



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA



**MODELO DE GESTIÓN DE GAS CARBÓNICO PARA UNA NUEVA GERENCIA
AMBIENTAL EN UNA REFINERÍA DE PETROLEO.**

Autor: Yelixe Acevedo

Tutor: Dra. Zulay Niño

Bárbula, diciembre 2015.-



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA



**MODELO DE GESTIÓN DE GAS CARBÓNICO PARA UNA NUEVA GERENCIA
AMBIENTAL EN UNA REFINERÍA DE PETROLEO.**

Autor: Yelixe Acevedo

**Tesis Doctoral presentada ante el
Área de Estudios de Postgrado de la
Universidad de Carabobo para optar
al título de Doctor en Ingeniería
Ambiental**

Bárbula, diciembre 2015.-

ACTA DE DISCUSIÓN DE TESIS DOCTORAL

VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 146 del citado Reglamento, para estudiar la Tesis Doctoral en Ingeniería titulada:

"MODELO DE GESTIÓN DE GAS CARBÓNICO PARA UNA NUEVA GERENCIA AMBIENTAL EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO"

presentada por:

Yelixe Nahit Acevedo Barrientos

C.I. 15.008.864.

Ha sido calificada:

APROBADO []

REPROBADO []

Dr. Cesar Seijas
Jurado Presidente

Dr. Sergio Pérez.
Jurado Miembro

Dr. Franklin Paredes.
Jurado Miembro

Valencia, 15 de Diciembre del 2015.-

Acta de discusión.	iii
Agradecimiento.	iv
Dedicatoria.	v
Índice general.	vi
Resumen.	xii
Capítulo I. Introducción.	
I.1. Planteamiento del problema.	14
I.2. Objetivos de la investigación.	20
I.3. Importancia y justificación de la investigación.	21
Capítulo II. Marco Teórico.	
II.1. Antecedentes.	24
II.2. Bases teóricas.	29
II.2.1 Petróleos de Venezuela, SA.	29
II.2.2 Cuantificación de las principales fuentes de CO ₂ .	30
II.2.3 Inventario de gases de efecto invernadero.	32
II.2.4 Escenarios y evaluación conceptual de riesgos ambientales.	33
II.2.5 Vialidad de captación, almacenamiento de los gases de CO ₂ .	36
II.2.6 Modelo de simulación.	52
II.2.6.1. Modelación.	53
II.2.6.2. Dispersión de contaminantes en la atmosfera.	53
II.2.6.3. Modelos de dispersión atmosféricos.	57
II.2.6.4. Modelo climático (jerarquía).	59
II.2.6.5 Modelo de ecuaciones de estado de gases.	61
II.2.7 Sistema de información geográfica.	81
II.2.8 QGIS (Quantum GIS).	87
II.2.9 Normas regulatorias. Aspectos legales.	90
II.2.10 Planes de educación ambiental, emergencia y contingencia.	107
Capítulo III. Marco Metodológico	
III.1. Tipo de investigación y estudio.	110
III.2. Población y muestra.	111
III.3. Procedimiento metódico.	113
III.3.1. Principales fuentes y cuantificación de gases de CO ₂ en la zona de estudio.	113
III.3.1.1. Ubicación de principales fuentes.	
III.3.1.2. Marco Normativo.	
III.3.1.3. Inventario de gases según criterios locales.	
III.3.2. Evaluación conceptual de riesgos ambientales con respecto a los gases, estableciendo distintos escenarios del sistema.	117
III.3.2.1. Posibles escenarios de riesgos ambientales.	
III.3.2.2. Evaluación de escenarios.	
III.3.3. Vialidad de captación y almacenamiento de CO ₂	123
III.3.3.1. Comparación de diferentes procesos y sistemas de captación del gas.	
III.3.3.2. Comparación de diferentes procesos y sistemas de almacenamiento del gas.	
III.3.3.3. Compilación y análisis de información de campo y cartográfica a	

	través de SIG.	
III.3.4.	Modelos que permitan la cuantificación y validación del CO ₂ Comparación de diferentes procesos y sistemas de captación del gas.	139
	III.3.4.1. Modelos de cuantificación de gas.	
III.3.5.	Planes de educación ambiental, contingencia y emergencia con respecto a las emisiones de CO ₂ en la zona de estudio.	143
Capítulo IV. Presentación de Resultados y su discusión.		
IV.1.	Principales fuentes y cuantificación de gases.	146
IV.2.	Evaluación conceptual de riesgos ambientales con respecto a los gases, estableciendo distintos escenarios del sistema.	157
IV.3.	Vialidad de captación y almacenamiento de los gases.	160
IV.4.	Cuantificación y validación de gases.	214
IV.5.	Formulación de planes de de educación ambiental, contingencia y emergencia con respecto a las emisiones de gases en la zona de estudio.	223
	Conclusiones y recomendaciones.	233
	Bibliografía.	235
	Anexos.	245

Índice de Figuras

Capítulo II. Marco Teórico.

Figura II.1.	Esquema de los procesos de refinación.	30
Figura II.2.	Modelo de caracterización para el control de las actividades.	33
Figura II.3.	Características de las cuatro líneas evolutivas y familias de escenario.	34
Figura II.4.	Panorámica general de las emisiones de gases de efecto invernadero.	34
Figura II.5.	Visión general de los procesos y los sistemas de captación de CO ₂ .	37
Figura II.6.	Métodos de transporte de CO ₂ .	38
Figura II.7.	Métodos de almacenamiento de CO ₂ .	38
Figura II.8.	Hidrodinámica costera.	40
Figura II.9.	Perfil de velocidad de deriva según Stokes.	42
Figura II.10.	Perfil de velocidad de deriva según Longuet-Higgins.	42
Figura II.11.	Estructura tridimensional de velocidades en aguas intermedias y zona de rompientes.	43
Figura II.12.	Oleaje inducido por la variación del nivel y las corrientes en la zona de rompientes.	44
Figura II.13.	Perfil de velocidades en flujos moderadamente y altamente turbulentos.	46
Figura II.14.	Velocidad de sedimentación respecto al tamaño de grano según la fórmula de Stokes.	47
Figura II.15.	Modelo de dispersión de gases.	56
Figura II.16.	Fuente imaginaria para describir matemáticamente la reflexión gaseosa en la superficie terrestre.	71
Figura II.17.	Efecto de la reflexión del suelo sobre la concentración de contaminantes en la dirección del viento.	72
Figura II.18.	Perfiles de concentración a lo largo de la línea central, en la dirección x y en la dirección z.	73
Figura II.19.	Desviación normal, σ_y , en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento.	75
Figura II.20.	Desviación normal, σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento.	75
Figura II.21.	Distancia de la máxima concentración en la dirección del viento y valor máximo Cu/Q en la dirección del viento como una función de la clase de estabilidad y de la altura efectiva, en metros.	78
Figura II.22.	Esquema básico del SIG.	83
Figura II.23.	Cartografía automatizada.	
Figura II.24.	Infraestructura.	84
Figura II.26.	Gestión territorial.	85
Figura II.27.	Ambiente.	85
Figura II.28.	Gestión social.	86
Figura II.29.	GeoMarketing.	88
Figura II.30.	Petróleo.	88
Figura II.31.	Derrames.	89

Capítulo III. Marco Metodológico.

Figura III.1.	Plano General de la Refinería El Palito	111
Figura III.2.	Transectas resultantes para el levantamiento florístico y seguimiento de la cuenca en estudio.	128
Figura III.3.	Esquema de las estaciones climatológicas.	134
Figura III.4.	Procedimiento metodológico para el estudio del mar.	136
Figura III.5.	Fases aplicadas en la elaboración del SIG	137
Figura III.6.	Fases aplicadas al SIG.	137
Figura III.7.	Flujograma de cálculo del modelo.	139

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados.

Figura IV.1.	Ubicación de posibles puntos.	146
Figura IV.2.	Ubicación de los puntos a muestrear.	150
Figura IV.3.	Limites de la cuenca del Río Sanchón.	165
Figura IV.4.	Mapa preliminar de vegetación de la cuenca del rio Sanchón, estado Carabobo utilizando el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI)	172
Figura IV.5.	Mapa de vegetación	173
Figura IV.6.	Imágenes Multiespectrales del Satélite Miranda.	175
Figura IV.7.	Precipitación media anual en la cuenca del Río Sanchón.	176
Figura IV.8.	Modelo digital de temperatura en la Cuenca del Río Sanchón.	177
Figura IV.9.	Modelo digital de evapotranspiración.	178
Figura IV.10.	Zonas de vida.	180
Figura IV.11.	Modelo digital de meses húmedos	181
Figura IV.12.	Mapa de geología.	183
Figura IV.13.	Modelo de clases de pendientes.	184
Figura IV.14.	Unidades geomorfológicas por pendientes	185
Figura IV.15.	Unidades geomorfológicas por vertientes.	186
Figura IV.16.	Mapa de suelo.	187
Figura IV.17.	Mapa capacidad de uso.	189
Figura IV.18.	Mapa de erosión.	191
Figura IV.19.	Mapa de riesgo de erosión actual.	193
Figura IV.20.	Producción de agua.	194
Figura IV.21.	Escorrentia superficial.	195
Figura IV.22.	Relación Flujo de base / producción de agua.	196
Figura IV.23.	Recarga de acuíferos.	197
Figura IV.24.	Distribución de las unidades en la cuenca.	198
Figura IV.25.	Zona de estudio de mar y resultados de movimiento de agua.	201
Figura IV.26.	Análisis de sensibilidad de la zona del mar con respecto a especies marinas.	207
Figura IV.27.	Absorción por usos de suelo	209
Figura IV.28.	Añadir Capa WMS	210
Figura IV.29.	Nueva capa.	210
Figura IV.30.	Configuración la URL de la Conexión (Huso 19).	211
Figura IV.31.	Simulaciones de 30 m y trayectorias.	211
Figura IV.32.	Visualización de capas en Qgis sin red PDVSA.	212
Figura IV.33.	Visualización de capas en Sapco con red PDVSA.	212
Figura IV.34.	Visualización de capas en Sapco con red PDVSA.	213
Figura IV.35.	Visualización de capas en Sapco e imágenes satelitales con red PDVSA.	214
Figura IV.36.	Visualización de capas en Sapco e imágenes satelitales y puntos de control.	214

Índice de Tablas

Capítulo II. Marco Teórico.

Tabla.II.1.	Condiciones meteorológicas que definen las clases de estabilidad de Pasquil.	58
Tabla II.2.	Coefficiente exponencial (p).	68
Tabla II.3.	Velocidad de fricción e función de la altura de referencia.	74
Tabla II.4.	Clave de las categorías de estabilidad.	76
Tabla II.5.	Ecuaciones para la determinación de los Coeficientes de Dispersión Vertical y Horizontal.	77
Tabla II.6.	Valores de las constantes de la ecuación de Ranchoux.	79

Capítulo III. Marco Metodológico.

Tabla.III.1.	Criterios de selección de la zona en estudio.	112
Tabla III.2 y 3	Principales emisiones de gases en la unidad de negocio - fugitivas en la Refinación.	113
Tabla III.4.	Características de los puntos a muestrear indicando los valores teóricos de concentración y tasa de emisión.	114-115
Tabla III.5.	Datos meteorológicos introducidos al modelo	122
Tabla III.6.	Resumen de parámetros introducidos al modelo.	123
Tabla III.7.	Transectas del Sector El Revolver, cuenca del río Sanchón, Carabobo	126
Tabla.III.8.	Transectas del Sector Quebrada de Oro, cuenca del río Sanchón, Carabobo	26
Tabla III.9.	Transectas del Sector Casa Teja, cuenca del río Sanchón, Carabobo	129
Tabla III.10.	Imágenes SPOT identificadas para la cuenca del río Sanchón, Carabobo	129
Tabla III.11.	Imagen Miranda identificada para la cuenca del río Sanchón, Carabobo	129
Tabla III.12	Composición del Gas Natural	130
Tabla III.13.	Clases de pendientes.	130
Tabla III.14	Estaciones con registros de precipitaciones.	131
Tabla III.15	Datos de la estación de registro de temperaturas.	132
Tabla III.16.	Caracterización de la zonas de vida.	133
Tabla III.17	Composición del gas natural utilizado en la simulación	142

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados.

Tabla IV.1.	Criterios de Selección dentro de Refinería.	147
Tabla IV.2.	Criterios de Selección fuera de Refinería.	147
Tabla IV.3.	Resultados de estudio de partículas totales suspendidas, en las adyacencias de Refinería.	149
Tabla IV.4.	Resultados de estudio de Dióxido de nitrógeno (NO _x forma de NO ₂), en las adyacencias de Refinería.	149
Tabla IV.5.	Resultados de estudio de Dióxido de azufre (SO ₂), en las adyacencias de Refinería.	150
Tabla.IV.6.	Resultados de estudio de Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S), en las adyacencias de Refinería.	150
Tabla IV.7.	CO promedio /año emitidas	153

Tabla IV.8.	NO _x (en forma de NO ₂) promedio /año emitidas.	154
Tabla IV.9.	SO _x (en forma de SO ₂) promedio /año emitidas. tn/año	155
Tabla IV.10	Resultados del escenario N° 1	157
Tabla IV.11.	Concentraciones obtenidas con escenario N° 1 y tres contaminantes	158
Tabla IV.12.	Resultados escenario N° 2	159
Tabla IV.13.	Resultados escenario N° 3	159
Tabla IV.14.	Resultados escenario único, Peligros Ambientales Catastróficos	160
Tabla IV.15.	Clases Obtenidas en la Clasificación Supervisada aplicada en la Imagen Miranda para la cuenca del río Sanchón, Carabobo	171
Tabla.IV.16.	Explicación del Mapa de vegetación.	173
Tabla IV.17.	Clases de erosión actual.	192
Tabla IV.18.	Criterios de ordenamiento para aplicación de investigación, monitoreo y control.	200
Tabla IV.19.	Asignación de Usos y Actividades en las Unidades y Subunidades de ordenamiento de la Zona Protectora y Reserva Nacional Hidráulica Cuenca del río Sanchón, Carabobo	201
Tabla IV.20.	Localización de la zona de descarga	203
Tabla IV.21.	Absorción por usos de suelos	209
Tabla IV.22.	Propiedades de mezcla gas natural-aire y de los gases de combustión	215
Tabla IV.23.	Composición del gas combustible	215
Tabla IV.24.	Valores obtenidos para las principales unidades productoras de gas a partir del Modelo A.	217
Tabla IV.25.	Resultados totales de las emisiones de CO ₂ . a partir del Modelo A	217
Tabla IV.26.	Cálculo de velocidades.	217
Tabla IV.27.	Datos a utilizar en el cálculo de velocidades	218
Tabla IV.28	Resultados obtenidos del Modelo B.	218
Tabla IV.29.	Resumen de los datos utilizados Vs Calculos y Grafica.	218
Tabla IV.30.	Comparación Valores reales de CO ₂ Vs Valores de Modelos.	219
Tabla IV.31.	Emisiones de GEI de emisión para la quema en la REP.	221
Tabla IV.32.	Factor de emisión de gases de efecto invernadero, por quemas.	222
Tabla.IV.33.	Factor de emisión para las emisiones de CO ₂ (kg CO ₂ / t entrante refinería), por quemas	223
Tabla IV.34.	Factor de emisión para las emisiones de CO ₂ (kg CO ₂ / t entrante refinería), por quemas	224

MODELO DE GESTIÓN DE GAS CARBÓNICO PARA UNA NUEVA GERENCIA AMBIENTAL EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO.

Por: Acevedo Barrientos, Yelixe Nahit
Tutor: Zulay Niño
Diciembre 2015.-

RESUMEN

Esta investigación aportará elementos que servirán de base en la toma de decisiones para minimizar los efectos del cambio climático, sobre el ambiente y la humanidad. Se planteó la aplicación de un modelo de gestión de gas carbónico para una nueva gerencia ambiental en una refinería de petróleo, normalizando y estandarizando los métodos de trabajo en donde se obtuvo proyecciones futuras tomando decisiones orientadas al logro de una mayor calidad en el aire que se respira en la industria estudiada, lo que redundó en beneficios ambientales para los residentes de la zona en estudio, al mismo tiempo asegurara a las generaciones futuras el acceso a los recursos que garanticen soporte a la salud, prosperidad y nivel de vida acorde a las aspiraciones sociales. Para ello se: 1. Cuantificó las principales fuentes de gases de CO₂ en la zona de estudio, 2. Evaluar conceptualmente los riesgos ambientales, estableciendo distintos escenarios del sistema y comparando características particulares de la zona, 3. Analizar la viabilidad de captación y almacenamiento de gas que se produce en la industria estudiada 4. Desarrollar un modelo que permita la cuantificación y validación del CO₂ producido, 5. Desarrollar planes de educación ambiental, contingencia y emergencia con respecto a las emisiones de CO₂. Obteniendo como resultado final la estimación y análisis del aporte en gases de combustión (CO₂) y otros gases emitidos por el proceso de la industria en su entorno inmediato y sobre los receptores sensibles ubicados dentro del área de influencia.

Palabras claves: cambio climático, gas carbónico, nueva gerencia ambiental, modelo de cuantificación y validación del CO₂ producido y planes de educación ambiental

Agradecimientos

A Dios el de: Abraham, mis padres y el mío, quien dio todo para terminar esta investigación, sin él no fuera realidad.

A mis padres, hermanas y sobrino, quienes me han apoyado en todas las metas que me propongo, siempre están para mí. (Disculpas por robarles el tiempo que les pertenecía).

A Alejandro Ramos, Zulay Niño y Jean Armando por sus infinitas palabras de ayuda, más que tutores fueron amigos de crecimiento espiritual y profesional.

A PDVSA Refinería El Palito y la Universidad de Carabobo por abrir sus puertas y formar a este profesional que sin duda entregará sus conocimientos al crecimiento del país que tanto lo necesita.

A cada uno de los que participaron en este caminar académico algunos siguen, otros terminaron y unos se quedaron; pero igual mil gracias por el granito de arena.

Sin palabras...

Dedicatoria.

El presente se lo dedico a:

Dios, mis padres, hermana y Gerardo.

Estefanía y Robert, este es mí:

legado y ejemplo de que SI se puede!

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En esta sección se define el motivo de la investigación y describe el punto de partida del análisis. Igualmente, se dan a conocer los objetivos trazados y las razones que justifican y cuáles fueron las limitaciones el presente estudio.

