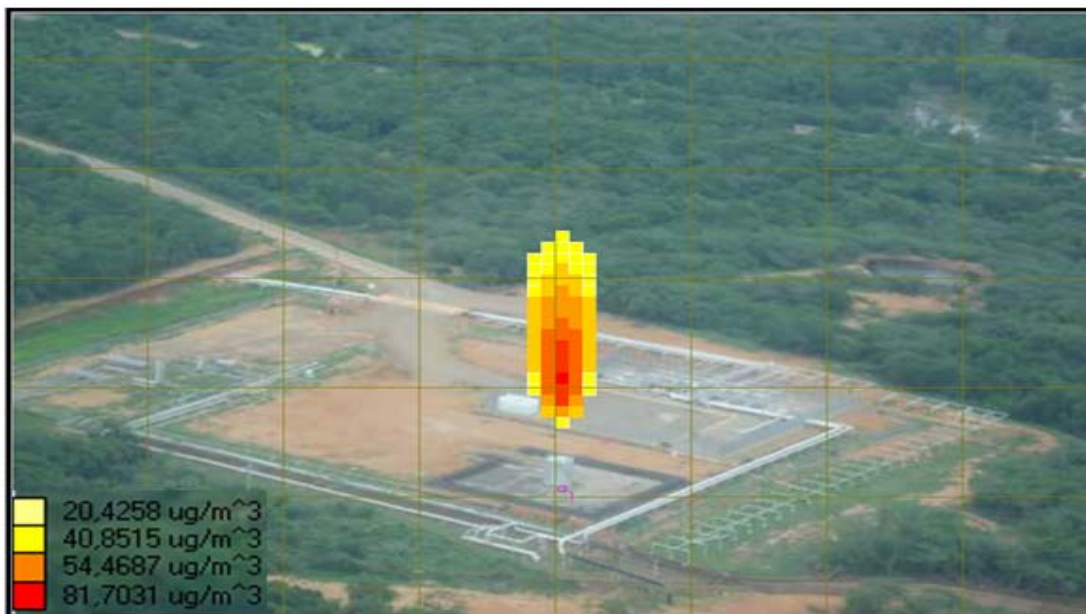


Figura 4.11 Mapa de concentraciones de COV generados por el tanque de almacenamiento en la estación de flujo SREF-3

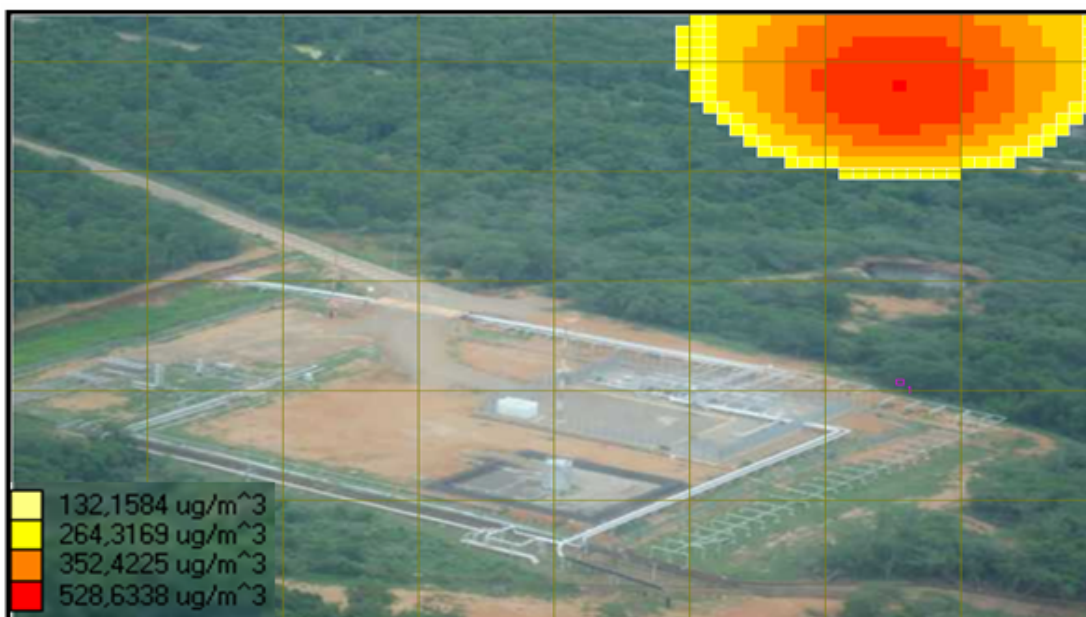


Figura 4.12 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-3

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En las figuras 4.13 y 4.14 se muestran las simulaciones de los tanques de almacenamiento y de la fosa de la estación SREF-4 respectivamente; observándose mayor dispersión de los gases en la fosa debido al área de la misma y mayor concentración de COV en los tanques de almacenamiento.

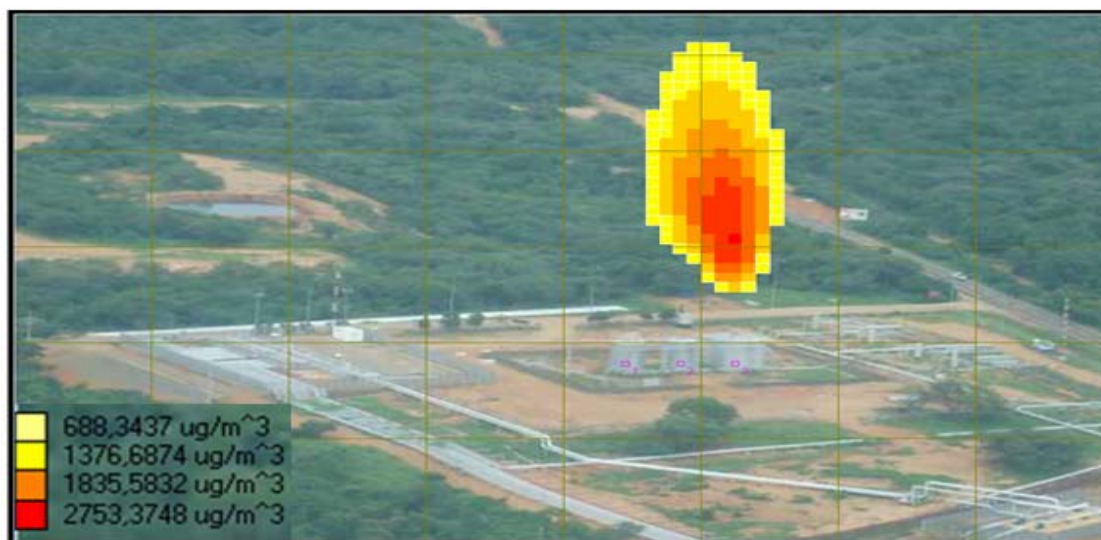


Figura 4.13 Mapa de concentraciones de COV generados por los tanques de almacenamiento en la estación de flujo SREF-4

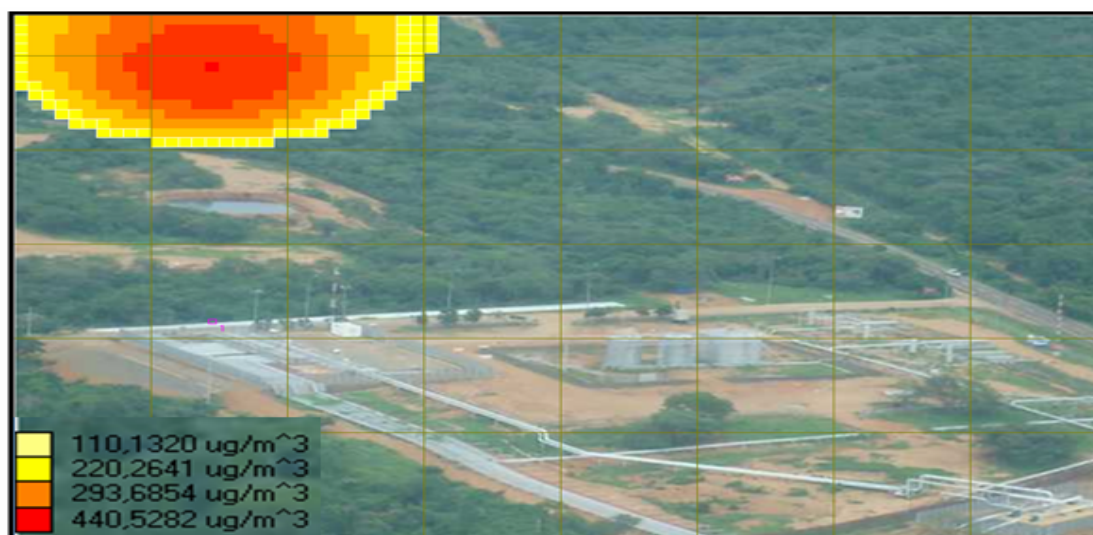


Figura 4.14 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-4

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En las figuras 4.15 y 4.16 se muestran las simulaciones del tanque de almacenamiento y de la fosa de la estación SREF-5 respectivamente; observándose mayor dispersión de los gases en la fosa y mayor concentración de COV en el tanque de almacenamiento.

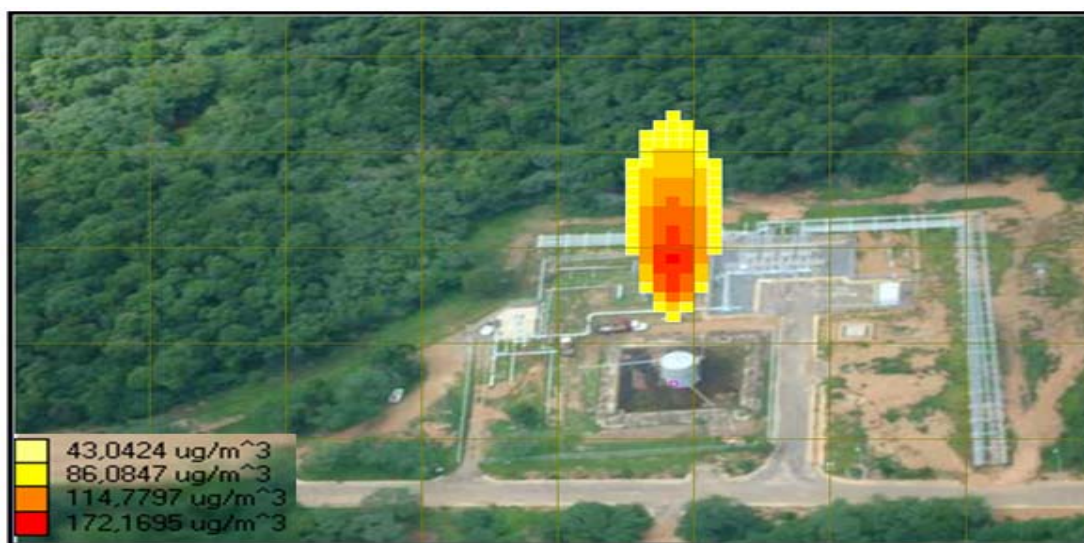


Figura 4.15 Mapa de concentraciones de COV generados por el tanque de almacenamiento en la estación de flujo SREF-5



Figura 4.16 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-5

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestran las simulaciones del tanque de almacenamiento y de la fosa de la estación SREF-6 respectivamente; observándose mayor dispersión y concentración de los gases (COV) en la fosa.