I.1.- Planteamiento de problema

Actualmente la explosión demográfica y el incremento del proceso de industrialización han generado un crecimiento en la demanda de los recursos naturales. Aunado, el actual calentamiento global persistirá durante varios siglos y comprende complejas interacciones entre procesos climáticos, ambientales, políticos institucionales, sociales y tecnológicos. Según el programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP; 1997) puede tener considerables consecuencias internacionales e intergeneracionales en el contexto de objetivos generales de la sociedad como equidad y desarrollo sostenible.

En el 2009, el Servicio Meteorológico Nacional del Reino Unido (UNEP; 2009) indicó, que sólo en los últimos 100 años las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), han aumentado 30%, atribuido no solo a efectos o causa naturales, sino a la producción de energía proveniente de la quema de combustibles fósiles. Se prevé para el año 2050, un aumento del 100% en las concentraciones de los GEI, con respecto a los niveles de la era pre-industrial. (UNEP; 1997)

En el año 1988 motivado a la gran preocupación a que se ha dado a escala mundial, fue creada una organización de carácter global denominada Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC); con la representación de más de 100 países. Su objetivo principal era estudiar el cambio climático y proponer un conjunto de acciones para resolver o mitigar la problemática. En el año 1990, se propuso un tratado mundial denominado Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En 1995, el IPCC elaboró un informe donde se determinó, la influencia inequívoca de la actividad humana en el incremento de la temperatura media de nuestro planeta. (IPCC; 2012).

Sin embargo, ante la indiferencia de los países en asumir compromisos voluntarios en la reducción de emisiones de GEI, el 11 de diciembre de 1997 en la ciudad de Kyoto, Japón,

se adoptó el llamado Protocolo de Kyoto (Lenntech; 2012), donde por primera vez los gobiernos aceptaron restricciones legalmente vinculantes en la emanación de los GEI, estableciendo y reglamentando obligaciones para los 38 países desarrollados, adquiriendo la responsabilidad de disminuir un promedio del 5,2% sus emisiones de GEI entre los años 2008 – 2012, con respecto a las emitidas en 1990 (denominado Annex I).

La Agencia Europea de Medio Ambiente (2004), resaltó que los sectores energético y económico, son responsables de los procesos de la energía primaria para obtener sus productos finales, de fuentes de emisiones de sustancias acidificantes y de GEI, siendo determinante en todos estos procesos, el uso del carbón como fuente en energética quien ejerce mayores presiones debido a los fuertes niveles de emisiones de GEI, acidificantes y partículas asociadas a su consumo, el petróleo genera una menor cantidad, y el gas natural es el más limpio de los combustibles fósiles.

Sapre (2001) citado por Martín (2005), expone que la contribución de emisiones de CO₂ en la industria del petróleo y el gas, a nivel mundial en el año 1998, alcanzó la cifra cercana a los 2.300 Mt de CO₂ equivalente, lo que representó, aproximadamente, el 8% del total de las emisiones antrópicas mundiales; que van desde la producción del petróleo o gas hasta la disposición final en los lugares de consumo de los combustibles, pasando por las etapas intermedias de transporte, refinado y transporte capilar (proceso denominado Well to WheelF). Existen fuentes de CO₂ relacionadas con el consumo de energía y fuentes propias del proceso; en el procesamiento del petróleo, se produce aproximadamente el 70-80% del total de emisiones de CO₂, a lo largo de toda la cadena de producción de la industria del petróleo y el gas.

Por su parte Martín (2005), precisó la contribución de las emisiones de las refinerías con respecto al global de las emisiones antrópicas, tomando como dato actualizado las emisiones del año 2000. Ese año las refinerías de petróleo generaron aproximadamente 764 Mtn de CO₂ y 0,1 Mtn de CH₄, lo que supuso el 3,2 % de las emisiones de GEI por causa antrópica. En cuanto a la distribución geográfica de estas emisiones, Canadá y EEUU, tienen instaladas la mayor capacidad de refinación del mundo con casi el 34% de las emisiones de carbono equivalente relacionadas con la refinación de combustibles. Estos dos

países, a su vez representan el 25% de consumo de combustibles en las refinerías a nivel mundial. Las evoluciones y proyecciones esperadas siguen un patrón muy similar al resto de las refinerías europeas.

La contaminación ambiental es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, pero está lejos de ser exclusivamente asociada con ellas, el mundo físico es dinámico, en constante re-arreglo. También es un fenómeno social, las actividades comunitarias del hombre han creado un nuevo orden de subproductos; resultando el crecimiento de la contaminación del ambiente que circunda el hábitat del hombre. (Cordère; 2010)

Dos reportes científicos publicados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC; 2001, 2008) revelan la existencia en los glaciares de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso. Los hallazgos citados anteriormente implican que las concentraciones de GEI encontradas, deben ser consideradas como potenciales responsables de daños e impactos. La variación del clima puede entenderse a partir de la observación en las capas internas de hielo en la Antártida durante los últimos 500.000, encontrándose la presencia de polvos, gases y lluvias (IPCC; 2001, 2008). A partir de la revolución industrial el uso del combustible fósil se incrementó drásticamente y consecuentemente todo el espectro de gases, alcanzando niveles sin precedentes en los últimos 400.000 años. El sistema climático varía en forma natural y a causa de GEI.

En la práctica se habla de calentamiento global para referirse al calentamiento observado durante las últimas décadas. La temperatura se ha elevado desde finales del siglo XIX debido a la actividad humana, principalmente por las emisiones de dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarburos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6), que incrementan el efecto invernadero (Cordère; 2010). Los Modelos de Simulación Climática predicen que las temperaturas continuarán subiendo en el futuro si prosiguen las emisiones de GEI (IPCC; 2008). Es necesario enfatizar que el calentamiento global y el efecto invernadero no son sinónimos, más bien se cree que el efecto invernadero sería la causa del calentamiento global observado. El efecto invernadero puede ser considerado como el efecto natural que

ocurre normalmente en la tierra o bien como el efecto implicado que resulta de la emisión de gases como consecuencia de la actividad humana (Cordère; 2010).

Según Mark Demchuk (2008) una de las formas de prevención es captar las emisiones de carbono de las centrales térmicas tradicionales para enterrarlas en el fondo de los océanos o bajo tierra, en yacimientos de petróleo o carbón, para impedir que el gas carbónico (CO_2) se extienda en la atmósfera. El CO_2 actúa como un solvente que permite volver las reservas de petróleo más móviles. En general, se inyecta agua, lo que permite extraer 30% de los recursos; pero inyectando gas carbónico se alcanzaría un porcentaje de 40% a 50%.

Muchos científicos consideran que parte de la solución a corto plazo (en las próximas décadas) consiste en captar y almacenar CO_2 proveniente de los procesos que crean las corrientes más grandes o más concentradas de CO_2 . El desarrollo de estos sumideros de CO_2 creados por el hombre permitiría que el mundo siga utilizando sus recursos energéticos más económicos y abundantes, reduciendo al mismo tiempo las emisiones de CO_2 de forma sustancial. (Jaude et al, 2010).

Según, Jaude et al. (2010) el objetivo de la captura es no emitir CO_2 a la atmósfera. El combustible quemado contiene el carbono que después se transformará en CO_2 . El nombre de la tecnología depende de donde se actúe dentro de un proceso de combustión convencional. Existen procesos de CO_2 que de manera natural ocurren como respuesta de la interacción de la atmósfera con distintos componentes del ecosistema.

Como los océanos son un sumidero natural de CO_2 , al aumentar el porcentaje de CO_2 en la atmósfera el nivel de dióxido de carbono en los océanos también aumenta, incrementándose la acidez del agua. La cantidad del gas disuelto en el océano depende de la temperatura y la presión. Se observa que cada día se depositan 25 millones de toneladas de carbono lo cual ha supuesto una acidificación del medio con un consiguiente problema para aquellos organismos con estructuras calcáreas (Jaude et al, 2010). El fitoplancton obtiene carbono base de CO_2 y es el comienzo de la cadena alimentaría marina. El plancton y otros organismos marinos extraen CO_2 del agua marina para construir sus esqueletos y conchas de carbonato cálcico. Este proceso retira CO_2 del agua, y permite que el océano absorba más CO_2 de la atmósfera. Los esqueletos y conchas de carbonato cálcico caen al fondo del

océano, en donde los organismos mueren. De hecho, el zooplancton y el krill antártico fomentan la formación de fondo marino de carbono. Es un proceso llamado "bomba biológica", y según algunas teorías, explica la acumulación de carbono orgánico en los fondos marinos y los yacimientos de combustibles fósiles. De este modo se piensa aprovechar esta manera natural de forma controlada y acelerada para capturar y almacenar CO₂. Se puede aumentar la producción de plancton con nanopartículas de hierro, llamadas hematitas o sulfato de hierro. En el océano el hierro estimula la producción de plancton, pues es un nutriente. Los experimentos llevados a cabo en aguas a 3.600 metros de profundidad muestran que el CO₂ líquido se convierte en sólido, más denso que el agua, donde la flotabilidad negativa lo hunde en el fondo marino sin causar daños ecológicos, para luego reaccionar y formar hidratos de metano que poco a poco se disuelven en las aguas de alrededor. El hidrato de metano es hielo que contiene gran cantidad de metano en su estructura cristalina. Los fondos oceánicos contienen grandes depósitos de hidratos de metano. Se cree que estos hidratos se formaron por migración del gas natural a lo largo de fallas geológicas, y allí cristalizaron en contacto con el agua fría del océano.

En el año 2008 A. Koutavas publicó en el número 26 de la revista Dendrochronologia (p 13-19) un artículo que mostraba lo que podrían ser las primeras evidencias del efecto del aumento de la concentración de CO₂. Este aumento se vería reflejado en el aumento del crecimiento radial del *Abies cephalonica* Link. Actualmente hay cierta controversia al respecto, pero los datos presentados por Koutavas de entrada son claros al no encontrar ningún otro factor que incremente el crecimiento de esta especie. Estaríamos ante un ejemplo de como afecta el CO₂ a la ecología de esta especie y se intuye de que el mismo efecto podría encontrarse en otras.

Venezuela es un país productor y exportador de energía, esta producción permite satisfacer la demanda del transporte de personas y mercancías, la manufactura de productos industriales, la iluminación (de electricidad), el funcionamiento de los aparatos electrodomésticos y la cocción de alimentos, para nombrar solo algunos de los elementos de confort o convivencia que gracias a la energía, simplifican y mejoran la vida de miles y millones de personas. La demanda mundial de energía se incrementa día a día con el

crecimiento de la población y con las acciones que buscan satisfacer las necesidades de desarrollo de los países. De lo anterior se colige que la explotación de las reservas de recursos de energía que posee Venezuela sea de tal importancia para el país, que representa el motor impulsor de su economía.

En el año 2005 el Ministerio del Ambiente de la República Bolivariana de Venezuela, en su Primera Comunicación Nacional del Cambio Climático publicó el Inventario de GEI de la Nación, revelando que el país emitió 0,48% con respecto al total de emisiones GEI efectuadas en el Planeta para ese año; la emisión de carbono per cápita fue de 1,3 toneladas-año, siendo similar al valor promedio mundial; no obstante Venezuela es el cuarto emisor de GEI de Latinoamérica después de México, Brasil y Argentina.

Según información suministrada por prensa-MARN (2004), Venezuela produjo una emisión total de 192.133 Gg de CO₂ equivalente, la absorción de 14.297 Gg por el “sector cambio de uso de la tierra y silvicultura”, generando una emisión neta de 177836 Gg de CO₂ equivalente: el sector energético tiene la mayor proporción de las mencionadas emisiones, 74,8% del total mencionado anteriormente, siguiendo el sector agrícola con el 17,2%. Como se dijo antes, las emisiones de CO₂ de la industria petrolera provienen de la combustión de gas natural en las calderas, hornos, compresores, generadores y motobombas de las inhalaciones industriales. La mayor parte de estas emisiones ocurren en la explotación de crudo, refinación y manufactura de energía, por tal motivo es importante y se hace necesario estudiar el comportamiento en este sector de las emisiones de GEI.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de realizar un Plan Piloto desarrollando un modelo de gestión de gas carbónico para una nueva Gerencia Ambiental, el cual permita desarrollar técnicas y metodologías que mejoren el desempeño de la empresa en el tema de la prevención, control y mitigación de las emisiones de GEI, específicamente CO₂; lo cual redundaría en beneficios económicos, sociales, ambientales y por ende mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia de la Refinería estudiada.

Entre los negocios y actividades de las industrias petroleras de Venezuela, se toma como base de investigación la Refinería El Palito, ubicada en las costas del Estado Carabobo, perteneciente al municipio Puerto Cabello, actualmente procesa un promedio de 140 mil

barriles de crudo por día (PDVSA, 2014). Este complejo de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), se encarga del suministro de combustible para el centro occidente del país, con miras a aumentar su capacidad por el desarrollo de nuevos proyectos de expansión (2015-2019).

Con el cumplimiento de las metas previstas en la investigación se podrá obtener como resultado final la estimación y análisis del aporte en gases de combustión (principalmente CO₂) emitidos por el proceso de la industria en su entorno inmediato y sobre los receptores sensibles ubicados dentro del área de influencia. Actualmente la Refinería no posee un instrumento que permita proyectar valores de gases de CO₂ originados por los procesos, lo que afecta la toma de decisiones en las que estén involucradas las cantidades de gases producidas.

I.2.- Oobjetivos de la investigación

I.2.1.- Objetivo general

Desarrollar un modelo de gestión de gas carbónico para una nueva gerencia ambiental en una Refinería de petróleo.

I.2.2.- Objetivos específicos

Cuantificar las principales fuentes de emisión de gases de CO₂ en la zona de estudio desde el punto de vista técnico y económico.

1. Evaluar conceptualmente riesgos ambientales causados por el CO₂ en la zona estudiada, estableciendo distintos escenarios del sistema y comparando características particulares de la zona.
2. Analizar la viabilidad de captación, almacenamiento del CO₂, producido en la Refinería en estudio.
3. Determinar modelo que permita la cuantificación y validación de los gases de CO₂ en la zona de estudio.
4. Formular planes de educación ambiental, emergencia y contingencia con respecto a las emisiones de CO₂ en la zona de estudio.

Este trabajo está dividido en cuatro capítulos, en el capítulo II se presenta el marco teórico que lo sustenta, obtenido de la revisión de la bibliografía especializada. En el capítulo III se muestra la metodología utilizada tanto para el trabajo teórico como para el experimental. En el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos tanto experimentales como los correspondientes a los modelos matemáticos desarrollados y su correspondiente análisis, al final se incluyen las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio realizado.

I.3.- Importancia y justificación de la investigación.

Esta investigación surgió debido a la necesidad de poseer un inventario de gases generados por la Refinería para realizar y aplicar estudios de prevención, mitigación y limitación de los mismos. Aunque en Venezuela los niveles de emisión son muy bajos en relación a la emisión global, éstos pueden representar impactos socioeconómicos, ambientales y políticos, por tal motivo Venezuela firmó la Convención Marco de Naciones Unidas relativa a los cambios Climáticos (UNFCCC; 1992), su ratificación el 28 de diciembre de 1.994 y la Adhesión al Protocolo de Kyoto en el año 2004 y postKioto 2013-2020

Venezuela se suscribió con la finalidad de implantar políticas y planes de acción que permitan reducir las emisiones de origen humano de los GEI, aunque nuestro país no pertenece al grupo de los países del denominado Annex I, denominación que se le da a los países que deben reducir sus emisiones de gases con efecto invernadero en un promedio del 5,2 por ciento por debajo de sus emisiones en 1990 para el periodo 2008-2012; está ubicada en el 0.1 por ciento, estos niveles comparados con los de USA, China, Rusia, Japón, India, Alemania, Brasil y México, son insignificantes por lo que no es requerido reducir pero si es necesario aplicar estrategias que limiten la generación de emisiones de los GEI (IPCC; 2008).

Con este inventario de gases se propondrán alternativas de ecoeficiencia energética, a través de técnicas de captación y secuestro en emisiones de GEI ocasionadas en el procesado de la energía, que permitan mitigar el impacto ambiental de dichos gases, generando así una multiplicidad de beneficios, económicos y ambientales.

Este tipo de técnicas no se han sido aplicadas en Sur América, un caso práctico utilizado con éxito son las emisiones de CO₂ que están directamente relacionadas con consumo de

combustibles fósiles. En China se ajustó particularmente el uso del carbón como una fuente de energía; como medida aplicaron un impuesto sobre las emisiones de CO₂ que ayudaron a reducir dichas emisiones en 5,2% con respecto a lo establecido en el Protocolo de Kyoto. En este caso se analizó el impacto de los precios mundiales del petróleo y una combinación de ellos, generó la posibilidad de reducir las emisiones a un costo relativamente bajo. Lo anterior deja abierta la opción de ser extrapolado y aplicado en otras partes del mundo. (IPCC; 2008).

Este trabajo es novedoso por cuanto no se han realizado en Venezuela, de forma específica, estudios sobre las emisiones de CO₂ en la industria de Refinación de Petróleo. La investigación se orienta a encontrar respuesta de aplicar un modelo, generando así:

- Aportes teóricos que incentiven nuevas teorías que faciliten el adecuado uso de los gases y el mejor desempeño de la Gerencia en el ámbito ambiental, social y económico de la zona en estudio.
- Aportes prácticos ya que con la implementación de estas técnicas se disminuirá el impacto ambiental y la posibilidad de aplicarlas en todas las empresas procesadoras de energía proyectando distintos escenarios de comportamiento de los gases en la zona de estudio, estos resultados apoyarán la gestión de los distintos departamentos de Gerencia Ambiental de la Refinería.

Con la investigación se obtendrá:

- Valores y tiempos reales de emisiones, que permitirán predecir y aplicar medidas correctivas para normalizar las operaciones de la Refinería.
- Estimación del comportamiento de los gases en los futuros desarrollos con miras a posibles cambios de tecnología y usos; teniendo próximamente el proyecto de expansión de la Refinería 2015-2019 que duplicara el procesamiento y aumentará la producción en un 100%, esto incluye una dieta de hidrocarburo menos amigable (proveniente de la Faja del Orinoco) por tal motivo se deberá, instalar y optimizar las nuevas unidades procesos y emplear nuevas tecnologías para refinar, mejorar la materia prima donde resultará desechos (coquer) utilizando a su vez mayor energía,

con este procedimiento se obtendrá mayor porcentaje de azufre. Todo esto aplicable a los nuevos desarrollos de la zona (Pequiven, Pdvsa, Planta Centro, Bolipuertos entre otros)

- Eficiente uso de la Tecnología y el capital humano venezolano, ya que se cuenta con personal altamente capacitado en el área ambiental de la Refinería y poder conjugarse con los especialistas de la Universidades.
- Realización de Proyectos Diagnósticos preventivos y correctivos, según la eficiencia de la planta.
- Cumplimiento y seguimiento de políticas públicas nacionales como el **Proyecto Nacional Simón Bolívar 2007-2013** en su lineamiento **Venezuela: Potencia Energética Mundial, Plan de la Patria 2013 - 2015 y 2015 - 2019**

-Cumpliendo con los Objetivos

- Convertir a Venezuela en una potencia energética regional y fortalecer la integración energética latinoamericana y caribeña.
- Asegurar que la producción y el consumo de energía no tendrán impactos en la preservación del ambiente.

-Cumpliendo con el área estratégica: **Impacto del Cambio Climático.**

-Cumpliendo con sub áreas:

- Inventario y desarrollo de mecanismos y tecnologías para la prevención, control, mitigación y adaptación al cambio climático.
- Evaluación de potenciales sumideros de carbono.
- Inventario nacional de emisiones de GEI.
- Desarrollo de indicadores y de modelos climáticos predictivos a escala local, regional, nacional y global.
- Estrategias de adaptación para fortalecer la soberanía y seguridad alimentaria bajo la perspectiva del cambio climático, y desarrollo de sistemas agrícolas y forestales que mitiguen el cambio climático.
- Evaluación y tendencias de la influencia de los cambios climáticos en el

ordenamiento y redistribución de la población.

Generando un importante aporte en:

- **Fortalecimiento de espacios para la ciencia:** se obtendrá una infraestructura y equipos que permitan realizar monitoreo e investigación continuos en el área de GEI.
- **Formación:** recursos humanos con conciencia ambiental y experiencia en el área de aire e investigadores con altas competencias y experiencia en el tema.
- **Participación:** las comunidades unidades cercanas podrán interaccionar en el desarrollo de los Planes para mejorar la calidad de Vida, incentivando las áreas de investigación en las Universidades de la zona.
- **Beneficios para la zona en estudios:** con la carta de medidas de mitigación se podrá realizar inversiones que mejoren la calidad del ambiente, empresas y comunidad en general.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se mostrarán las distintas fuentes de investigación que se relacionan de manera directa con el tema en estudio, las cuales servirán de guía y apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación.

II.1.- Antecedentes

Esta sección consta de resúmenes de algunas investigaciones análogas a la presente, en los cuales figuran los objetivos alcanzados, procedimientos y aportes a este caso de estudio.

Yves Codère (2010). La gestion du carbone dans les organisations québécoises: que permite analizar estrategias que aseguran de una transición suave hacia una sociedad limitada de carbono con el fin de prevención más que de reacción. La metodología, sirvió de apoyo documental para la aplicación de estrategias y modelos con respecto a los GEI, contribuyendo con la observación de su comportamiento.

Julie Poudrier (2010). Empreinte carbone chez Tarkett Inc.: Desarrolló en su trabajo una posible regulación empresarial basada en la huella de carbono en las operaciones. La cual sirvió para analizar y mejorar las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de reducir dichos gases. El aporte a esta investigación es la forma metodológica de cómo se trabajó en una industria.

Lagares y Cuencas (2010). Estudio de distintas técnicas de captación de CO₂ e implantación en un caso práctico: Estudiaron la reducción de emisiones de CO₂ de una planta de cogeneración que produce, por una parte energía eléctrica mediante una turbina de gas natural y por otra calor, que se aprovecha para el secado de alperujo. Esta investigación mostró una posibilidad de reducir, reciclar y reusar de manera significativa los gases, además de poder comprender el correcto funcionamiento y desempeño de los mismos.

Justine Manceau (2009). Les plans climats territoriaux: analyse comparée de démarches d'approches territoriales du changement climatique en france et à l'international: Analizó diferentes estrategias de transición de la política pública en relación al cambio climático. Describiendo las nuevas tendencias en el plano internacional y sus consecuencias para la implementación de políticas públicas locales en los países desarrollados. El análisis comparativo de estos tres enfoques: local, nacional e internacional

sirvió para el logro de los objetivos de desarrollo de similitudes y diferencias, así como las fortalezas y debilidades de cada enfoque, los planes de estudio del clima, y la definición de recomendaciones específicas. El aporte a la investigación fue el manejo de las políticas públicas, pudiendo compararlas con las venezolanas.

Nicolas Drouin Déziel (2009). La Chine et le contrôle des émissions de CO₂ : analyse en équilibre general calculable: Estimó los costos de la imposición de límites a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). China es uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero, el costo para la economía china es de suma importancia. En este trabajo se evaluó el costo de la imposición de un impuesto sobre las emisiones de CO₂ utilizando un modelo de equilibrio general computable de la economía china. El modelo permitió la sustitución de los insumos energéticos y la división en cuatro fuentes: electricidad, petróleo, carbón y gas. Aportó a la investigación la necesidad de análisis sobre la normativa legal y la forma de imponer impuestos por el no cumplimiento.

Mathieu Muir (2009). Solutions de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour les municipalités Québécoises: Dotó a los municipios con una herramienta para ayudar a desarrollar un plan de acción con respecto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Cada una de estas acciones fue emitida en relación a los programas de asistencia técnica y los corresponsables financieros. Contribuyó a la investigación en el momento de desarrollar la carta de mitigación, utilizando programas de asistencia técnica.

Abante Arrhenius (2007). Sobre la influencia del Ácido Carbónico en la temperatura del aire sobre la Tierra: Analizó un artículo, de hace más de 100 años, publicado en la revista Philosophical Magazine en 1896, donde se estimó que una duplicación del CO₂ resultaba en un incremento de la temperatura entre 4 y 6° C. Contribuyó a la investigación con datos estudiados anteriormente, que permiten comparar lo predicho hace años con el crecimiento real de estos tiempos.

Charles-Olivier Frégeau (2007). Analyse de la compensation des projets municipaux de réduction des gaz à effet de serre: Identificó las actividades que representarían la mayor reducción de GEI en los municipios de Québec y cuya puesta en práctica puede ser rentable. Envió a cada municipio las recomendaciones pertinentes. Contribuyó a la

investigación en desarrollar maneras de reducir las emisiones y el manejo de comunidades alrededor de la Refinería ayudando a la ecoeficiencia energética.

IPCC (2007). Cuarto Informe de Evaluación, de los Grupos de Trabajo I, II y III, relacionados con la Base Científica, Impacto, Vulnerabilidad, Adaptación y Mitigación: Posee proyecciones futuras del cambio climático mediante el uso de software. El aporte de la investigación, son los valores estimados, que fueron aplicados a nuestro país. Por consiguiente, se analizó las proyecciones futuras realizadas con los distintos programas utilizados por el IPCC, así como sus distintas características para poder evaluar su adaptación en la presente investigación.

Centro de Investigación Mario Molina, (2007) Formulación de lineamientos de política en materia de eficiencia energética en sectores clave de la economía mexicana para el programa especial de cambio climático: Analizó la eficiencia energética en los principales sectores de la economía mexicana, recomendaciones técnicas para mejorar el desempeño energético de dichos sectores. Se aportan elementos para establecer metas cuantificadas de mejora y se identifican algunas oportunidades de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero cuyos beneficios económicos y ambientales las hacen estrategias ganadoras. El aporte de la investigación fue la aplicación en Venezuela de posibles medidas de mitigación.

Jaime Martin Juez (2005). Análisis y Evaluación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Industria del Petróleo y el Gas: Aplicó las exigencias derivadas de la Decisión 156/2004/CE en el momento de realizar inventario de CO₂ en las refinerías, contrastando con los datos existentes de diferentes inventarios. Concretamente se analizaron y evaluaron las siguientes informaciones: 1.-Referencias bibliográficas que hiciesen mención, de una u otra manera, al CO₂. 2.- Datos reales de los centros reunidos ad hoc para este estudio, como resultantes de estudios internos. 3.- Datos de emisiones deducidos con diferentes metodologías y obtenidos para satisfacer diversos requerimientos de información (Administración, cuestionarios sectoriales, etc.)

El trabajo de Martín permitió conocer las formas de inventariar las concentraciones de CO₂ y su impacto ambiental en las refinerías petroleras, además de estudiar las distintas metodologías aplicadas para la obtención de la información relevante a tomar en cuenta a la

hora, de realizar un estudio de emisión de gases de efecto invernadero en la industrias petrolera y fundamentar las diferentes bases teóricas aplicables en la presente investigación.

IPCC (2005). La Captación y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono: Describió el marco general para la evaluación, principales fuentes, opciones tecnológicas, de captación, transporte y almacenamiento en los sistemas.

Asamblea General de las Naciones Unidas (1988) de la resolución titulada "**La protección del clima para las generaciones presentes y futuras**" y creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA): En estas Asambleas se discute y debate posibles soluciones al cambio climático, es importante para esta investigación en cuanto a escenarios, estrategias entre otras que puedan ser aplicables en Venezuela.

MacArthur Foundation (2012). Cambio Climático y biodiversidad en los andes tropicales: síntesis de los patrones de biodiversidad a nivel regional de una amplia gama de grupos taxonómicos. Además, el análisis transversal que integra el cambio climático. Es importante para esta investigación en cuanto a los métodos y estrategias que puedan ser aplicables en la Cuenca de estudio.

Usko Ikaskuntza - Sociedad de Estudios Vascos, EI-SEV (1993 y 2014). Los Sistemas de Información Geográfica: su importancia y su utilidad en los estudios medioambientales: Los estudios medioambientales surgen como una herramienta de gestión en la política medioambiental actual, encaminada hacia la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Esta investigación permitió la participación de un equipo multidisciplinar de profesionales, para el almacenamiento, unificación y conjunción de los datos "geográficos" aportados por cada uno de dichos profesionales, con el fin de obtener una visión conjunta e integrada del territorio, lo que permita la racionalización de las

actividades antrópicas dentro del mismo. Es precisamente en esta tarea de almacenamiento de datos "geográficos, de cuantificación de impactos y riesgos de tratamiento conjunto de la información, donde los SIG se configuró como herramienta imprescindible para las tareas de planeamiento territorial, por lo que su uso resulta imprescindible, en la actualidad para llevar a cabo este tipo de estudios.

II.2.-Bases Teóricas.

II.2.1.- Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Es la empresa encargada de la refinación de petróleo, entendiéndose este, como el proceso que se encarga de la transformación de los hidrocarburos en productos derivados. Realiza sus operaciones de procesamiento del crudo a través de 20 refinerías: cinco en Venezuela, y quince en el resto del mundo.

Del petróleo se obtienen muchos productos, desde gases y líquidos sumamente volátiles como la gasolina, hasta fluidos muy espesos como el asfalto y aun sólidos como la parafina o ceras. En líneas generales, los derivados básicos del petróleo son: gases, gasolina de motor, gasolina de aviación, kerosén, gasoil, diesel, solventes, bases lubricantes, parafina, combustible pesado (fuel oil) y asfalto.

Además de esos productos básicos elaborados en instalaciones propias, la industria suministra materias primas a plantas petroquímicas y empresas manufactureras para producir caucho sintético, fibras sintéticas, fertilizantes, explosivos, insecticidas, medicinas, artículos de tocador y miles de otros productos.

Los procesos de refinación del petróleo pueden clasificarse en dos grandes grupos (ver el esquema de los procesos de Refinación en la figura. II.1):

Separación: Consiste en separar el crudo en diferentes fracciones del petróleo mediante su temperatura de ebullición y/o presión de evaporación. Para ello emplea procesos físicos como: destilación atmosférica y destilación al vacío.

Conversión: Transforma unos componentes del petróleo en otros mediante reacciones químicas, por acción del calor y en general, con el uso de catalizadores. Son procesos de conversión, entre otros, la reformación catalítica, la desintegración o craqueo catalítico y

alquilación; estos procesos cambian la estructura molecular de los hidrocarburos, originalmente presentes en el petróleo.

II.2.2.- Principales fuentes de gases de CO₂

A finales del siglo XIX Svante Arrhenius (Lenntech, 2010), fue el primero en postular la hipótesis donde el incremento o descenso en concentraciones de gases de efecto invernadero, puede dar lugar a una temperatura global mayor o menor, como un intento de explicar las eras glaciales. Sus colegas rechazaron radicalmente su teoría.

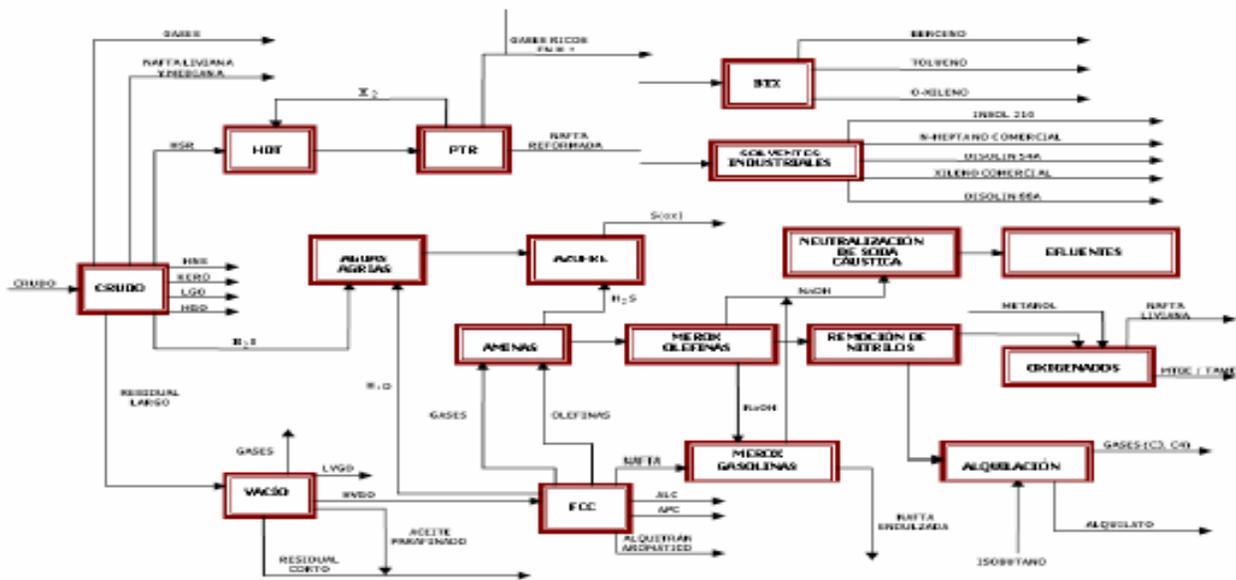


Figura II.1. Esquema de los procesos de Refinación. (PDVSA, 2015)

Svante Arrhenius (1859-1927) fue un científico Sueco y primero en proclamar en 1896 que los combustibles fósiles podrían dar lugar o acelerar el calentamiento de la tierra. Estableció una relación entre concentraciones de dióxido de carbono atmosférico y temperatura. También determinó que la media de la temperatura superficial de la tierra es de 15 °C debido a la capacidad de absorción de la radiación infrarroja del vapor de agua y el dióxido de carbono. Esto se denomina el efecto invernadero natural. Arrhenius sugirió que una concentración doble de gases de CO₂ provocaría un aumento de temperatura de

5°C. Él, junto con Thomas Chamberlin, indicó que las actividades humanas podrían provocar el aumento de la temperatura mediante la adición de dióxido de carbono a la atmósfera. Esta investigación se llevó a cabo en la línea de una investigación principal sobre si el dióxido de carbono podría explicar los procesos de hielo y deshielo (grandes glaciaciones) en la tierra. Esto no se verificó hasta 1987 (Lenntech, 2010).

Los distintos acontecimientos científicos generadores de la teoría de efecto invernadero son: Fourier (1824) consideró, que la Tierra se mantenía templada porque la atmósfera retiene el calor como si estuviera bajo un cristal. Él fue el primero en emplear la analogía del invernadero y John Tyndall (1859) descubrió que el CO₂, el metano y el vapor de agua bloquean la radiación infrarroja. Después Stewart (1938), identificó como el incremento del

10% del CO₂ en la atmósfera, observado desde 1890 a 1938 (años de revolución industrial basada en la combustión del carbón) podría estar relacionado con la tendencia al calentamiento observado en el mismo período.

Charles Keeling (1958) empezó a medir de forma precisa las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Gracias a los nuevos instrumentos de medida en solo dos años tomó suficientes medidas, mostrando las mismas el aumento continuado del CO₂ en el aire. En 1960 presentó la *curva Keeling* que es un gráfico que traza el cambio en curso en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra desde 1958. Se basa en mediciones continuas tomadas en el Observatorio de Mauna Loa en Hawai, mostraron la primera evidencia significativa de rápido aumento de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. El primer modelo estadístico de evolución del clima fue desarrollado en 1970 por Klaus Hasselmann del Instituto Max Planck.

Los resultados sobre valores de gases de efecto invernadero son publicados por el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales de Colombia con sus siglas IDEAM, como los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación de determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el

vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). IDEAM (Web, 2014) también expone la existencia en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (GEI) y sus efectos se extienden al ámbito global y a largo plazo. Su incremento en la atmósfera y la potencial relación con el aumento de la temperatura media de la troposfera está relacionado con el consumo de combustibles fósiles. La valoración de las emisiones de gases de efecto invernadero es un tema actual de gran interés.

Una vez emitidos los contaminantes hacia la atmósfera; en función de su naturaleza, de las condiciones meteorológicas y topográficas del entorno, éstos se transportan, se dispersan, se depositan y experimentan reacciones químicas. La interacción de estos complejos procesos determinan finalmente la calidad del aire, cuyo grado de deterioro es función directa de la cantidad y tipología de las emisiones atmosféricas (Baldasano et al., 2003). La valoración de las emisiones atmosféricas constituye un elemento imprescindible previo al establecimiento de políticas y acciones de control de la calidad del aire. Esta información se obtiene por medio de los denominados inventarios de emisiones atmosféricas, que se definen como la colección de números que representan las cantidades de uno o más contaminantes emitidos hacia la atmósfera; a causa de las actividades de tipo socioeconómicas o naturales, dentro de una zona geográfica determinada y en un período de tiempo establecido (pasado, presente o futuro) (Van Aardenne, 2002).