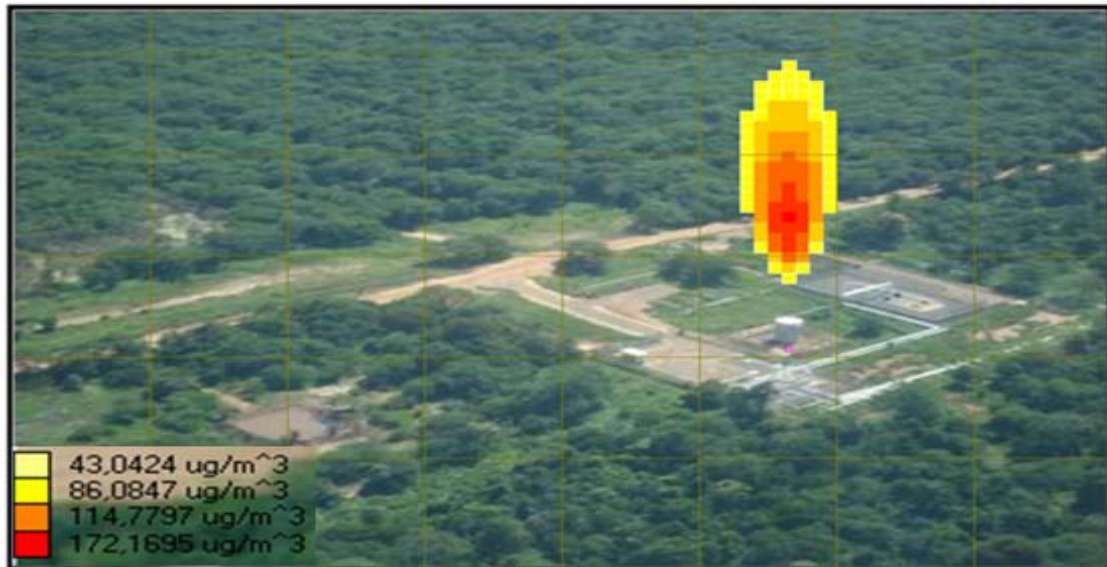


Figura 4.17 Mapa de concentraciones de COV generados por el tanque de almacenamiento en la estación de flujo SREF-6

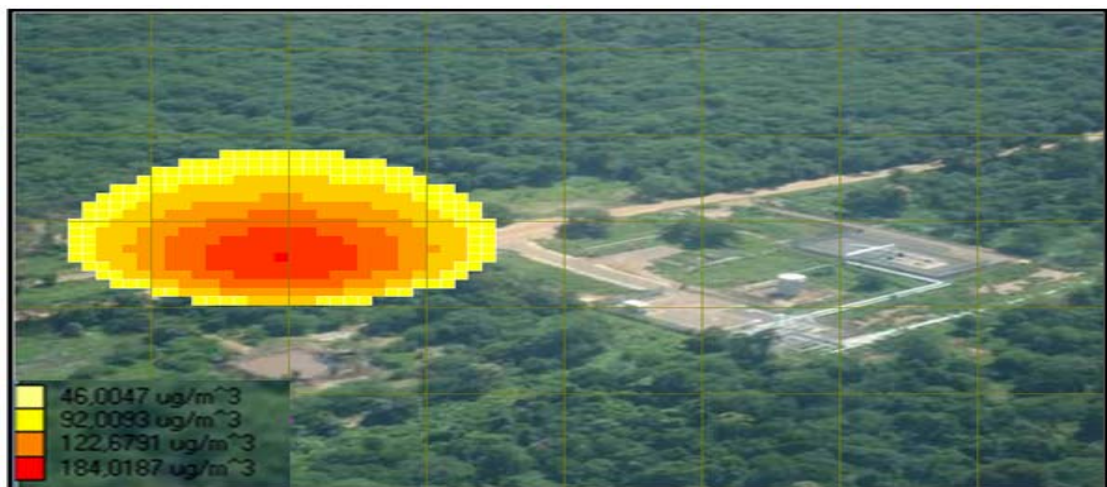


Figura 4.18 Mapa de concentraciones de COV generados por la fosa asociada a la estación de flujo SREF-6

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

El escenario que presenta la mayor concentración de COV es la estación SREF-1, ya que posee más tanques de almacenamiento con respecto a las otras estaciones y por ende la de mayor producción; siendo su fosa asociada la que presenta más concentración en comparación con las demás fosas, debido a su área.

En la tabla 4.8 se muestran las concentraciones máximas de COV presentes en estaciones y fosas obtenidas en las simulaciones con el DISPER 4.0.

Tabla 4.8 Concentraciones máximas de COV en estaciones de flujo y fosas asociadas

Escenario	Concentración máxima(ug/m ³)
Estación SREF-1	5089,8532
Fosa 1	1388,6342
Estación SREF-2	-
Fosa 2	162,3397
Estación SREF-3	81,7031
Fosa 3	528,6338
Estación SREF-4	2753,3748
Fosa 4	440,5282
Estación SREF-5	172,1695
Fosa 5	162,2360
Estación SREF-6	172,1695
Fosa 6	184,0187

En la figura 4.19 se observan que la mayoría de los escenarios a excepción de las estaciones SREF-2 y SREF-3, exceden el límite máximo de concentración de

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

COV ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido por el ORAQI (*Oak Ridge Air Quality Index*) para la calidad del aire, en el manual del DISPER 4.0.