II.2.3.- Inventarios de GEI

Es la recopilación de las emisiones de GEI de una organización a partir del análisis de sus fuentes emisoras. La realización de un *Inventario de GEI* (EPA; 2008) proporciona una

herramienta de gestión de las emisiones que facilita la identificación de oportunidades de reducción de las mismas, lo que se traduce en un ahorro energético y económico. Adicionalmente, permite la realización de informes de gases de efecto invernadero con declaraciones sustentables, que puedan ser evaluadas por una tercera parte independiente, aumentando la credibilidad y la transparencia de la organización en el mercado. Estimación de valores de gas carbónico, Metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera. (Arpel, 1999)

Jerarquización de los Factores de Emisiones

Para estimar las emisiones atmosféricas se multiplican las tasas de flujo validadas por factores. En la preparación de estimación de emisiones (ver Fig. II.2. Modelo de Caracterización para el control de las actividades), se surge utilizar una jerarquía de factores de emisiones. Se tienen las siguientes fuentes factores de emisiones en orden descendente de preferencia:

- 1.- Específicos del sitio, actuales (medidos).
- 2.- Específicos del sitio, históricos (medidos).
- 3.- Típicos de las industrias.
- 4.- Diseño del equipo.
- 5.- Teóricas.

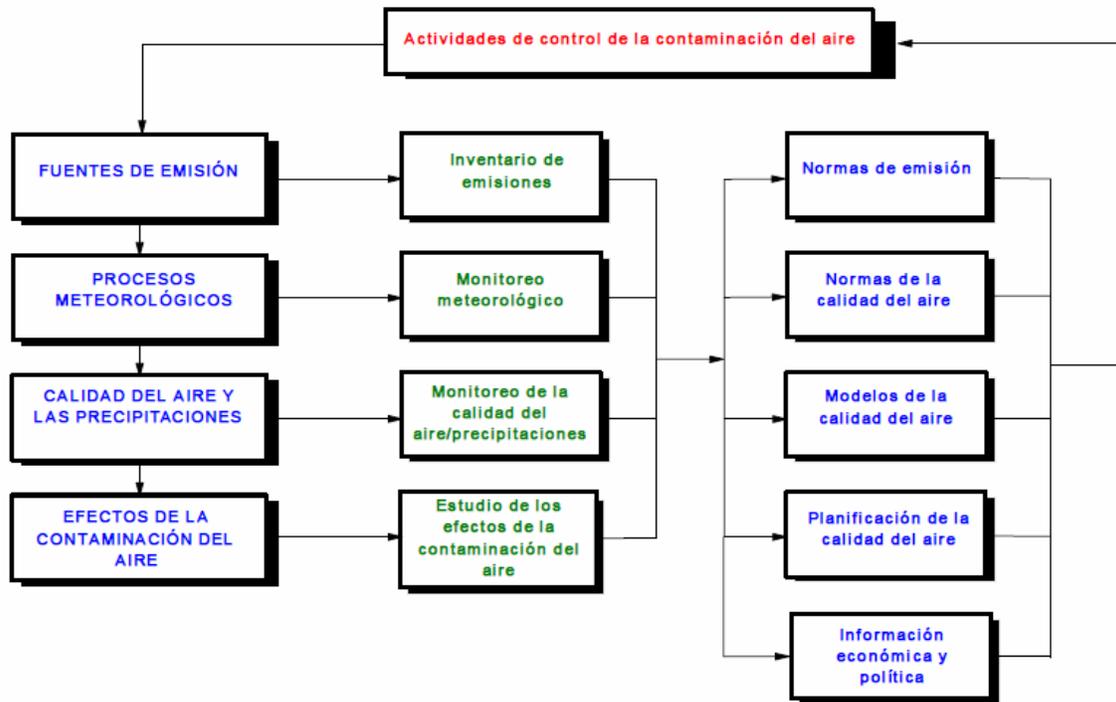


Figura II.2. Modelo de Caracterización para el Control de las Actividades. (Arpel, 1999)

II.2.4.- Escenarios y evaluación conceptual de riesgos ambientales.

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico (Ver Fig.II.3 y II.4). Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. La posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de estos escenarios es muy remota. (IPCC; 2000)

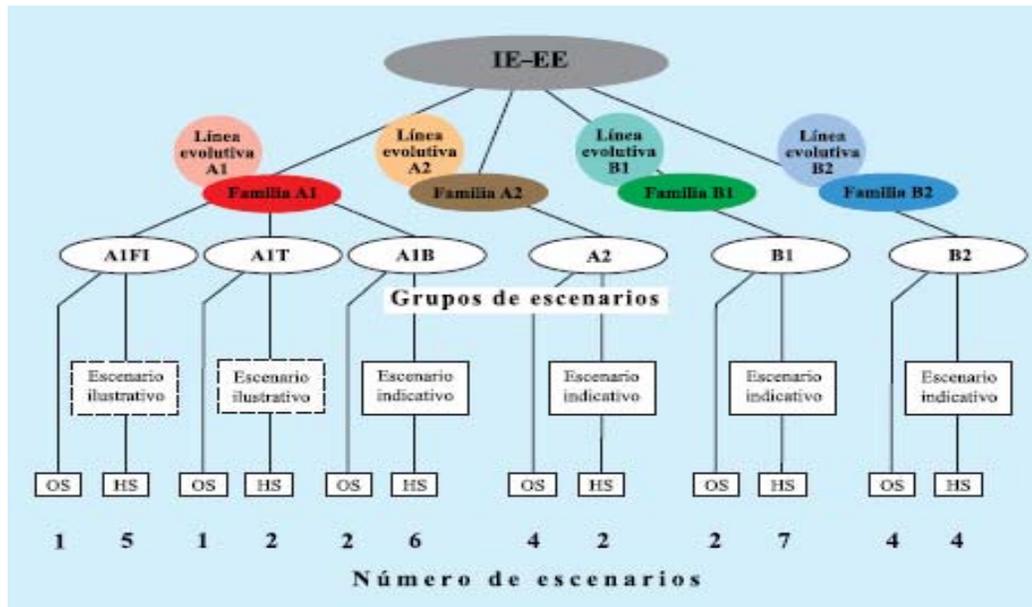


Figura II.3. Características de las cuatro líneas evolutivas y familias de escenarios. (IPCC, 2010)

Familia	A1		A2		B1		B2	
Grupo de escenarios	1990	AIFI	AIB	AIT	A2	B1	B2	
Dióxido de carbono, combustibles de origen fósil (GtC/año)	6.0							
2020		11.2 (10.7-14.3)	12.1 (8.7-14.7)	10.0 (8.4-10.0)	11.0 (7.9-11.3)	10.0 (7.8-13.2)	9.0 (8.5-11.5)	
2050		23.1 (20.6-26.8)	16.0 (12.7-25.7)	12.3 (10.8-12.3)	16.5 (10.5-18.2)	11.7 (8.5-17.5)	11.2 (11.2-16.4)	
2100		30.3 (27.7-36.8)	13.1 (12.9-18.4)	4.3 (4.3-9.1)	28.9 (17.6-33.4)	5.2 (3.3-13.2)	13.8 (9.3-23.1)	
Dióxido de carbono, uso de la tierra (GtC/año)	1.1							
2020		1.5 (0.3-1.8)	0.5 (0.3-1.6)	0.3 (0.3-1.7)	1.2 (0.1-3.0)	0.6 (0.0-1.3)	0.0 (0.0-1.9)	
2050		0.8 (0.0-0.9)	0.4 (0.0-1.0)	0.0 (-0.2-0.5)	0.9 (0.8-0.9)	-0.4 (-0.7-0.8)	-0.2 (-0.2-1.2)	
2100		-2.1 (-2.1-0.0)	0.4 (-2.4-2.2)	0.0 (0.0-0.1)	0.2 (-0.1-2.0)	-1.0 (-2.8-0.1)	-0.5 (-1.7-1.5)	
Dióxido de carbono acumulativo, combustibles de origen fósil (GtC) 1990-2100		2128 (2079-2478)	1437 (1220-1989)	1038 (989-1051)	1773 (1303-1860)	989 (794-1306)	1160 (1033-1627)	
Dióxido de carbono acumulativo, uso de la tierra (GtC) 1990-2100		61 (31-69)	62 (31-84)	31 (31-62)	89 (49-181)	-6 (-22-84)	4 (4-153)	
Dióxido de carbono acumulativo, total (GtC) 1990-2100		2189 (2127-2538)	1499 (1301-2073)	1068 (1049-1113)	1862 (1352-1938)	983 (772-1390)	1164 (1164-1686)	
Dióxido de azufre (MtS/año)	70.9							
2020		87 (60-134)	100 (62-117)	60 (60-101)	100 (66-105)	75 (52-112)	61 (48-101)	
2050		81 (64-139)	64 (47-120)	40 (40-64)	105 (78-141)	69 (29-69)	56 (42-107)	
2100		40 (27-83)	28 (26-71)	20 (20-27)	60 (60-93)	25 (11-25)	48 (33-48)	
Metano, (MtCH₄/año)	310							
2020		416 (415-479)	421 (400-444)	415 (415-466)	424 (354-493)	377 (377-430)	384 (384-469)	
2050		630 (511-636)	452 (452-636)	500 (492-500)	598 (402-671)	359 (359-546)	505 (482-536)	
2100		735 (289-735)	289 (289-640)	274 (274-291)	889 (549-1069)	236 (236-579)	597 (465-613)	

* Las incertidumbres respecto de las emisiones IE-EE de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ pueden ser mayores que las del CO₂ proveniente de la energía. Por consiguiente, los intervalos de valores indicados en el Informe para las emisiones de GEI distintos del CO₂ podrían no reflejar enteramente el nivel de incertidumbre en comparación con el CO₂, así, por ejemplo, el único valor de emisiones de hidrocarburos se ha obtenido de un solo modelo.

Figura II. 4 Panorámica general de las emisiones de gases de efecto Invernadero. (IPCC, 2010)

Una Evaluación Conceptual de Riesgos Ambientales y de Seguridad debe estar documentada y alineada en el Manual de Ingeniería de Riesgos, Volumen 1, Filosofía de Diseño Seguro, No. IR-S-01, (PDVSA, 2013) un estudio tal como éste permite la consideración y minimización de estos riesgos. Se debe hacer una conceptualización, identificando y evaluando los posibles peligros, a partir de la modelación computarizada y de cálculos preliminares se modelan las consecuencias resultantes de estos peligros, determinando opciones factibles de mitigación para los peligros significativos posibles.

Es importante desarrollar los siguientes puntos para obtener la evaluación, (PDVSA, 2013):

- Desarrollar el perfil de línea base de datos de entrada para la Refinería el Palito El perfil actual (de la línea base) de riesgos ambientales de las operaciones existentes en la Refinería El Palito fue documentado.
- Clasificar los peligros ambientales genéricos no catastróficos en categorías.
 - El enfoque de esta actividad es clasificar los posibles peligros ambientales no catastróficos identificados a través de la experiencia global con operaciones unitarias similares considerando peligros ambientales dentro de varias categorías, incluyendo las siguientes:
 - Emisiones continuas y / o crónicas de aire contaminado o de agua contaminada.
 - La generación o liberaciones periódicas de materiales que planten riesgos para la comunidad circundante.
 - La liberación accidental, pero no catastrófica, de materiales que planten riesgos para la comunidad circundante
- Clasificar en categorías los peligros catastróficos genéricos y ambientales El enfoque de esta actividad es clasificar los posibles peligros catastróficos ambientales, identificados a través de la experiencia global con operaciones unitarias similares a las unidades peligrosas que fueron consideradas irremediables o catastróficos, en vez de continuas, crónicas o periódicas. Los peligros potencialmente catastróficos incluyeron liberaciones de gases, hidrocarburos, o

partículas de materia, y derramamientos mayores u otras liberaciones debido al manejo, almacenamiento o al mismo proceso.

- Cuantificar peligros específicos asociados la magnitud y los parámetros de los posibles peligros ambientales identificados en las estimaciones con tipos y cantidades de emisión, tanto para operaciones normales como aquellas asociadas con eventos catastróficos.
- Evaluar el posible impacto ambiental de las emisiones y los eventos en las comunidades circundantes. El posible impacto de las emisiones y eventos identificados y evaluados anteriormente en las comunidades circundantes será evaluado relativo al perfil inicial como definido. La emisión resultante y las normas de seguridad de la Refinería deben ser examinadas para determinar si estas cumplen con las normas Venezolanas pertinentes a PDVSA. Las posibles áreas de excedencia deben ser identificadas.
- Definir opciones de mitigación, se deben identificar y evaluar opciones de mitigación para encargarse de cualquier impacto ambiental en incumplimiento con las normas venezolanas o de PDVSA.
- Preparar la evaluación, los resultados y las conclusiones con los datos obtenidos en los puntos anteriores

II.2.5.- Vialidad de captación, almacenamiento de los gases de CO₂.

II.2.5.1.- Captura y secuestro del carbono (EPA; 1999): consiste en la obtención de CO₂ de una fuente emisora y su compresión, transporte e inyección en estructuras geológicas subterráneas con el fin de lograr un confinamiento efectivo a largo plazo.

La captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC): es una de las técnicas que podrían utilizarse para reducir las emisiones de CO₂ provocadas por las actividades humanas. Esta técnica podría aplicarse para aquellas emisiones que provengan de grandes centrales eléctricas o plantas industriales.

El proceso consiste en tres etapas principales (Figura II.5):

1. Capturar el CO₂ en su fuente, separándolo de los otros gases que se generan en los procesos industriales.
2. Transportar el CO₂ capturado a un lugar de almacenamiento apropiado (normalmente de forma comprimida).
3. Almacenar el CO₂ fuera de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo en formaciones geológicas subterráneas, en las profundidades oceánicas o dentro de ciertos compuestos minerales.

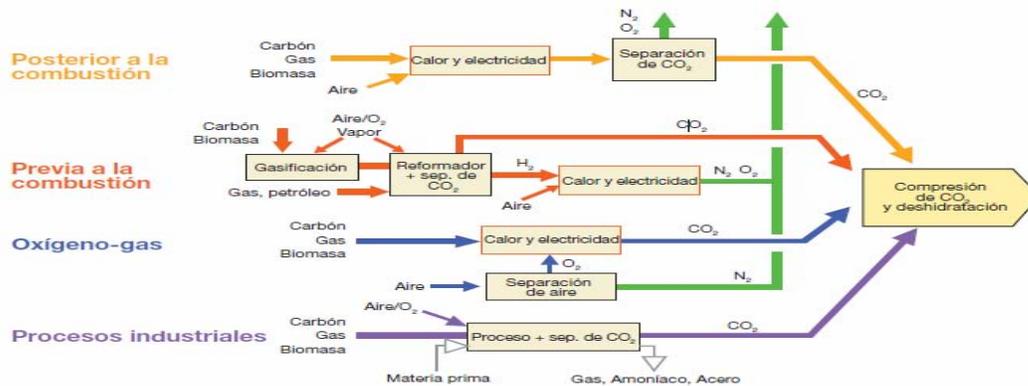


Figura II.5. Visión General de los Procesos y los sistemas de captación de CO₂. (EPA,2010)

Se debe analizar los sistemas de captación *previa a la combustión*, allí se procesa el combustible primario en un reactor con vapor, aire u oxígeno para producir una mezcla que consiste, principalmente, en monóxido de carbono e hidrógeno (“gas de síntesis”). Mediante la reacción del monóxido de carbono con el vapor en un segundo reactor (un “reactor de conversión”) se produce hidrógeno adicional y CO₂. Entonces, la mezcla resultante de hidrógeno y CO₂ puede separarse en un flujo de gas de CO₂ y un flujo de hidrógeno. Si el CO₂ es almacenado, el hidrógeno será un producto energético sin carbono que podrá ser consumido. Los sistemas de *combustión de oxígeno-gas* utilizan oxígeno en lugar de aire para la combustión del combustible primario con objeto de producir un gas de combustión compuesto principalmente por vapor de agua y CO₂. Esto da origen a un gas de combustión con altas concentraciones de CO₂ (de más del 80 por ciento en volumen).

Entonces, el vapor de agua es sustraído mediante el enfriamiento y la compresión del flujo de gas (IPCC,2010).

Actualmente se poseen varias metodologías para el transporte del CO₂ (Figura.II.6)

Por el general, el CO₂ gaseoso es comprimido a una presión superior a 8 MPa con el fin de evitar regímenes de flujo de dos fases y aumentar la densidad del CO₂, facilitando y abaratando, así, su transporte. También puede ser transportado en forma líquida en buques, o en camiones o vagones que transportan en cisternas isotérmicas a una temperatura muy inferior a la temperatura ambiente y a una presión mucho más baja (IPCC, 2010).

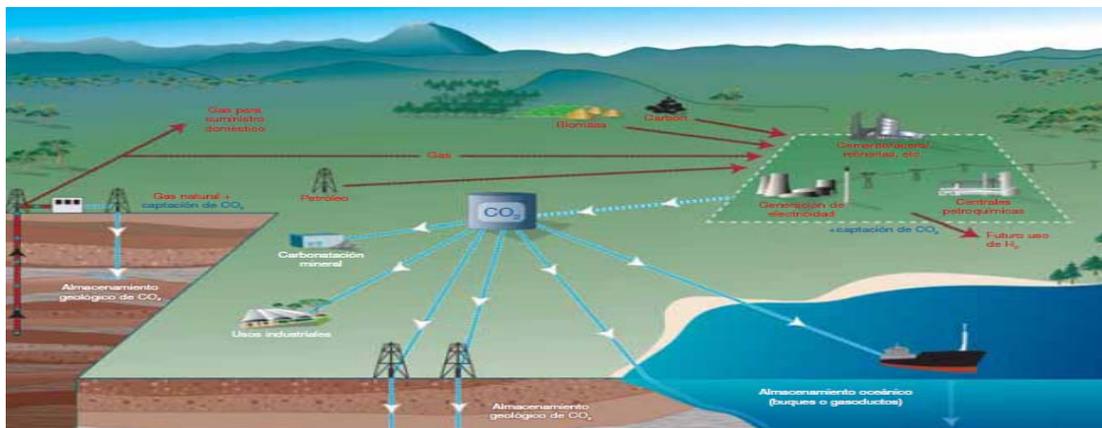


Figura II.6. Métodos de transporte de CO₂. (EPA, 2010)

En ciertas situaciones o lugares, el transporte por buque (Figura. II.7) puede resultar más atractivo desde el punto de vista económico, especialmente si tiene que ser transportado a largas distancias o a ultramar. Los gases de petróleo licuados (GPL, principalmente el propano y el butano) son transportados en buques cisterna a gran escala comercial. Puede ser transportado en barco prácticamente del mismo modo. Las propiedades del CO₂ licuado son similares a las de los GPL y la tecnología podría ampliarse para ajustarse a los grandes medios de transporte de CO₂ si se materializara la demanda de esos sistemas. Los camiones y los vagones cisterna también son opciones técnicamente viables.