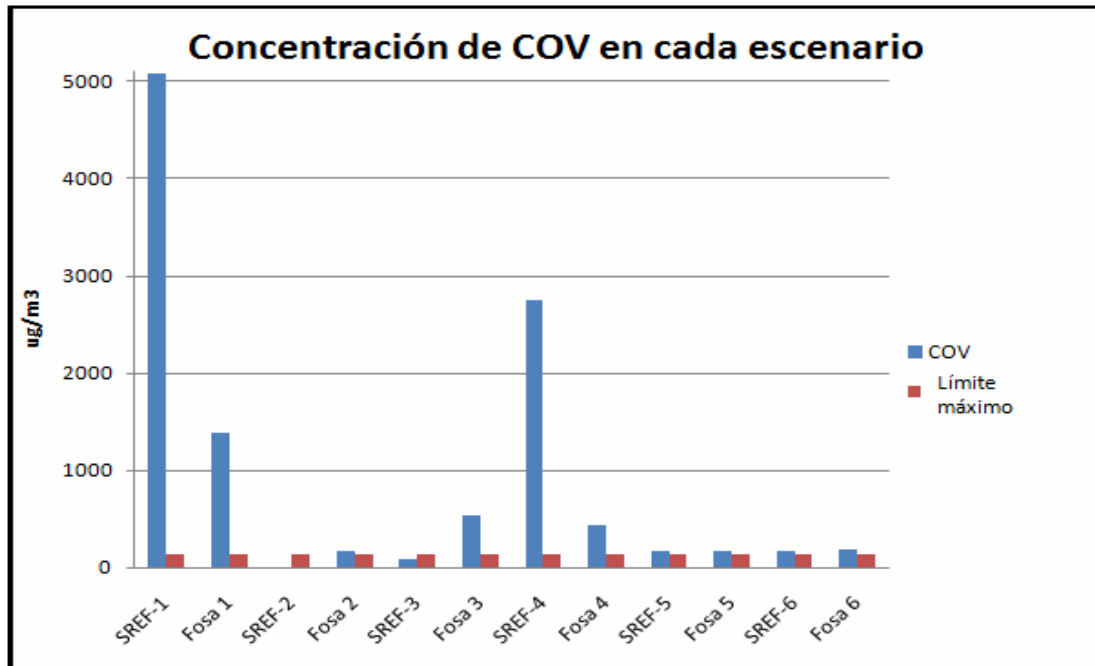


Figura 4.19 Valores de concentraciones máximas de COV en cada escenario.

4.5 Comparación de las concentraciones de los contaminantes dispersados a la atmósfera con los límites de emisiones establecidos en el decreto 638

En la tabla 4.9 se observan las tasas de emisiones de los gases contaminantes dispersados a la atmósfera por las fuentes en el campo Santa Rosa, las cuales fueron graficadas y comparadas con los límites de emisión ($1,3 \text{ kg}/\text{h}$) para compuestos orgánicos volátiles (COV) en procesos con calentamiento, establecidos en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, decreto 638 [15].

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

Tabla 4.9 Tasas de emisiones de los gases contaminantes generadas por las fuentes.

Estaciones	Fuente	Tasa de emisión (kg/h)
SREF-1	Pozos	0,0094
	Tanques de almacenamiento	127,8924
	Fugas en equipos	1,4099
	Fosas	550,2600
SREF-2	Pozos	0,0032
	Tanques de almacenamiento	-
	Fugas en equipos	1,1918
	Fosas	73,3650
SREF-3	Pozos	0,0010
	Tanques de almacenamiento	1,1164
	Fugas en equipos	0,9913
	Fosas	220,1040
SREF-4	Pozos	0,0117
	Tanques de almacenamiento	78,9066
	Fugas en equipos	2,6753
	Fosas	183,4200
SREF-5	Pozos	0,0019
	Tanques de almacenamiento	3,3178
	Fugas en equipos	0,9589
	Fosas	73,3650
SREF-6	Pozos	0,0007
	Tanques de almacenamiento	3,3178
	Fugas en equipos	0,5205
	Fosas	73,3650

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

En la figura 4.20 se muestran las emisiones de COV en cada una de las fuentes de SREF-1 y se comparó con el límite de emisión, observándose que sólo las emisiones en los pozos no superan el límite de emisión, teniendo la mayor emisión de gases en las fosas.

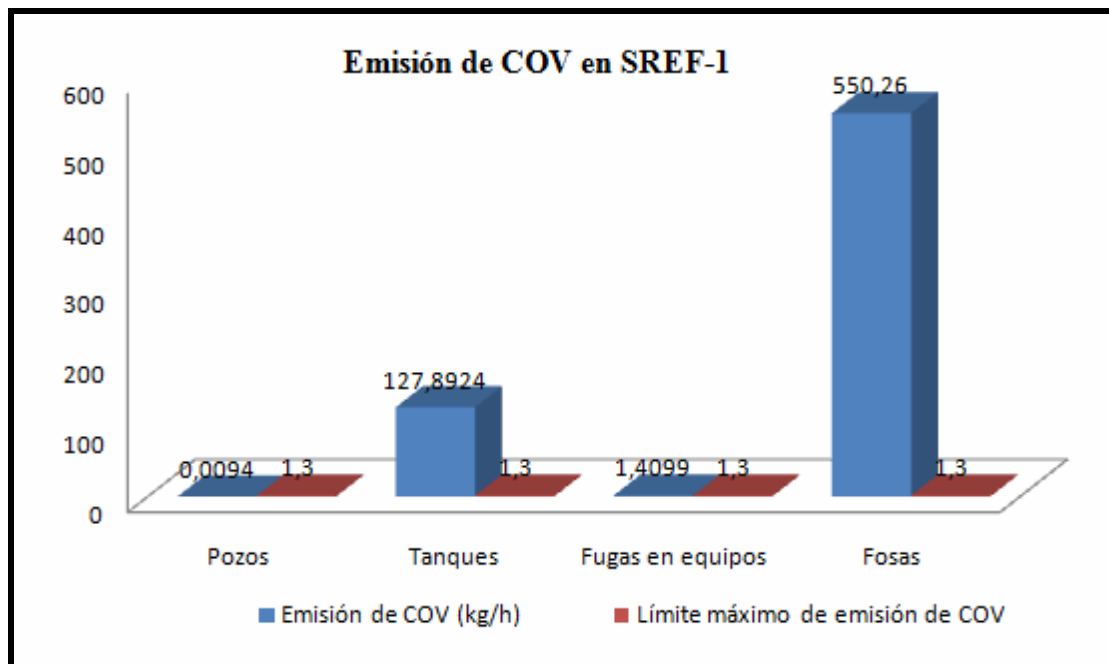


Figura 4.20 Valores de emisión de COV en SREF-1

En la figura 4.21 y 4.22 se presentan las emisiones de COV en cada una de las fuentes de SREF-2 y SREF-3 respectivamente, y se comparó con el límite de emisión, sólo las emisiones generadas en las fosas sobrepasan el límite.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