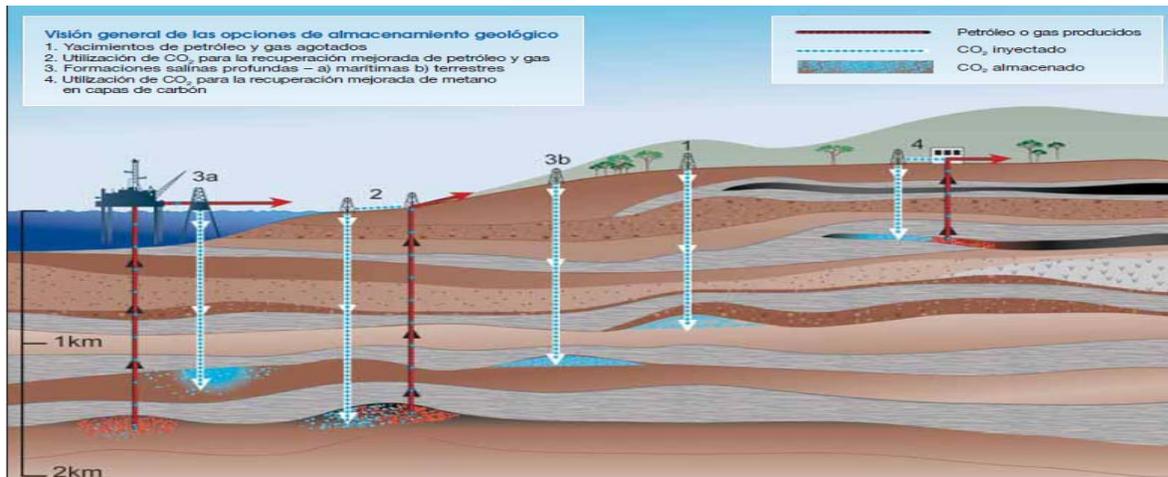


Figura II.7. Métodos de Almacenamiento de CO₂ . (EPA, 2010)

Almacenamiento geológico:

Es el lugar donde deben almacenarse durante un periodo de miles de años los gases de CO₂ de alta actividad o de semiperiodo largo. Se posee tres tipos de formaciones geológicas que han sido objeto de una amplia consideración para el almacenamiento geológico de CO₂: yacimientos de petróleo y gas, formaciones salinas profundas y capas de carbón inexplorables.

La caracterización, la selección y la predicción del rendimiento de un lugar son fundamentales para conseguir un almacenamiento geológico satisfactorio. Antes de seleccionar un lugar, las condiciones geológicas deben ser estudiadas a fin de determinar si la roca de cubierta suprayacente proporcionará una estanqueidad efectiva, si hay una formación para el almacenamiento lo suficientemente voluminosa y permeable, y si algún pozo abandonado o activo puede poner en peligro la integridad de la roca estanca. Las técnicas desarrolladas para la exploración de yacimientos de petróleo y gas, los lugares de almacenamiento de gas natural y de eliminación de desechos líquidos son apropiadas para la caracterización de los lugares de almacenamiento geológico.

Almacenamiento oceánico: consiste en inyectar el CO₂ captado directamente en los fondos oceánicos (a más de mil metros de profundidad), en que la mayor parte quedaría aislada de la atmósfera durante siglos. Ello puede lograrse mediante el transporte de CO₂

por gasoductos o buques a un lugar de almacenamiento oceánico, donde se inyecta en la columna de agua del océano o en los fondos marinos. Posteriormente, el CO₂ disuelto y disperso se convertiría en parte del ciclo global del carbono (IPCC, 2010).

Estudio del mar:

Base teórica para estudios de procesos del transporte de sedimentos en zonas costeras

1.- Hidrodinámica costera

A los efectos de estudiar la hidrodinámica costera se aplicó la configuración propuesta por Van Rijn en 2013, que sugiere que la costa está dividida en tres zonas:

Zona de Dunas y Playa: Dominada por la acción de la fuerza de las olas y el viento.

Zona “Upper Shoreface”: influenciada por el romper de las olas y las corrientes inducidas por estas, que en calma se ve reducida a una zona oscilante estrecha, pero en condiciones de tormenta pueden extenderse en alta mar hasta una profundidad de 8 o 10 metros.

Zona “Middle and Lower Shoreface”: determinada por olas que no rompen, la marea, y las corrientes inducidas por el viento y la densidad de los fluidos.

La zona cercana a la costa con profundidad de hasta 10 metros es dominada por la fricción, con una mezcla de aguas calmas y aguas turbulentas. Las zonas con profundidades mayores a 20 metros, son dominadas por la marea, el viento, y las corrientes generadas por la densidad. Ver figura II.8.

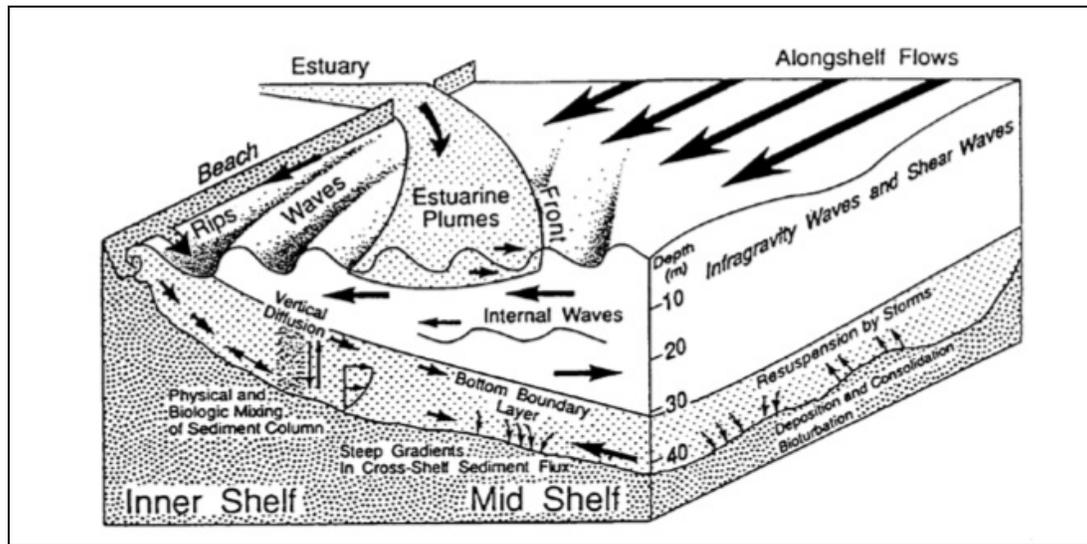


Figura II.8. Hidrodinámica Costera

Fuente: Basics Hydrodynamic Processes in the Coastal Zone – L.C. van Rijn – 2013.

2.- Perfil de velocidades en aguas costeras

En principio la velocidad de la partícula de agua está gobernada por las siguientes ecuaciones diferenciales II.1 y II.2 (Rijn, 2013):

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = u = \omega a \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh(kh)} \sin(\omega t - kx) \quad (\text{II.1})$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = w = \omega a \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh(kh)} \cos(\omega t - kx) \quad (\text{II.2})$$

Donde:

$$\bar{u} = \omega a \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh(kh)}$$

$$\bar{w} = \omega a \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh(kh)}$$

Se puede observar que al ser velocidades orbitales sus componentes están defasadas 90 grados, por lo tanto cuando \bar{u} es máxima, \bar{w} es mínima.

Por otro lado, se puede afirmar, que el perfil de velocidades ha sido largamente estudiado por la mecánica de fluidos, en todas sus especialidades.

En 1847 Stokes, señaló en primer lugar que las partículas de fluido no describen trayectorias orbitales exactamente cerradas en el caso de las ondas de superficie sinusoidales de pequeña amplitud, todo ello en condiciones irrotacionales perfectas (fluidos no viscosos). Las partículas de fluido tienen un segundo orden de velocidad media de Lagrange (llamado Deriva de Stokes) en la dirección de propagación de la onda resultante por el hecho de que los aumentos de velocidad orbital horizontal están a una distancia ligeramente por encima de la cama de agua. Por consiguiente, una partícula en la parte superior de una órbita y debajo de la cresta de la ola tiene una velocidad de avance mayor que la que tiene en la parte inferior de la órbita debajo de la onda. El flujo de masa integrado en la profundidad asociada con las ondas que se propaga en un dominio horizontal sin fin, viene dado por $M = gH^2 / (8c)$ con H = altura de las olas y c = velocidad de propagación de la onda. Suponiendo un flujo de masa cero (dominio acotado) sobre la profundidad del agua, el flujo de masa sobre el “bed load”, en la parte superior, es equilibrado por un flujo de masa de retorno en la región cercana a la playa. Ver figura II.9.

Cuando las olas entran en aguas poco profundas, las órbitas se vuelven más elípticas y las velocidades de deriva aumentan a valores apreciables (orden de 0,1 m / s). El flujo de masa también se puede determinar por integración en el tiempo y en el espacio de las velocidades horizontales instantáneas entre el nivel del valle de ola, y el nivel de cresta de la ola. En esta región existe una asimetría de la velocidad horizontal; más fluido se mueve hacia adelante en la región de la cresta y retrocede en la región de valle.

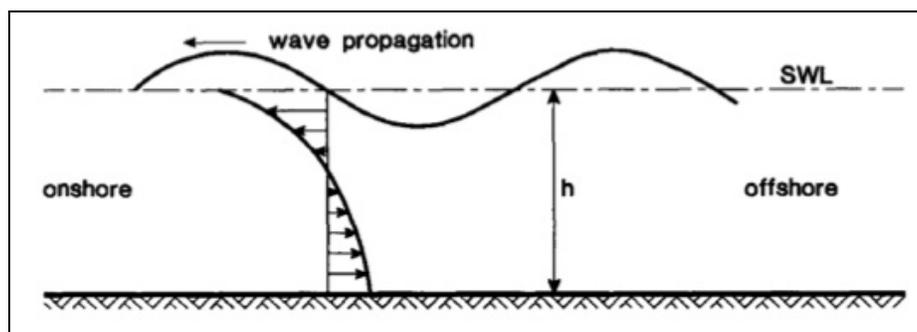


Figura II.9.. Perfil de velocidad de Deriva según Stokes 1847

Fuente: Basics Hydrodynamic Processes in the Coastal Zone – L.C. van Rijn – 2013

Ambos métodos (Lagrange y Euler) dan el mismo valor del flujo de masa, para una distribución diferente sobre la profundidad. Cuando las ondas entran en un campo de corriente débil, Celdas de circulación de Langmuir se pueden generar en el plano lateral (normal a la dirección de flujo principal), debido a la presencia de variaciones laterales de la deriva de Stokes. Más tarde en 1953 Longuet- Higgins demostró que, para fluidos reales con viscosidad relativa ν , hay una transferencia en el tiempo de una baja cantidad de movimiento, el cual definió el perfil de velocidades mostrado en la figura II.10.

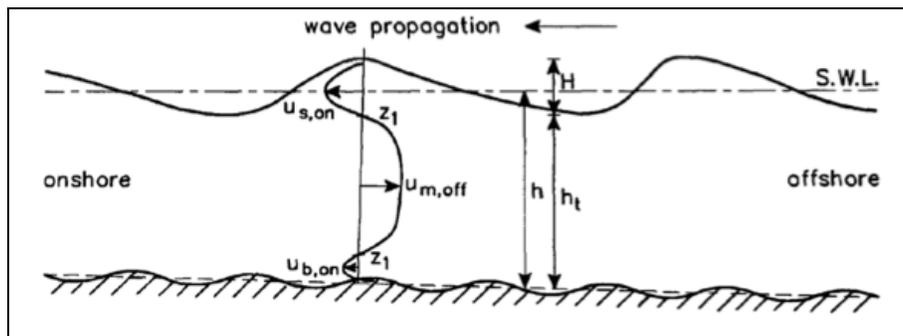


Figura II.10.. Perfil de velocidad de Deriva según Longuet-Higgins 1953.

Fuente: Basics Hydrodynamic Processes in the Coastal Zone – L.C. van Rijn – 2013.

En el caso de ondas aleatorias sobre un fondo plano, velocidades de 0,012 m/s fueron observadas, con una capa límite de 0,1m. Para el caso de ondas monocromáticas (igual Longitud de Onda) y aleatorias sobre un fondo plano inclinado, se encontraron velocidades muy pequeñas, entre 0.009 y 0.004 m/s, con capa limite de 0,01m, considerablemente menor que la primera.

En 1994 Klopman, confirma los resultados teóricos de Longuet- Higgins, verificando que en efecto hay una pequeña transmisión de energía en el fondo, generando una especie de corriente inversa. Se sabe también, que el transporte de masa se incrementa en aguas poco profundas, cerca de la zona de rompiente, que aunado a la transferencia de calor entre las

corrientes, al cambio de dirección del flujo, y a la variación de temperatura, termina ocasionando reflujos y creando barras para generar en última instancia lo que se conoce como resacas (undertow)

Finalmente, en 1989, Svendsen and Lorenz, desarrolla un modelo de estructura vertical de velocidades en tres dimensiones, que muestra un patrón, complicado pero más aproximado, del comportamiento del perfil de velocidades en aguas intermedias, poco profundas, y zona de rompientes, como se aprecia en la figura II.11.

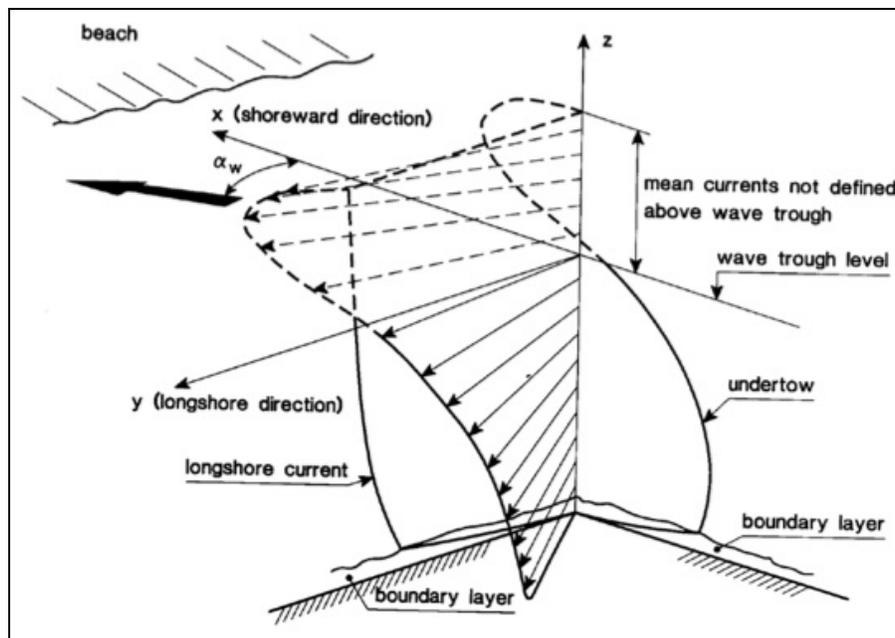


Figura II.11. Estructura Tridimensional de Velocidades en Aguas intermedias y Zona de rompientes. Fuente: Basics Hydrodynamic Processes in the Coastal Zone – L.C. van Rijn – 2013

La fuerza motriz de la corriente litoral es el gradiente de “longshore radiation stress” (S_{xy}), componente que se equilibra con la fricción del fondo y los esfuerzos cortantes dispersivos (figura II.12). La corriente litoral se limita principalmente a la zona de rompientes, disminuyendo rápidamente en su recorrido hacia la línea de playa. La velocidad litoral se encuentra fuertemente relacionada con la decadencia de la altura de ola en la zona de rompientes y la orientación de las crestas de las olas (ángulo de aproximación de la onda). Es importante observar dos cosas, que la pendiente de la playa parece ser de menor

importancia, y que las corrientes litorales inducidas por las olas a menudo son reforzadas por las corrientes inducidas por el viento.

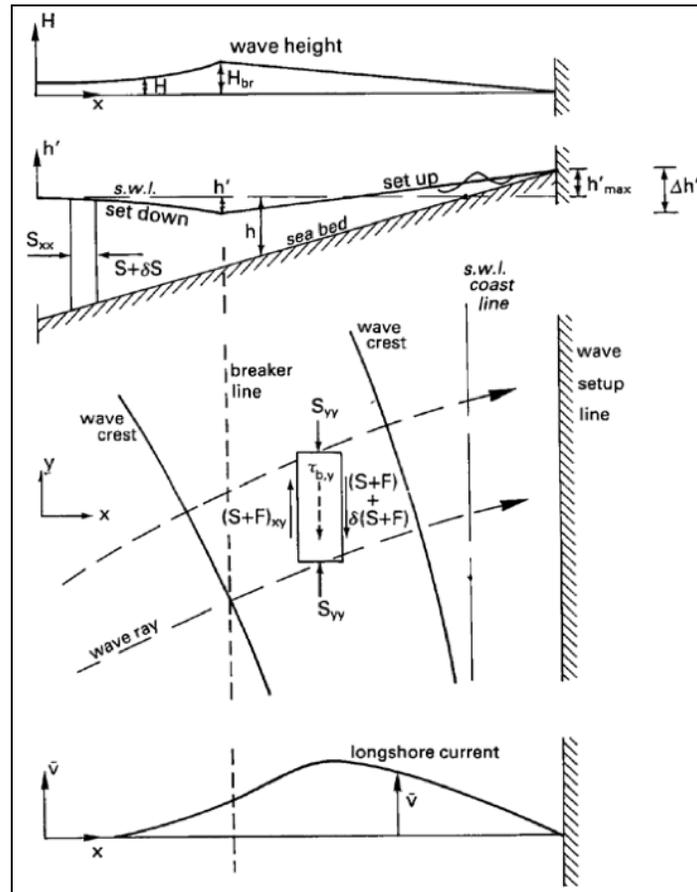


Figura II.12. Oleaje inducido por la variación del nivel y las corrientes en la Zona de rompientes. Fuente: Basics Hydrodynamic Processes in the Coastal Zone – L.C. van Rijn – 2013

El análisis de estos datos de campo demostraron, según Svendsen and Lorenz 2013, que la distribución cross -shore de la corriente litoral es bastante insensible a las contribución individual de las ondas en un campo de onda aleatoria (oleaje), pareciera más bien obedecer a una respuesta combinada a la incidencia del compendio de los otros factores hidrodinámicos (visión holística).

Como se señaló más arriba, la configuración de velocidades en aguas intermedias y poco profundas puede ser más complicada aún, pues de haberlos, se tendría que sumar los fenómenos de descarga, los procesos de cambio de temperatura, el clima de tormenta, y la modificación del suelo marino por el transporte de sedimentos, los cuales conforman una intrincada red de variables que hay que considerar a la hora de describir con precisión el comportamiento hidrodinámico de las costas.

A los efectos del Perfil General de Velocidades se considerará inicialmente el enfoque de Möso (2004), que se muestra a continuación:

“Debido a que la forma más común de definir la velocidad de la corriente es su valor verticalmente integrado U , se puede relacionar esta velocidad con el perfil de velocidades mediante su definición. Según ecuación II.3.

$$\bar{U} = \frac{1}{h} \int_0^h u(z) dz \quad (\text{II.3})$$

Donde U es la velocidad integrada, h es la profundidad y $u(z)$ es la velocidad de la corriente a una cierta elevación sobre el fondo z . Cabe mencionar que si el perfil de velocidades tiende a cero a una profundidad $z = z_0$ (por ejemplo, para un perfil logarítmico de velocidades), el límite inferior de esta integral debe ser cambiado de 0 a z_0 .”

En comparación con el flujo oscilatorio del oleaje, una corriente puede considerarse como un flujo razonablemente estacionario. Si la tensión del fondo debida a las corrientes es τ_c , el perfil de la velocidad de la corriente puede expresarse como (ver ecuación II.4):

$$u(z) = \frac{u_{*c}}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad \text{II.4}$$

Donde $u_{*c} = \sqrt{\tau_{bc}/\rho}$ es la velocidad de corte de la corriente. Por lo tanto, suponiendo un flujo estacionario no estratificado sobre un fondo horizontal (que puede tener ripples), la

velocidad de la corriente u varía con la altura sobre el fondo (z) en forma logarítmica. Esta ecuación es un perfil logarítmico clásico de velocidades donde la constante de integración (que representa una escala de longitud y es totalmente arbitraria) se expresa en términos z_0 , que es el valor de z en el cual el perfil logarítmico de velocidades predice una velocidad igual a cero.

Para un fondo no rugoso, esta condición tiene una posición bien definida, que es el propio contorno, es decir, $z_0 = z = 0$. Para este tipo de fondo, la viscosidad turbulenta (ecuación [II.4]) se hace más pequeña que la viscosidad molecular ν para valores de $z < (\nu / (ku^*))$. Por lo tanto, el flujo en las inmediaciones del contorno, concretamente en la subcapa viscosa, es laminar y no turbulento. Para un contorno rugoso, la localización del contorno no es un valor único de z , por lo que fijar el valor $z = 0$, puede ser una definición un tanto ambigua de la posición “teórica” del fondo, ya que algunas partes estarán localizadas en $z > 0$ y otras en $z < 0$. Por lo tanto, la aplicación de la ecuación II.4 en las inmediaciones de un fondo sólido es únicamente una formalidad, y por lo tanto, la predicción de $u_c = 0$ en $z = z_0$ no tiene significado físico.

El rango de posiciones (alturas) sobre el fondo para las cuales la ecuación es válida (lejos de estructuras costeras y fuera de la zona de rompientes) es desde unos cuantos centímetros por encima del fondo hasta una altura aproximada del 20 al 30% de la columna de agua (es decir, aproximadamente a $z = 2$ a 3 m en aguas someras o $z = 20$ a $30,00$ m en aguas profundas”).

Se asumirá también los valores recomendados por Mösso 2013 a la hora de considerar las velocidades de fondo, que se muestran en la figura II.13 y ecuaciones II.5, II.6 y II.7, a saber:

$$k_n = 2.5d_{50} \quad (\text{II.5})$$

$$z_0 = \frac{k_n}{30} \quad (\text{II.6})$$

$$z_0 = \frac{d_{50}}{12} \quad (\text{II.7})$$

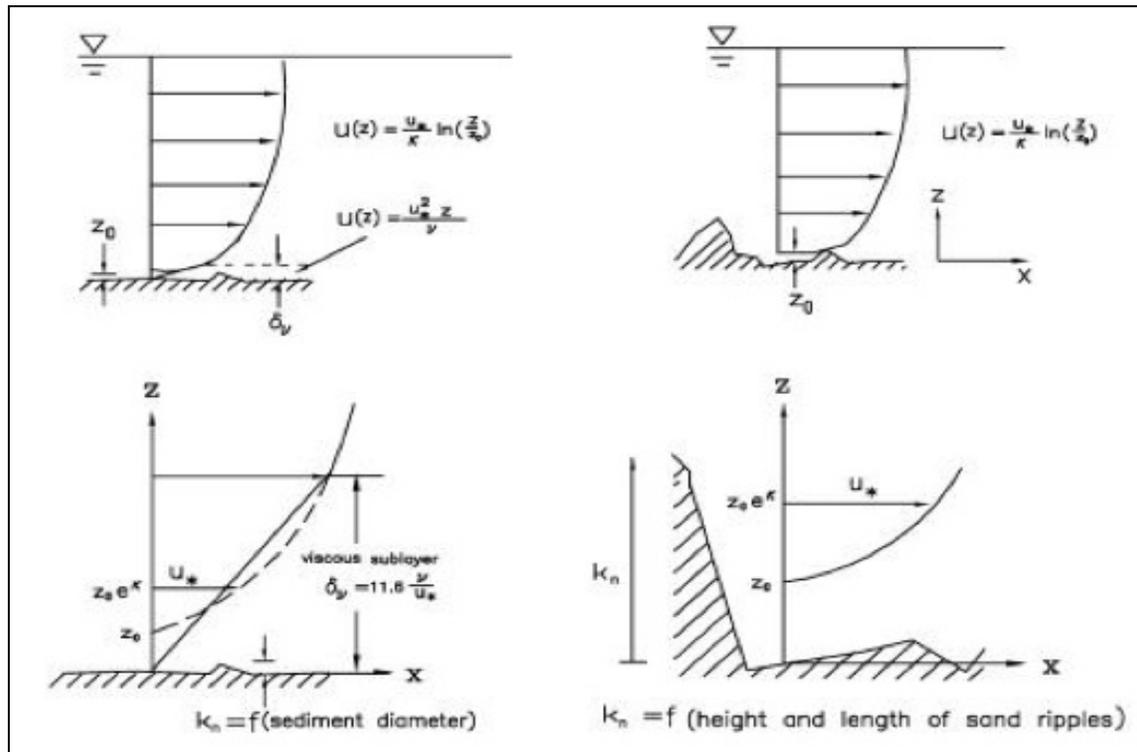


Figura II.13. Perfil de velocidades en flujos moderadamente y altamente turbulentos (Liu, 2001). Fuente: Edición propia. Base Mösso (2004).

3.- Procesos del transporte de sedimentos en zonas costeras

En líneas generales se entenderá por sedimento al material natural que se descompone o degrada por procesos de meteorización y erosión, y que es consecuentemente transportado por del viento, el agua, o simplemente la gravedad. En el caso de mares y océanos, la mayor cantidad de sedimento es de origen, terrígeno, litogénico, y biogénico. Los terrígenos, y litogénicos provienen de la degradación y erosión, de la corteza oceánica y continental, que se dispersan en el mar transportados por los ríos, los vientos, y las corrientes marinas. Los biogénicos son de origen orgánico y mayormente provienen de la descomposición de los organismos que en vida habitaban los mares, y que al morir, descienden al fondo del lecho marino en forma de conchas o esqueletos. Cabe acotar que la interacción química, entre todos los elementos que componen el océano, coadyuva a la precipitación en muchos casos de los sólidos en suspensión que se encuentran disgregados

en todos estos cuerpos de agua, y que pueden recombinarse posteriormente para generar nuevos sedimentos de carácter mixto, más o menos heterogéneos, que irán cambiando su composición en el tiempo.

Los sedimentos en zonas costeras provienen en principio de procesos de erosión de la materia. Esta degradación genera partículas de diversos materiales y tamaños, que son transportadas por los vientos, los ríos y la gravedad. Muchas de estas partículas llegan finalmente al mar, después de haber cambiado, en mayor o menor grado, sus características físicas y químicas. Una vez en el océano, se disuelven, descomponen, recombinan, permanecen en suspensión, o se depositan en el suelo marino.

El sedimento puede llegar al océano por distintas vías: descarga, remoción, erupción, etc. En cualquier caso es transportado hacia el mar. Una vez allí es afectado por otros procesos, propios del medio marino. Se verá en detalle, algunos de los factores que mayormente inciden en esta dinámica.

Van Rijn (1993-2013) considera que el transporte de la arena se define como: "...el transporte de partículas con tamaños en el rango de 0,05 a 2 mm como se encuentra en el lecho de los ríos, estuarios y aguas costeras. Los dos modos principales de transporte de arena son el transporte de cama de carga (bed load) y transporte de carga en suspensión. El transporte de la cama de carga se encuentra definido por la Rodadura, Arrastre y Saltación de las partículas en estrecho contacto con la cama, y está dominada por las fuerzas de arrastre inducidas por el flujo y por las fuerzas gravitatorias que actúan sobre las partículas. El transporte de carga en suspensión es el movimiento irregular de las partículas a través de la columna de agua inducida por las fuerzas de arrastre generado por la turbulencia de las partículas. Toda la información es presentada por Van Rijn (1993).

La definición del transporte de la cama de carga no está aceptada universalmente. El flujo de transporte a altas tensiones de cizallamiento-cama puede ser considerado como un tipo de transporte de la cama de carga, pero también puede ser visto como el transporte de carga suspendida. Algunos consideran que el transporte de la cama de carga se produce en la región donde las concentraciones son tan altas que las interacciones de grano son

considerables, y los granos en sí mismos no son afectados directamente por las fuerzas de del fluido.

En esto, la red (como promedio durante el periodo de la ola) del total del transporte de sedimentos en las aguas costeras se define como una suma vectorial de, la red carga de fondo (q_b) y la red carga en suspensión (q_s): $Q_{tot} = q_b + q_s$.

Por razones prácticas, el transporte en suspensión en las aguas costeras se subdivide en 2 componentes: los relacionados con las corrientes y las relacionadas con la onda de transporte. Por lo tanto, el transporte de la carga en suspensión se representa como la suma vectorial de la corriente relacionada ($Q_{S,c}$ en dirección de la corriente) y los componentes relacionados con el transporte de onda ($Q_{S,w}$ en dirección de la ola), de la siguiente manera (ver ecuación II.8):

$$q_s = q_{s,c} + q_{s,w} = \int v c \, dz + \int \langle (V-v)(C-c) \rangle dz \quad (II.8)$$

En la que:

$q_{s,c}$ = velocidad de transporte de sedimentos promediada en el tiempo relacionados con la corriente en suspensión y

$q_{s,w}$ = velocidad de transporte de sedimentos promediada en el tiempo relacionados con la corriente ola-sedimento (componente oscilante),

v = velocidad promediada en el tiempo,

V = velocidad instantánea,

C = concentración instantánea y c = concentración promediada en el tiempo,

$\langle \dots \rangle$ Representa un intervalo promedio de tiempo adicional,

$\int \dots$ Representa la integral de la parte superior de la capa de la cama-carga a la superficie del agua.

La definición precisa del límite inferior de integración es de importancia esencial para la determinación de las tasas de transporte en suspensión. Además, los perfiles de velocidad y concentración deben ser bien conocidos.

Se sabe que el movimiento de las olas reduce las velocidades de la corriente cerca de la cama, mientras que, en contraste, las concentraciones cerca de la misma están fuertemente relacionadas con la agitación de las olas. Estos efectos deben incluirse en el transporte total.”

La geometría de las partículas, y las características del flujo condicionan el tipo de movimiento, pero en general podemos decir que de acuerdo a su comportamiento, el movimiento de las partículas de fondo en Van Rijn (1993-2013) se define como:

- Arrastre: movimiento asociado a partículas más pesadas pero todavía, “arrastrables”, donde no existe diferencia de velocidades relativas entre dos puntos cualesquiera de la propia partícula, generándose básicamente un movimiento de traslación.
- Rodadura: el movimiento es de rotación y en la dirección promedio del flujo de la cama de sedimentos.
- Saltación: en flujos turbulentos, y moderadamente turbulentos, las partículas tienden a ser suspendidas momentáneamente. Durante algunos instantes son arrastradas por el flujo de una forma caótica, descendiendo más o menos rápido de acuerdo con las condiciones hidrodinámicas.

4.- Dispersión de sedimentos

Para la simulación de la dispersión del material de dragado se aplica un modelo numérico tridimensional en Elementos Finitos (en adelante EF) para la resolución de la ecuación de convección-difusión-reacción:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_s C) + \frac{\partial}{\partial y}(v_s C) - \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + SC = 0 \quad (\text{II.9})$$

Donde:

C; es la concentración del material a dispersar (kg·m⁻²)

u_s, v_s; son las velocidades de la corriente en la dirección X e Y, respectivamente (m·s⁻¹)

K_x, K_y; son los coeficientes de dispersión turbulenta en la dirección X e Y, respectivamente (m²·s⁻¹)

S; es la función de reacción que en este caso se trata de la sedimentación del material vertido

Para resolver la ecuación de convección-difusión-reacción descrita en el apartado anterior, se ha estimado la función de sedimentación de reacción mediante el cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas que lo componen. Para ello, se ha considerado que la dispersión del material dragado puede equipararse al comportamiento del material sedimentario en el que la cohesión interna entre granos de sedimento es despreciable.

Para el cálculo de la velocidad de sedimentación, se emplea la expresión de Stokes, que se expresa según la ecuación II.10.. (Allen, 1985):

$$V_s = \frac{1}{18} \frac{(\sigma - \rho)}{\eta} g \Phi^2 \quad (\text{II.10})$$

Donde:

V_s; es la velocidad de sedimentación (m·s⁻¹)

σ; es la densidad de la partícula (kg·m⁻³)

ρ; es la densidad del agua del mar (kg·m⁻³)

g; es la aceleración de la gravedad (m·s⁻²)

η; es la viscosidad del agua del mar en (N·s·m⁻²)

Φ ; es el diámetro medio de las partículas (m)

El resultado de esta relación cuadrática entre la velocidad de sedimentación y el tamaño de partícula se muestra en la Figura II.14. Asumiendo un fondo uniforme y una velocidad de la corriente promediada en la vertical constante en el tiempo, se puede estimar la longitud de la pluma de dispersión como se muestra en la ecuación II.11:

$$L = h * \tan\alpha \quad (\text{II.11})$$

Donde: L, es la longitud de la pluma (en metros); h, es la profundidad del punto de vertido (en metros) y; α , es el ángulo que forma la composición de la velocidad de la corriente más la velocidad de sedimentación con la vertical.

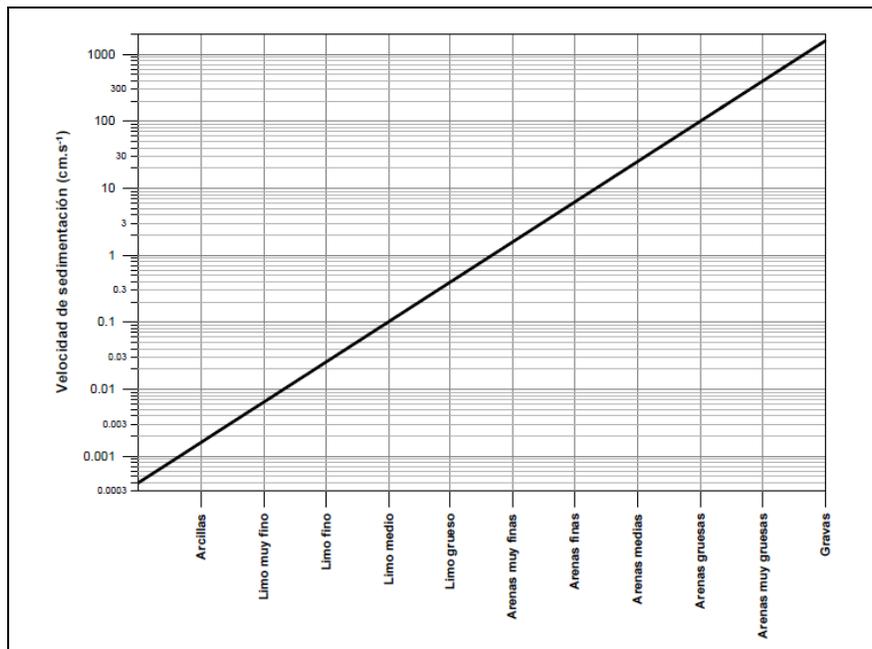


Figura II.14. Velocidad de sedimentación respecto al tamaño de grano según la fórmula de Stokes. Van Rijn (1993-2013)

En este caso la tangente del ángulo es igual al cociente entre la velocidad de la corriente (V_c) y la de sedimentación (V_s); por lo que la fórmula anterior puede escribirse como se observa en la ecuación II.12:

$$L = h \cdot \frac{V_c}{V_s} = h \frac{V_c}{9,79 \cdot 10^{-7} \Phi^2} \approx 10^6 \frac{hV_c}{\Phi^2} \quad (\text{II.12})$$

Siendo: Φ el diámetro de la partícula en μm . En las mismas condiciones, el tiempo (en segundos) que transcurre hasta que el sedimento llega al fondo marino puede estimarse como se observa en la ecuación II.13:

$$t = \frac{h}{9,79 \cdot 10^{-7} \Phi^2} \quad (\text{II.13})$$

II.2.6.- Modelo de simulación

Los orígenes de los modelos de simulación son tan antiguos como los primeros vestigios de la humanidad; las representaciones vivas, las maquetas y los juguetes son sólo algunos ejemplos de cómo el ser humano ha empleado la simulación para reproducir la realidad circundante a él. Shanon (1988), la define como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del mismo. Objeto X es un modelo del objeto Y para el observador Z, si Z puede emplear X para responder cuestiones que le interesan acerca de Y. Minsky (1968).

Por su parte Shubik (1975), expresa que la simulación de un sistema o de un organismo es la operación de un modelo, llamado simulador el cual es una representación del sistema. Este modelo o simulador estará sujeto a diversas manipulaciones, las cuales serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas. La operación de un modelo puede

estudiarse y con ello conocer las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real.