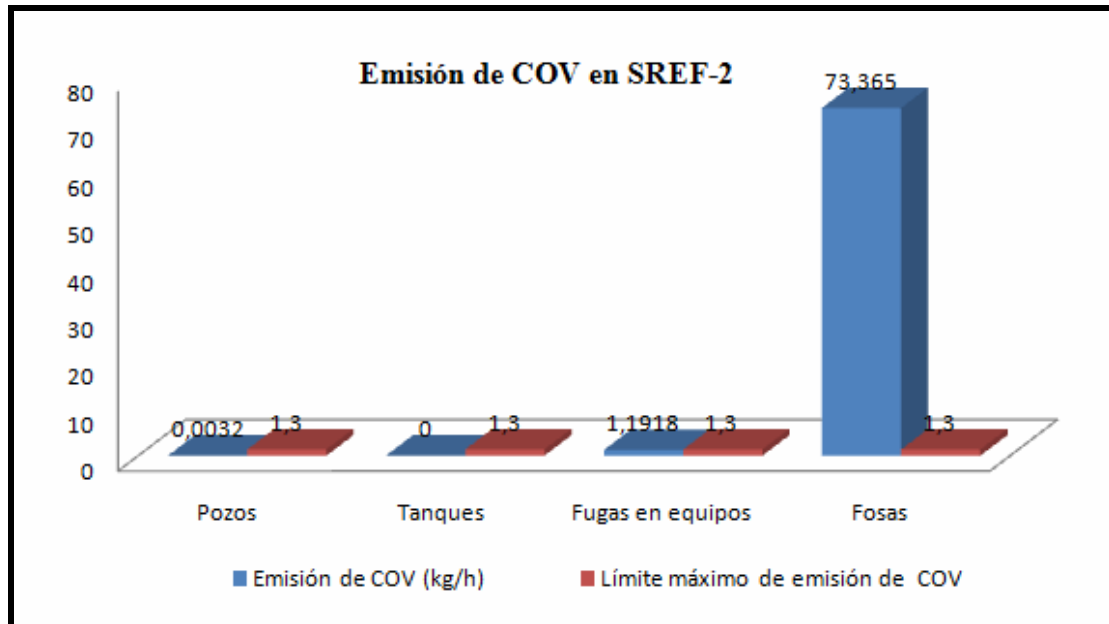


Figura 4.21 Valores de emisión de COV en SREF-2

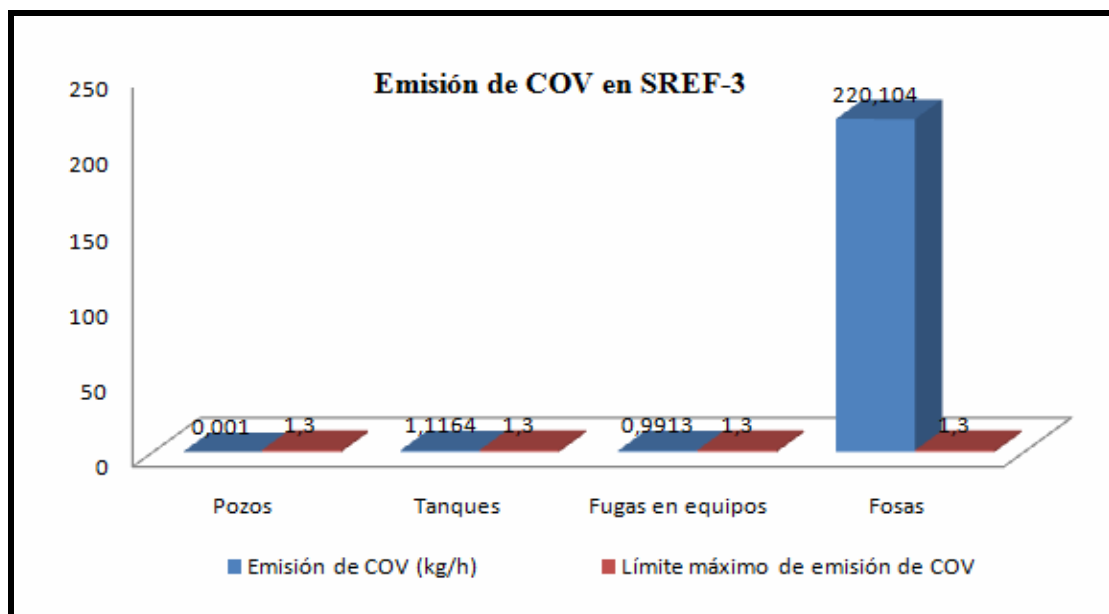


Figura 4.22 Valores de emisión de COV en SREF-3

En la figura 4.23 se muestran las emisiones de COV en cada una de las fuentes de SREF-4 y se comparó con el límite, obteniéndose que sólo las emisiones

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

generadas en los pozos no superan el límite y siendo las fosas las de mayor emisión de gases contaminantes.

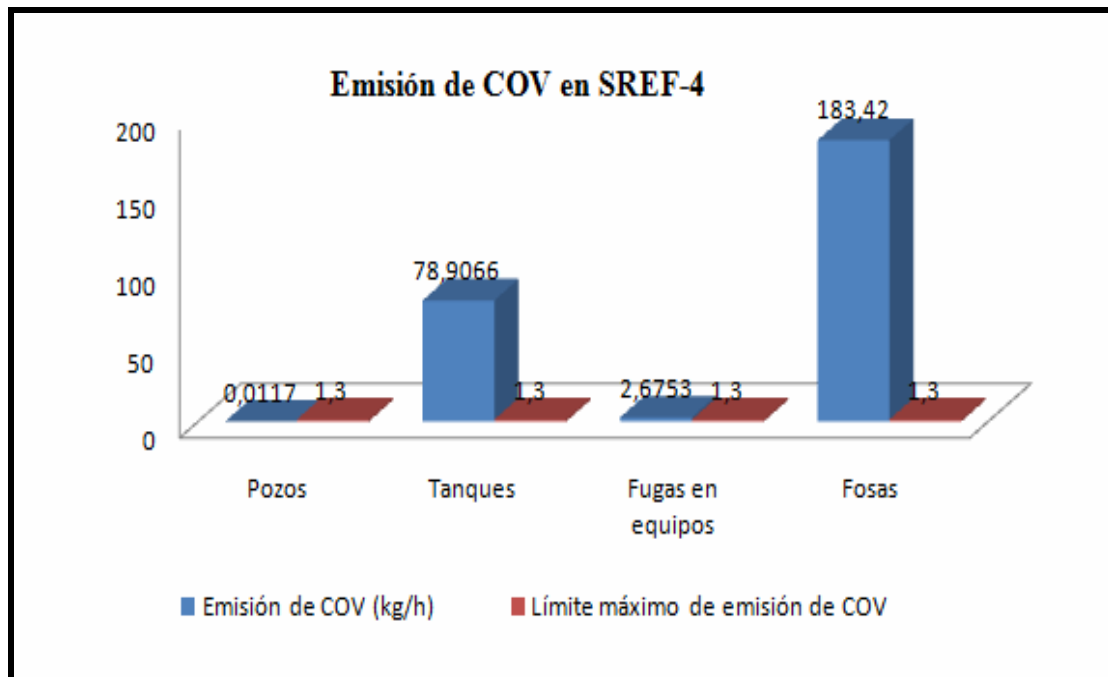


Figura 4.23 Valores de emisión de COV en SREF-4

En la figura 4.24 y 4.25 se muestran las emisiones de COV en cada una de las fuentes de SREF-5 y SREF-6 respectivamente comparándolas con el límite de emisión, observándose que las fuentes que superan los límites son los tanques de almacenamiento y las fosas, siendo las fosas la de mayor emisión.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

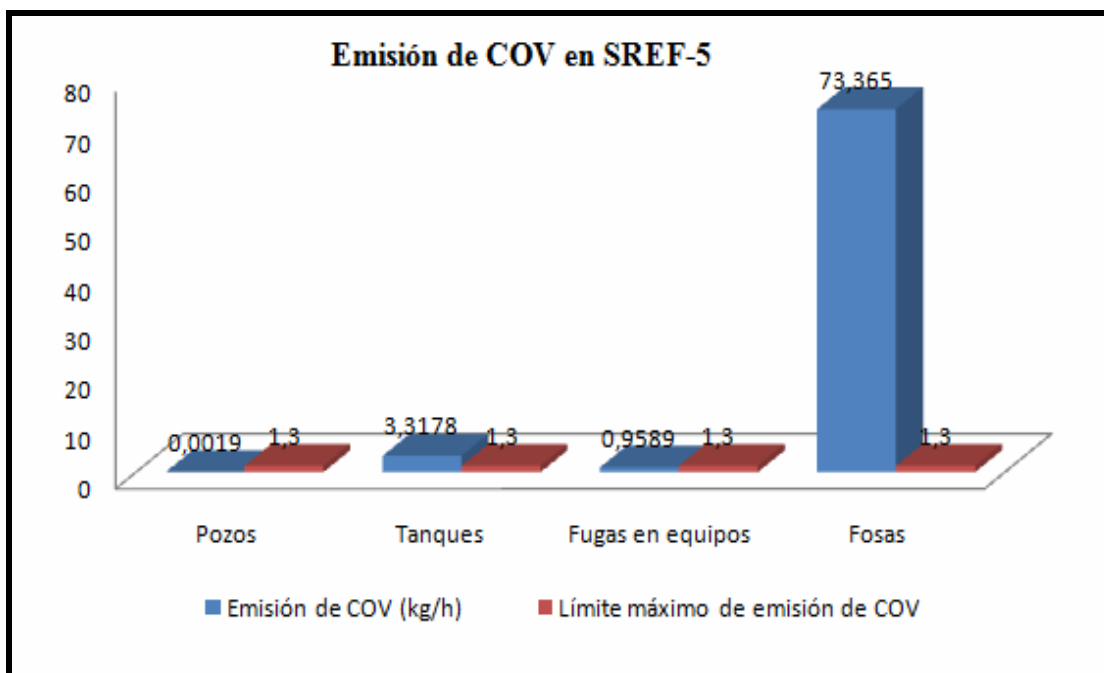


Figura 4.24 Valores de emisión de COV en SREF-5

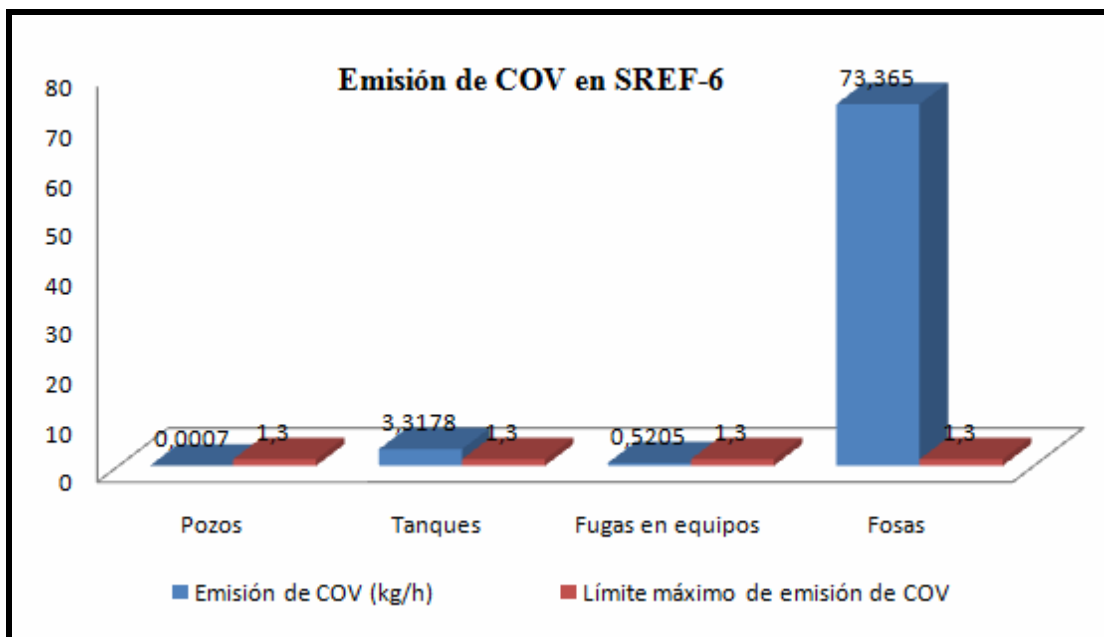


Figura 4.25 Valores de emisión de COV en SREF-6

4.6 Proposición de estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo de estudio

Las propuestas de estrategias planteadas se realizaron con la finalidad de disminuir los impactos sobre la calidad del aire en el campo Santa Rosa, a partir de la disminución de las emisiones de gases contaminantes (COV) generadas en el sistema de producción de dicho campo. Estas estrategias se describen a continuación:

- Adecuación de techos flotantes para los tanques de techo fijo; con esto se elimina el espacio entre la superficie del líquido y el techo del tanque, para evitar la evaporación y posterior venteo.
- Las mantas o cubiertas plásticas operan de la misma manera que un techo flotante. Las mantas pueden estar fabricadas con cloruro de polivinilo (PVC), superpoliamidas, poliésteres y otros materiales. En algunos diseños, en la parte interior de la manta que hace contacto con el líquido se disponen flotadores del mismo material plástico. Las mantas pueden tener orificios provistos de mangas para toma de muestras y otras mediciones. Estos dispositivos se equipan con diafragmas flexibles que minimizan las emisiones.
- Los sistemas de balance, mediante espacios variables o mecanismos de expansión (diafragmas flexibles), permiten mantener los vapores desplazados durante las operaciones de llenado. Si la cantidad de vapores excede la capacidad del sistema, es necesario contar con un sistema auxiliar de incineración.
- Los sistemas de recuperación de vapores son superiores a los sistemas de balance, en cuanto a control de emisiones. Estos sistemas pueden manejar los

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

vapores desplazados durante las operaciones de llenado, así como también los generados durante el almacenamiento normal ("respiración del tanque"). Los vapores son recolectados y acumulados a presión, para luego enviarlos a unidades de recuperación de hidrocarburos. Estos sistemas están formados por una red de tuberías para los vapores y tanques auxiliares, algunos de los cuales tienen atmósferas inertes que minimizan los riesgos de explosión y fuego.

- Otros métodos para controlar las emisiones en contenedores de almacenamiento son: aumento de la presión, modificación de la saturación de los vapores mediante la adición de aire, selección correcta de la pintura que protege el exterior del tanque (esto determina la cantidad de calor que recibe el tanque por radiación), aislamiento térmico y en algunos casos enfriamiento o refrigeración.
- Válvulas de alivio: aparte del mantenimiento periódico, la prevención de fugas en las válvulas de alivio se logra a través de la instalación de un disco de ruptura, colocado debajo de la válvula.
- Tuberías y bridas: bajo la influencia del calor, fricción y corrosión, las tuberías y las bridas pueden presentar fugas. Estas fugas pueden ser de líquido, vapor o ambos, y se minimizan mediante inspección y mantenimiento periódicos.

Tomando en cuenta las tasas de emisiones estimadas en las fuentes generadoras, de cada una de las estaciones del campo Santa Rosa; se pudo mostrar que las fuentes con mayor tasa de emisión fueron las fosas y de segundo los tanques de almacenamiento siguiendo con las fugas en equipos (válvulas y bridas) por lo que se propone:

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

- **En las fosas:**
 - Construir fosas de concreto con techos móviles.
 - Colocar mantas o cubiertas plásticas.

- **En tanques de almacenamiento de techo fijo:**
 - Adecuación de techos flotantes.
 - Colocar sistemas de recuperación de vapores.

- **En válvulas y bridas:**
 - Inspección y mantenimiento periódico.

4.7 Conclusiones

- 1.El sistema de producción del campo Santa Rosa está conformado por 6 estaciones de flujo, el Complejo Santa Rosa, 6 fosas asociadas a las estaciones y 193 pozos productores.

- 2.Las fuentes de emisiones identificadas en el campo fueron: los pozos, tanques de almacenamientos, fugas en equipos y las fosas; siendo las fosas la de mayor cantidad de emisiones.

- 3.Los gases contaminantes generados por las fuentes identificadas son compuestos orgánicos volátiles (COV).

- 4.Las estimaciones de emisiones fueron mayores en los tanques de almacenamiento de techo fijo y en las fosas asociadas a las estaciones.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

5. Las concentraciones de COV obtenidas a través del DISPER en los diferentes escenarios, superan los límites de calidad del aire establecidos por el ORAQI en el manual del DISPER 4.0 excepto en las estaciones SREF-2 y SREF-3.
6. La estación de flujo con mayor concentración de COV es SREF-1 con $5089,8532 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
7. En las estaciones SREF-1 y SREF-4 las emisiones de gases contaminantes (COV) producidas por las fuentes exceden los límites de emisión establecidos en la normativa nacional vigente, decreto 638 excepto las provenientes de los pozos.
8. Los tanques de almacenamiento y las fosas de todas las estaciones del campo Santa Rosa, son las fuentes de mayor emisión de gases contaminantes excediendo los límites de emisión establecidos en la normativa nacional vigente, decreto 638.
9. Las estrategias propuestas se basaron fundamentalmente en disminuir las emisiones de COV en las fuentes del sistema de producción (fosas, tanques, válvulas y bridas), y consigo el impacto ambiental atmosférico en el campo Santa Rosa.

4.8 Recomendaciones

- Para obtener una minimización de las emisiones de manera eficiente se debe tomar en cuenta las siguientes técnicas: control de inventario, modificaciones de producción/producto, reducción de volumen y recuperación/reutilización.
- Hacer estimaciones de emisiones haciendo muestreo directo en las fuentes.

Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusión y recomendaciones.