Otra definición del término, es la expresada por Naylor (1977): Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento de un sistema. Entendiéndose por modelo, lo expuesto por Minsky (1968): Ahora bien, esta investigación está enmarcada en los modelos de simulación de dispersión atmosférica como herramienta de apoyo en el estudio y cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero efectuadas en una refinería de petróleo, proporcionando la capacidad de realizar estimaciones de las condiciones atmosféricas, como también proyecciones del estado de los gases ya mencionados. Por lo tanto se expondrá a continuación esta clase de modelación.

II.2.6.1.- Modelación: En las últimas décadas, la modelación se convirtió en una herramienta habitual de diversas disciplinas que buscan explicar o reproducir sus respectivas observaciones. Es así como Higashi y Burns (1991) señalan: “La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones”. Busto (2004), expresa a la utilidad de la modelación desde un punto de vista de la dispersión de contaminantes, como una herramienta para saber, entre otras cosas, cómo cambia en el tiempo y el espacio la concentración o la razón de mezcla de una sustancia o traza habitualmente identificada como un contaminante, a objeto de predecir y analizar la calidad del aire. Por su parte Lavoisier (1789), señala a este cambio, descrito por la ecuación de continuidad (modelo conceptual), que expresa el balance entre las variaciones de la concentración de una traza y el efecto de flujos de transporte, fuentes y sumidero.

II.2.6.2.- Dispersión de contaminantes en la atmósfera: sigue los mismos principios físicos de mezclado de otros fluidos, como el agua en un río. Cuando una descarga vertical

de aire caliente es vertida en la atmósfera libre donde existe un viento permanente, esta subirá primero, y posteriormente se doblará y viajará con el viento. Este proceso diluye los contaminantes y los aleja de la fuente. Al mismo tiempo que la pluma se desplaza desde la fuente, el proceso de mezcla atmosférico y la turbulencia producen que la pluma se extienda (disperse) en ambas direcciones lateral y vertical. EPA (1999).

Entre los modelos existentes, se pueden citar:

Modelo de Gauss. EPA (1999): Este modelo es quizás el más antiguo (1936), y probablemente quizás el tipo de modelo más comúnmente utilizado. Se supone que la dispersión de los contaminantes del aire tiene una distribución de Gauss, lo que significa que su distribución tiene una probabilidad normal. Los modelos de Gauss son utilizados para predecir la dispersión de la contaminación del aire, por la continua flotación de plumas procedentes de nivel del suelo o de fuentes elevadas. Los modelos de Gauss también pueden ser usados para predecir la dispersión de las plumas de contaminación en el aire (llamados modelos de hojaldre). El algoritmo que se utiliza en el modelado de Gauss es la ecuación de dispersión generalizada para un punto de continuo.

El modelo de la columna de humo gaussiana se basa en las siguientes hipótesis (EPA, 1999):

- 1- La columna de humo emitida por la chimenea se eleva hasta cierta altura efectiva, H , que es la suma de la altura de la chimenea, h , más el ascenso D_h , debido al momento inicial del humo así como a la diferencia de temperaturas entre el gas saliente y el aire que le rodea.
- 2- A partir de H_{ef} la columna de humo se mueve horizontalmente en la dirección del viento (dirección x) con velocidad u y se dispersa en las direcciones perpendiculares a éste, y y z . (y = horizontal, z = vertical). La dispersión en el plano yz se debe principalmente a la turbulencia atmosférica y puede calcularse como una distribución gaussiana según la ecuación II.14:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (\text{II.14})$$

donde $C(x,y,z)$ es la concentración, Q es la cantidad de contaminante emitido por unidad de tiempo (s-1), u es la velocidad del viento y σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión turbulenta que dependen de la clase de estabilidad y de la distancia al foco en la dirección del viento, x . En la ecuación anterior el suelo se trata como una superficie plana que no absorbe contaminante. El significado de las variables se muestra en la figura II.15.

El modelo de dispersión ISC-PRIME, recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2012), está basado en un modelo Gaussiano que utiliza información meteorológica de una estación de superficie y contiene ecuaciones para ajustar las velocidades del viento a distintas alturas. Es un modelo de estado estacionario (es decir, sus concentraciones varían en escalas de tiempo de 1 hora) el cual posee opciones para incluir la topografía en el cálculo de las concentraciones de contaminantes. Para el caso de su aplicación en este proyecto, la topografía se incluyó a través de las coordenadas de los puntos receptores.

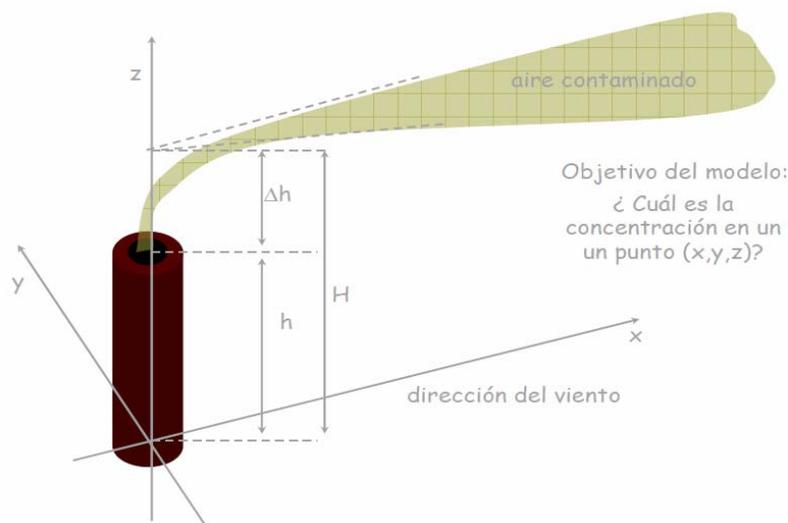


Figura II.15. Modelo de dispersión de gases. (EPA, 2012)

La ecuación básica del modelo se representa en la ecuación II.15:

(II.15)

Donde: c : concentración (g/m³); u : velocidad del viento a la altura efectiva de la chimenea (m/s); Q : emisión de contaminantes (g/s); σ_y : coeficiente de dispersión horizontal (m); σ_z : coeficiente de dispersión vertical (m); H : Altura efectiva de la emisión (m) y coordenada horizontal, en la dirección del viento, tomando como origen el punto de emisión (m); z : Coordenada vertical, tomando como origen el punto de emisión (m). La ecuación se corrige por reflexión en el suelo y en la altura de mezcla, quedando de la forma según la ecuación II.16:

$$c = \frac{Q}{u2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[\begin{array}{l} \exp-0.5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + \exp-0.5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2 + \\ \sum_{N=1}^k \left(\exp-0.5\left(\frac{z-H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + \exp-0.5\left(\frac{z+H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 \right. \\ \left. \exp-0.5\left(\frac{z-H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + \exp-0.5\left(\frac{z+H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 \right) \end{array} \right] \quad (\text{II.16})$$

El programa ISPRIME, incluye un programa central y dos pre-procesadores de datos, AERMET y AERMAP. AERMET es un pre-procesador meteorológico.

Trabajando la capa límite y otros parámetros necesarios para el funcionamiento de AERMOD y acepta datos de fuentes ubicadas tanto en el sitio como fuera de este. AERMET crea dos archivos: un archivo de datos de superficie y un archivo de datos de viento. AERMAP es un pre-procesador de topografía que utiliza los datos del terreno para calcular una altura de influencia representativa del terreno (h_c), también referida como escala de altura del terreno. Este pre-procesador es usado también para crear mallas de receptores. AERMOD es un modelo de pluma estacionario aplicable tanto a áreas rurales como urbanas, a terrenos planos y complejos, y a múltiples tipos de fuentes (puntuales, areales y volumétricas). En la capa límite estable, asume que la distribución de la concentración es Gaussiana tanto para el eje x como para el eje y . En la capa límite

convectiva, la distribución horizontal también es asumida Gaussiana, pero la distribución vertical es descrita mediante una Función de Densidad de Probabilidad Bi-Gaussiana. (Warner, 2000). (USEPA AP-42 METHODS, 2012)

El modelo incorpora, mediante un acercamiento simple, conceptos básicos acerca de flujo y dispersión de contaminantes en terrenos complejos, donde la pluma es modelada tanto donde impacta como siguiendo el terreno.

Este acercamiento ha sido diseñado para ser físicamente realista y simple de implementar, eliminando así la necesidad de distinguir entre terrenos simples, intermedios y complejos, como es requerido para el resto de los modelos regulatorios. AERMOD elimina la necesidad de definir regímenes de terrenos complejos, todo el terreno es manejado de manera consistente y continua.

Los coeficientes de dispersión vertical se calculan según fórmulas empíricas. Una de ellas son las dadas por (Griffiths, 2012). Estas fórmulas suelen estar implementadas en los programas informáticos de modelos de dispersión que se utilizan habitualmente y son función de la clase de estabilidad atmosférica. Esta se representa por un código alfabético que va desde la A (más inestable) hasta la F (más estable).

La clase de estabilidad atmosférica se puede deducir para cada condición meteorológica a partir de la Tabla II.1.

Tabla. II.1. Condiciones meteorológicas que definen las clases de estabilidad de Pasquill. (Griffiths, 2012)

$U_{10} / m s^{-1}$	Día, radiación solar			Noche	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubes $> 1/2$	Nubes $< 3/8$
< 2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C		D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Para el cálculo del *ascenso vertical* de la columna de humo, D_h , se utilizan expresiones empíricas como la de Holland o la de Briggs, 2008. En todas ellas el ascenso vertical depende de la diferencia de temperatura entre los gases de salida y la temperatura ambiente

y la velocidad de salida de gases. Otros parámetros que también influyen en el ascenso vertical son el diámetro de la chimenea y la estabilidad atmosférica.

Al igual ocurre con los coeficientes de dispersión, las fórmulas para el cálculo de D_h ya suelen estar incluidas en los modelos informáticos, lo cual no es excusa para ignorar como influyen cada uno de ellos en el ascenso de la columna de humo.

Tipos de modelos de dispersión atmosférica: Los modelos promovidos por la EPA son aceptados y utilizados por varios países en el estudio de la modelación de dispersión atmosférica algunos de estos serán descritos a continuación:

AERMOD. EPA (1999): Es un modelo de dispersión atmosférica sobre la base de la estructura de la turbulencia atmosférica de la capa límite y los conceptos de escala, junto al tratamiento de suelo de varios niveles en punto elevados, área y volumen de las fuentes. Maneja complejos, rurales o urbanos del terreno e incluye algoritmos para efectos del desarrollo y la penetración de penacho de inversiones en alto. Utiliza la dispersión de Gauss para condiciones atmosféricas estables (es decir, baja turbulencia) y no para condiciones inestables (alta turbulencia). También es incluido en el modelo, algoritmos para el agotamiento del penacho por deposición húmeda y seca. Este modelo fue en el desarrollo aproximadamente hace 14 años, antes de ser oficialmente aceptados por la EPA de Los EEUU.

CALPUFF. EPA (1999): Un modelo de estado de dispersión, que simula los efectos del tiempo y el espacio las diversas condiciones meteorológicas sobre el transporte de la contaminación, la transformación y eliminación. CALPUFF se puede aplicar para transporte a larga distancia y para terrenos complejos.

BLP. EPA (1999): Modelo de dispersión de la nube de Gauss, diseñado para manejar los problemas de modelos únicos relacionados con las fuentes industriales en elevación del penacho y los efectos de deflexión de las fuentes de línea fija son importantes.

CALINE3. EPA (1999): Un equilibrio de Gauss, es un modelo de estado de dispersión diseñados para determinar las concentraciones de contaminación en los lugares receptores de sotavento de carreteras situado en un terreno relativamente poco complicado.

CAL3QHC-CAL3QHCR-CAL3QHC. EPA (1999): Es el modelo basado CALINE3 con los cálculos de cola y un modelo de tráfico para el cálculo de los retrasos y las colas que se producen en las intersecciones señalizadas. CAL3QHCR es una versión más refinada basada en CAL3QHC para las autoridades locales que manejan datos meteorológicos.

CTDMPLUS. EPA (1999): Un complejo modelo de dispersión del Terreno (CTDM), además de los algoritmos para situaciones inestables (es decir, las condiciones atmosféricas muy turbulentas). Se trata de un refinado modelo de fuente puntual de Gauss la calidad del aire, para su uso en todas las condiciones de estabilidad (es decir, todas las condiciones de turbulencia atmosférica) para terrenos complejos.

ISC3. EPA (1999): Modelo de Gauss para evaluar las concentraciones de contaminantes de una amplia variedad de fuentes asociadas en un complejo industrial. Este modelo cuenta: con la solución y la deposición seca de partículas; deflexión y punto, área, líneas y fuentes de volumen, elevación del penacho, en función de la distancia a favor del viento, la separación de fuentes puntuales y ajuste de terreno limitado. ISC3, opera tanto a largo como a corto plazo modos.

II.2.6.4.-Modelo climático (jerarquía). UNFCCC (2010): Representación numérica del sistema climático sobre la base de las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroacción, y que tiene en cuenta todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático puede representarse con modelos de distinta complejidad, de manera que, para cada componente o combinación de componentes, se puede identificar una jerarquía de modelos, que difieren entre sí en aspectos como el número de dimensiones espaciales, el grado de detalle con que se representan los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas.

II.2.6.5.- Ecuaciones de estado para gases: Las ecuaciones de estado son útiles para describir las propiedades de los fluidos, mezclas, sólidos o incluso del interior de las estrellas. Cada sustancia o sistema hidrostático tiene una ecuación de estado característica

dependiente de los niveles de energía moleculares y sus energías relativas, tal como se deduce de la mecánica estadística.

El uso más importante de una ecuación de estado es para predecir el estado de gases. Una de las ecuaciones de estado más simples para este propósito es la ecuación de estado del gas ideal, que es aproximable al comportamiento de los gases a bajas presiones y temperaturas mayores a la temperatura crítica. Sin embargo, esta ecuación pierde mucha exactitud a altas presiones y bajas temperaturas, y no es capaz de predecir la condensación de gas en líquido. Por ello, existe una serie de ecuaciones de estado más precisas para gases y líquidos. Entre las ecuaciones de estado más empleadas sobresalen las ecuaciones cúbicas de estado. De ellas, las más conocidas y utilizadas son la ecuación de Peng-Robinson (PR) y la ecuación de Redlich-Kwong-Soave (RKS) (Méndez, 2011). Hasta ahora no se ha encontrado ninguna ecuación de estado que prediga correctamente el comportamiento de todas las sustancias en todas las condiciones.

II.2.6.5.1.- Ecuaciones de estado más usadas

Analizando el comportamiento de los gases que se puede observar en los diagramas PvT o Pv, se han propuesto muchos modelos matemáticos distintos que se aproximan a dicho comportamiento. Sin embargo, estos modelos no pueden predecir el comportamiento real de los gases para todo el amplio espectro de presiones y temperaturas, sino que sirven para distintos rangos y distintas sustancias. Es por eso que, según las condiciones con las cuales se esté trabajando, conviene usar uno u otro modelo matemático.

En las siguientes ecuaciones las variables están definidas como aparece a continuación; se puede usar cualquier sistema de unidades aunque se prefieren las unidades del Sistema Internacional de Unidades:

P = Presión (atmósferas)

V = Volumen

n = Número de moles

$v = V/n =$ Volumen molar, el volumen de un mol de gas

$T =$ Temperatura (K)

$R =$ constante de los gases (8,314472 J/mol·K) o (0,0821 atm·L/gmol·K)

II.2.6.5.2.- Modelo Matemático Ideal - Ley del gas ideal

La ecuación de los gases ideales realiza las siguientes aproximaciones, según la ecuación II.17:

1. Considera que las moléculas del gas son puntuales, es decir que no ocupan volumen.
2. Considera despreciables a las fuerzas de atracción-repulsión entre las moléculas.

Tomando las aproximaciones anteriores, la ley de los gases ideales puede escribirse

$$P \cdot v \cdot m = RT \quad (\text{II.17})$$

v_m es el volumen específico, que se define como el volumen total sobre la masa (con unidades en gramos, kilogramos, libras, etc.) o como el volumen total sobre la cantidad de materia (medida en gramos moles, libras moles, etc.). El primero se denomina volumen específico másico y el segundo volumen específico molar. Para la expresión anterior se utiliza el volumen específico molar. Si se quiere expresar en función del volumen total, se tiene la siguiente ecuación II.18:

$$PV = nRT \quad (\text{II.18})$$

Además, puede expresarse de este modo de la ecuación II.19

$$P = \rho(\gamma - 1)u \quad (\text{II.19})$$

donde ρ es la densidad, γ el índice adiabático y u la energía interna. Esta expresión está en función de magnitudes intensivas y es útil para simular las ecuaciones de Euler dado que expresa la relación entre la energía interna y otras formas de energía (como la cinética), permitiendo así simulaciones que obedecen a la Primera Ley.

La ecuación de los gases ideales no tiene buena correlación con el comportamiento de los gases reales. Al considerar el volumen molecular y las fuerzas de atracción-repulsión despreciables, no es fiable cuando el volumen es pequeño o la temperatura es baja, ya que los factores que se despreciaron influyen más. Es por eso que se la utiliza a altas

temperaturas (la energía cinética de las moléculas es alta comparada con las fuerzas de atracción-repulsión) y bajas presiones (el volumen es muy grande comparado con el volumen de las moléculas del gas). En general el criterio utilizado es que se puede utilizar dicha ecuación cuando la temperatura a la que se está trabajando (o el rango de temperaturas) es superior a dos veces la temperatura crítica del compuesto.

En la gráfica Pv, la zona de temperaturas superior a dos veces la temperatura crítica corresponde a las isothermas que superan a la isoterma crítica. Al estar tan lejos de la campana húmeda del gráfico, las curvas isotérmicas se aproximan a la forma que tienen en el gráfico Pv para los gases ideales. La pendiente de las curvas isotérmicas se puede sacar haciendo la derivada parcial de la presión en función del volumen específico molar, quedando la siguiente ecuación II.20

$$P = RT / \rho \quad dP/d\rho = -RT / \rho^2 \quad (\text{II.20})$$

Cálculo del flujo de gas combustible en el ducto, según la ecuación II.21

$$\dot{G}_D = (\dot{F}_{CO_2} + \dot{F}_{H_2O} + \dot{F}_{O_e}) * \frac{1}{453.59237} \quad (\text{II.21})$$

Dónde:

\dot{G}_D : Flujo de gas combustible en el ducto (klb/h).