- Eliminar las fosas asociadas a las estaciones.
- Llevar a cabo un programa de detección de fugas y reparación en las estaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez, D. **“Estudio de dispersión de vapores de hidrocarburos provenientes de fosas recolectoras de condensado”**. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química. UDO, Anzoátegui (1999).
2. García, A. **“Diseño de un plan de adecuación ambiental para el control de emisiones atmosféricas de la Planta de Conductores de Aluminio del Caroní (CABELUM)”**. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química. UDO, Anzoátegui (2003).
3. Guarino, R. **“Estudio de los contaminantes atmosféricos más importantes en el proceso de corrosión atmosférica en el estado Anzoátegui”**. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química. UDO, Anzoátegui (2003).
4. Zúnico, M. **“Evaluación de la dispersión de emisiones atmosféricas (SO₂, H₂S, NO₂) de las fuentes fijas de un mejorador de crudo extrapesado”**. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química. UDO, Anzoátegui (2005).
5. PDVSA, **“Plan de desarrollo – Producción Gas Anaco”**, Gerencia de Infraestructura, Anaco (2007).
6. CIED PDVSA, **“Estaciones recolectoras de flujo”**, Maracaibo. (2000).
7. Manual de Ingeniería de Diseño PDVSA N° 90616.1.027, **“Separadores líquido vapor”**, Volumen 15, Venezuela. (1991).

8. Espert, V y Amparo, L. **“Dispersión de contaminantes en la atmósfera”**, Alfaomega grupo editor, primera edición, México (2004).
9. Sánchez, L. **“II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental”**. (2003) Disponible en: [http:// www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/](http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/)
10. Martínez, L. **“Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones”**, Instituto Nacional de Ecología Western Governors’ Association, primera edición, México, (2005). Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/457>
11. **“Guía ARPEL metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera”**, (1999). Disponible en: www.arpel.org
12. Geankopolis, C. **“Procesos de transporte y operaciones unitarias”**. 2^{da} edición. Compañía editorial Continental, S.A CECSA. México (1995).
13. **“Software DISPER”**, (2005) Disponible en: <http://www.canarina.com>
14. Manual de Diseño de Proceso, PDVSA MDP-09-AI-02. **“Minimización de emisiones de exploración, producción y en refinería”**. Venezuela (1996).
15. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Decreto N° 638 **“Normas de calidad de aire y control de la contaminación atmosférica”**. Caracas (1995).
16. **“The Emission Inventory Improvement Program (EIIP)”**, (1996). Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip>

17. Manual de inspección, PDVSA PI-11-01-02. **“Tanques apernados”**. Venezuela (1996).
18. **“Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos”**, Serie AP-42, quinta edición, (1995). Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/>
19. Perry, R., **“Manual del Ingeniero Químico”**. Editorial McGraw-Hill, 7^{ma} edición. Tomo I, México (2001).
20. Manual DISPER 4.0, **“Air pollution dispersion modeling software”**. Canarina. España (2005).
21. Manual de Diseño de Proceso, PDVSA MDP-09-AI-03. **“Sistema de control de emisiones”**. Venezuela (1996).
22. **“Venezuela tiempo – tiempo actual en Anaco”**.(2009) Disponible en: <http://www.fremeteo.com/default.asp?pid=21>

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Evaluación del impacto ambiental atmosférico generado por las emisiones del sistema de producción de gas en el área del campo Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Figueroa M., Noelia del V.	CVLAC: 16.486.255 E MAIL: Noeliafm@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC:

	E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Emisiones

Evaluación

Producción

Gas

Crudo

Contaminante

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Debido a la naturaleza de los procesos, las operaciones de las industrias petroleras generan consecuencias directas sobre el ambiente, entre las que destacan las emisiones atmosféricas. En los últimos años estas industrias han comenzado a preocuparse en la parte de producción por

los asuntos ambientales, buscando minimizar los impactos sobre el ambiente. En este trabajo se evaluó el impacto ambiental atmosférico generado por las emisiones del sistema de producción de gas en el área del campo Santa Rosa, PDVSA GAS Anaco. Para ello se identificaron en el sistema, las fuentes y los gases contaminantes provenientes de éstas, dando como resultado las fosas, tanques de almacenamiento, fugas en equipos, pozos, y como gases contaminantes los compuestos orgánicos volátiles (COV). Luego se procedió a estimar las emisiones provenientes de las fuentes identificadas en cada una de las estaciones de flujo, las cuales se llevaron a cabo a través de factores de emisión y modelos matemáticos; con la finalidad de establecer comparaciones con la normativa legal vigente (Decreto 638 referente a los límites de emisión de COV); obteniéndose que en todas las estaciones se supera el límite de emisión de COV. También se determinó la dispersión de los contaminantes en la atmósfera utilizando el software DISPER 4.0, encontrándose que las fuentes superan los límites de calidad del aire establecidos por el ORAQI en el manual DISPER 4.0. Ante estos resultados se propusieron estrategias para la disminución de los impactos sobre la calidad del aire en el campo estudiado.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Patiño, Rayda	ROL	CA	AS x	TU	JU
	CVLAC:	11.833.699			
	E_MAIL	Raydapatino@hotmail.com			
	E_MAIL				
Velásquez, Vicente	ROL	CA	AS	TU x	JU
	CVLAC:	5.468.828			
	E_MAIL	VELASQUEZVD@PDVSA.COM			
	E_MAIL				
Millán, Maritza	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	4.009.400			
	E_MAIL	Jmillans@gmail.com			
	E_MAIL				

Alvarez, Lucas	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	4.077.552			
	E_MAIL	Lalvarezm57@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010 AÑO	02 MES	23 DÍA
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Evaluación del impacto ambiental atmosférico.doc	Application / mword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Dpto. Gerencia de SIAHO PDVSA GAS ANACO (OPCIONAL)

TEMPORAL: 4 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:
Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:
Pre-grado

ÁREA DE ESTUDIO:
Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:
Universidad De Oriente / Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

DE ACUERDO CON EL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO, ÉSTOS SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO.

AUTOR
NOELIA FIGUEROA

TUTOR
Prof. Rayda Patiño

JURADO
Prof. Maritza Millán

JURADO
Prof. Lucas Alvarez

YRAYMA SALAS
POR LA SUBCOMISION DE TESIS