\dot{F}_{CO_2} : Flujo másico de dióxido de carbono (kg/h).

\dot{F}_{H_2O} : Flujo másico de agua (kg/h).

\dot{F}_{O_e} : Flujo másico de oxígeno en exceso (kg/h).

El flujo másico de dióxido de carbono se determinó por medio de la siguiente ecuación II.22:

$$\dot{F}_{CO_2} = \eta_{CO_2} * PM_{CO_2} \quad (\text{II.22})$$

Dónde:

η_{CO_2} : Moles de dióxido de carbono (mol).

PM_{CO_2} : Peso molecular del dióxido de carbono (44.01 g/mol).

Los moles de dióxido de carbono se determinaron por medio de la siguiente ecuación II.23:

$$\eta_{CO_2} = \eta_{METANO} * RE \quad (II.23)$$

Dónde:

η_{METANO} : Moles de metano (mol).

RE : Relación estequiometría CH_4 : CO_2 , la cual es 1:1 (adim).

El flujo másico de agua se determinó por medio de la siguiente ecuación II.24:

$$\dot{F}_{H_2O} = \eta_{H_2O} * PM_{H_2O} \quad (II.24)$$

Dónde:

η_{H_2O} : Moles del agua (mol).

PM_{H_2O} : Peso molecular del agua (18 g/mol).

Los moles de agua se determinaron por medio de la siguiente ecuación II.25:

$$\eta_{H_2O} = \eta_{METANO} * RE \quad (II.25)$$

Dónde:

η_{METANO} : Moles de metano (mol).

RE : Relación estequiometría CH_4 : H_2O , la cual es 1:2 (adim).

El flujo másico de oxígeno se determinó por medio de la siguiente ecuación II.26:

$$\dot{F}_{O_e} = \%O_{EXCESO} * \eta_{OXIGENO_{REQUERIDO}} * PM_{OXIGENO} \quad (IV.26)$$

Determinación de las velocidades

Para el cálculo de las velocidades del gas en el ducto, se requiere de la siguiente información.

- Flujo de gas de combustión en el ducto.
- Densidad del gas de combustión.
- Dimensiones del ducto (Altura y Diámetro).

Se utiliza la ecuación II.27:

$$V = F * \frac{1}{\rho_{GD}} * A * \frac{1}{1000} \quad (\text{II.27})$$

Dónde:

V : Velocidad (km/h)

ρ_{GD} : Densidad de gas en el ducto (kg/m^3).

A : Área del ducto (m^2).

El área se determinó por medio de la ecuación II.28:

$$A = \pi * r^2 \quad (\text{II.28})$$

Dónde:

r : Radio de la chimenea (m).

h : Altura de la chimenea (m).

Cálculo de la velocidad para un mecurrio tipo fosa

La velocidad se determinó por medio de la ecuación (II.29) y el área se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \pi * r^2 \quad (\text{II.29})$$

La densidad se determinó por medio de la ecuación (II.30) y el peso molecular se calculó de la siguiente manera:

$$PM_G = \sum PM_i \quad (\text{II.30})$$

Calculo de la altura efectiva de la chimenea

La mayoría de los métodos analíticos para pronosticar las concentraciones de los efluentes de las chimeneas implican la localización de un origen virtual o equivalente. La elevación H del origen virtual se obtiene añadiendo un término Δh de la altura de la pluma, a la altura actual, h_s , de la chimenea.

Básicamente, tres conjuntos de parámetros controlan el fenómeno de una pluma gaseosa inyectada a la atmósfera desde una chimenea. Son: las características de la chimenea, las condiciones meteorológicas, y la naturaleza física y química del efluente.

Carson y Moses (1969), compararon 711 valores observados de plumas con los valores calculados suministrados por 11 ecuaciones diferentes.

Llegaron a la conclusión de que se necesitaban realizar muchos más estudios antes de que se pudiera desarrollar un método completamente satisfactorio para pronosticar valores de elevación de plumas. La mayoría de las ecuaciones que predicen la elevación de la pluma contienen un término de cantidad de movimiento y un término de flotación térmica. El primer término tiene en cuenta la cantidad vertical de movimiento del gas de la chimenea debido a su propia velocidad, V_s . El segundo término tiene en cuenta, de alguna manera, la diferencia entre la temperatura del gas de la chimenea, T_s y la temperatura ambiental, T_a .

Carson y Moses (1969) llegaron a la conclusión de que la siguiente ecuación proporcionaba el mejor acuerdo con todos los datos observados, sin importar la condición de estabilidad se tiene la ecuación II.31, de la siguiente forma:

$$\Delta h = -0.029 \frac{V_s d}{u} + 2.62 \frac{(Q_h)^{1/2}}{u} \quad (\text{II.31})$$

Donde Δh es la elevación de la pluma en metros, V_s es la velocidad de salida del gas de la chimenea, en metros por segundo, d es el diámetro de salida de la chimenea, u es la velocidad del viento a la altura de la chimenea, y Q_h es la tasa de emisión de calor en kilojulios por segundo.

Para aclarar aún más la ecuación II.31, se tiene la ecuación II.32:

$$Q_h = \dot{m} c_p (T_s - T_a) \quad (\text{II.32})$$

Donde \dot{m} es la tasa de flujo de masa del gas de la chimenea, en kilogramos por segundo ($\dot{m} = \Pi d^2 V_s P / 4RT_s$), c_p es el calor específico, a presión constante del gas de la chimenea, T_s es la temperatura del gas de la chimenea a la salida de la misma, en grados Kelvin, y T_a es la temperatura del aire atmosférico a la altura de la chimenea, en grados Kelvin. Por otra parte, la fórmula de Holland (1975), ecuación II.33:

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left[1.5 + 2.68 \times 10^{-3} p d \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right] \quad (\text{II.33})$$

mostró un acuerdo bastante bueno con las observaciones, con una ligera tendencia a subestimar la elevación de la pluma. Los símbolos y unidades para la ecuación de Holland (1975) son los mismos citados anteriormente. Además, la presión P se debe expresar en milibares. Esta ecuación parece ser más exacta para las chimeneas altas. Si se desea, el último término de la fórmula Holland (1975) se puede sustituir por $0.0096 Q_H / V_s d$.

Moses y Kraimer (1972) analizaron 17 ecuaciones para la elevación de las plumas sobre la base de 615 observaciones realizadas sobre 26 chimeneas diferentes. Entre aquellas ecuaciones que suministraron pronósticos razonablemente buenos, estaban dos propuestas por Concawe (1975). La fórmula original de Concawe (1975), basada en observaciones efectuadas en Europa, es la ecuación II.34:

$$\Delta h = 2.71 \frac{Q_H^{1/2}}{u^{3/4}} \quad (\text{II.34})$$

Cuando fue perfeccionada por Thomas y colaboradores (1970), sobre la base de los datos de la TVA, la ecuación II.35 tomó la forma:

$$\Delta h = 4.71 \frac{Q_H^{0.444}}{u^{0.666}} \quad (\text{II.35})$$

Se encontró además que las tres ecuaciones específicas de Moses y Carson (1969) para condiciones atmosféricas inestables, neutrales y estables eran razonablemente exactas. Los datos para estas tres relaciones se utilizaron para desarrollar la ecuación global de Moses y Carson (1969), que ya se indicó. Específicamente, estas tres ecuaciones II.36, II.37 Y II.38 son:

$$\Delta h = 3.47 \frac{V_s d}{u} + 5.15 \frac{(Q_H)^{0.5}}{u} \quad (\text{inestable}) \quad (\text{II.36})$$

$$\Delta h = 0.35 \frac{V_s d}{u} + 2.64 \frac{(Q_H)^{0.5}}{u} \quad (\text{neutral}) \quad (\text{II.37})$$

$$\Delta h = -1.04 \frac{V_{fd}}{u} + 2.24 \frac{(Q_h)^{0.5}}{u} \quad (\text{estable}) \quad (\text{II.38})$$

Las ecuaciones II.36, II.37 Y II.38 anteriores pronostican la elevación efectiva de la pluma sobre la parte superior de una chimenea a cierta distancia en la dirección del viento donde la pluma ha alcanzado su altura máxima. Además se demuestra que la posición de máxima elevación puede tener lugar a una distancia considerablemente mayor en la dirección del viento a partir de la chimenea y en la dirección x . De aquí resulta que la dispersión de los contaminantes de la pluma en lugar cercano a la chimenea tiene lugar a una altura que es sobrestimada por la altura efectiva de la chimenea, H .

Los métodos anteriores para estimar la elevación efectiva de la pluma para una distancia específica en la dirección del viento a partir de la chimenea, han mostrado considerable ambigüedad (Wark y Warner, 2000). Por tanto, la mayor parte de los modelos han sido necesariamente basados en la altura efectiva total.

Determinación de la Velocidad del Viento

La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. Él diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

El viento es causado por las diferencias en la presión atmosférica. La altura y temperatura de una columna de aire determinan la presión atmosférica. Debido a que el aire frío pesa más que el caliente, la masa de alta presión está constituida de aire frío y pesado. Por el contrario, una masa de baja presión de aire está formada por aire más caliente y liviano. Las diferencias de presión hacen que el aire se mueva de las áreas de alta presión a las de baja presión, lo que da lugar al viento.

La velocidad del viento se mide normalmente a 10 metros de altura. Esta velocidad, a niveles más bajos de 10 metros, se ve reducida notablemente debido a los efectos de rozamiento. Para niveles distintos de este valor, la velocidad del viento debe corregirse, para ello existen dos procedimientos, uno en función de la estabilidad atmosférica y el otro en función de la rugosidad de superficie.

a) En función de la estabilidad atmosférica (Arya, 1995), según ecuación II.39:

$$U_z = u_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (\text{II.39})$$

Donde:

U_z : Velocidad del viento a la altura de la chimenea.

u_{10} : Velocidad del viento a 10 metros de altura, (en el caso de que la altura de referencia sea diferente a 10 metros, se debe dividir el termino z de la ecuación por esa altura de referencia).

z : Altura de la chimenea y p : coeficiente exponencial, ver tabla II.2

A continuación se muestra tabla de coeficiente exponencial p , para la determinación de la velocidad del viento en función de la estabilidad.

Tabla II.2. Coeficiente exponencial (p). (Arya, 1995)

Estabilidad	Condición	P
A	Extremadamente inestable	0,12
B	Moderadamente inestable	0,16
C	Ligeramente estable	0,20
D	Neutra	0,25
E	Ligeramente estable	0,30
F	Moderadamente inestable	0,40

b) En función de la rugosidad de superficie (Arya, 1995), según ecuación II.40:

$$U(z) = 2,5 V * \ln (Z+ Z_o /Z_o) \quad (\text{II.40})$$

Donde:

U_z : Velocidad del viento a la altura de la chimenea.

V : Velocidad de fricción.

Z : Altura de la chimenea.

Z_o : Altura de referencia.

Donde la velocidad de fricción depende de la altura de referencia Z_o , como se muestra en la Tabla II.3

Tabla II.3. Velocidad de fricción e función de la altura de referencia (Arya, 1995)

Tipo de superficie	Zo (m)	V(m/s)
suelo liso (lodo, hielo)	0,001	0,16
suelo nevado liso	0,005	0,17
Superficie de agua calmada	0,002	0,21
suelo desértico	0,003	0,22
prado con hierba de 1 cm	0,1	0,27
prado con hierba de 5 cm	1-2	0,43
prado con hierba de 50 cm	4-9	0,6
áreas cosechadas	14	1,75

Estimación de la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a nivel del suelo (modelo de Gauss)

La representación más adecuada del perfil de la concentración a favor del viento está dada por la ecuación general II.41:

$$C = Kx^{-1} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \frac{x}{4x} \right] \quad (II.41)$$

Donde K es una constante arbitraria cuyo valor está determinado por las condiciones de

frontera del problema atmosférico específico, para este caso, $\frac{Q}{2\pi x (D_y D_z)^{1/2}}$, donde Q es la fuerza de la fuente de emisión, es decir, la masa emitida por unidad de tiempo. Al sustituir k en la ecuación (II.42) se encuentra que la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a nivel del suelo está representada por la expresión:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi x (D_y D_z)^{1/2}} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \frac{x}{4x} \right] \quad (II.42)$$

Esta ecuación tiene el formato de la distribución gaussiana doble o normal. Como sucede para una fuente a nivel del suelo la máxima concentración en las direcciones y y z deberá tener lugar a lo largo de la línea central a nivel del suelo, los valores de μ_y y μ_z serán cero para esta situación física (Wark y Warner, 2000). Por tanto, la ecuación de Gauss se reduce a la forma ecuación II.43:

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (\text{II.43})$$

Se ha considerado conveniente reorganizar la ecuación (II.42) en una forma similar a la expresión anterior. Se establecen las siguientes definiciones a fin de poder efectuar dicha transformación según ecuación II.44:

$$\sigma_y^2 \equiv \frac{2D_y x}{u} \quad \text{y} \quad \sigma_z^2 \equiv \frac{2D_z x}{u} \quad (\text{II.44})$$

La sustitución de estas dos definiciones en la ecuación (II.42) lleva a la siguiente relación para la concentración a favor del viento desde una fuente puntual a nivel del suelo ecuación II.45:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (\text{II.45})$$

Cuando se reordena la ecuación (II.45) de manera que el lado izquierdo sea igual a $Cu/2Q$, el lado derecho tendrá formato del tipo gaussiano doble. Las unidades para la concentración gaseosa C se determinan por las unidades utilizadas para expresar las magnitudes Q , u , σ_y y σ_z . En la literatura técnica (Wark y Warner, 2000), σ_1 y σ_2 están dadas por lo general en metros, y u en metros por segundo. Si se desea el valor de C en microgramos por metro cúbico, la tasa de emisión Q se deberá entonces expresar en microgramos por segundo. Si y y z se toman con un valor cero, la ecuación (II.45) se reduce a la ecuación II.46:

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (\text{II.46})$$

Esta ecuación se aplica a la concentración a lo largo de la línea central y a nivel del suelo, desde una fuente puntual también a nivel del suelo.

Estimación de la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a la altura h por encima del suelo, sin reflexión

Para la emisión de una chimenea con una altura efectiva H , es necesario alterar el término exponencial que contiene a z^2 , en la ecuación (II.42), recordando que toda la curva se desplaza una distancia μ_z desde el eje cero de z , al escribir el término exponencial en la forma $\exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(z - \mu_z)}{\sigma_z} \right]^2 \right\}$, para una fuente elevada esto equivale a sustituir z en la ecuación (II.42) por $(z - H)$. Esta sustitución no se puede efectuar directamente en la ecuación (II.42) puesto que se altera también el método de evaluación de K en la ecuación (II.41). Resulta entonces que K tiene la mitad del valor que se encontró por la ecuación (II.4).1 De modo similar, el coeficiente situado delante de los términos exponenciales tiene ahora la mitad del valor para la fuente en el terreno. Por tanto, se tiene que para una fuente en un punto elevado de un contaminante gaseoso, *sin reflexión* (Wark y Warner, 2000), el valor de C será según la ecuación II.:

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right] \right\} \quad (\text{II.47})$$

Estimación de la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a la altura h por encima del suelo, con reflexión

La restricción “sin reflexión” es extremadamente importante. La ecuación anterior constituye una expresión adecuada para la concentración en la dirección del viento, hasta llegar a un punto en la dirección x donde sea significativa la concentración a nivel del suelo ($z=0$). Tendrá lugar entonces una apreciable “reflexión” del contaminante gaseoso, al difundirse regresivamente a la atmósfera desde el nivel del terreno. En un modelo de este tipo se supone que la superficie terrestre no es un sumidero para un contaminante.

Con referencia a la figura II.16, se observa que la reflexión a cierta distancia x es matemáticamente equivalente a tener en $-H$ una imagen de espejo de la fuente. El área sombreada más allá de la posición I en el diagrama indica la región de la atmósfera en donde la concentración aumentará sobre la suministrada normalmente por la fuente en H . Esta concentración aumentada se determina matemáticamente por superposición lineal de dos curvas de concentración del tipo gaussiano, una centrada en H y la otra en $-H$. Esto equivale a sumar dos ecuaciones como la ecuación II.46. Sin embargo, una de las ecuaciones contiene un término $(z + H)$, en vez del término $(z - H)$. Esto da por resultado que la ecuación de concentración para una fuente elevada *con reflexión*, tome la forma de la ecuación II.48:

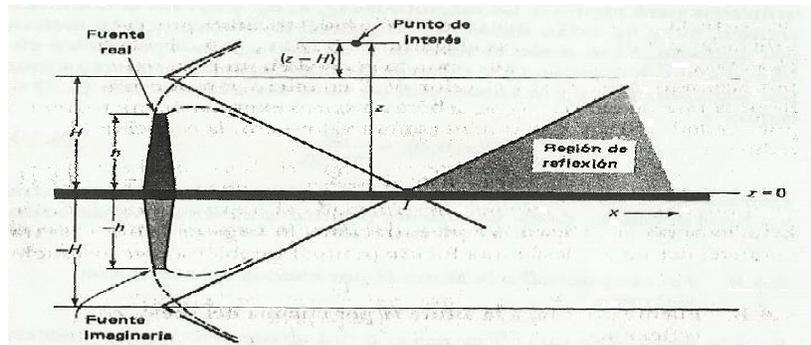


Figura II.16. Fuente imaginaria para describir matemáticamente la reflexión gaseosa en la superficie terrestre

$$\frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp - \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] \left\{ \exp \left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \quad (\text{II.48})$$

$$C(x,y,z) =$$

El efecto de la reflexión del suelo sobre la concentración de contaminantes por encima del nivel del suelo, se muestra en la figura II.17. En la posición *I* las dos curvas de tipo gaussiano no pronostican esencialmente ninguna superposición de la concentración, pero en las posiciones a favor del viento desde *I*, la superposición resultará significativa y aumentará con x . En la posición *J* en la dirección del viento la superposición es apreciable. Al añadir aquella porción de la curva inferior que se extiende por encima del nivel del terreno ($z = 0$) a la curva superior original, se encuentra que la curva de concentración superior se altera por la adición del área sombreada que se muestra en la figura. A cierta

distancia K más alejada de J también en la dirección del viento, la contribución de la parte sombreada debida a la reflexión podrá llevar al perfil mostrado en K , en la figura II.17. Es obvio que el efecto de la reflexión a nivel del suelo resulta en el aumento de la concentración a nivel del suelo, en una cantidad muy por encima del que se anticiparía sin la reflexión. (Wark y Warner, 2000).

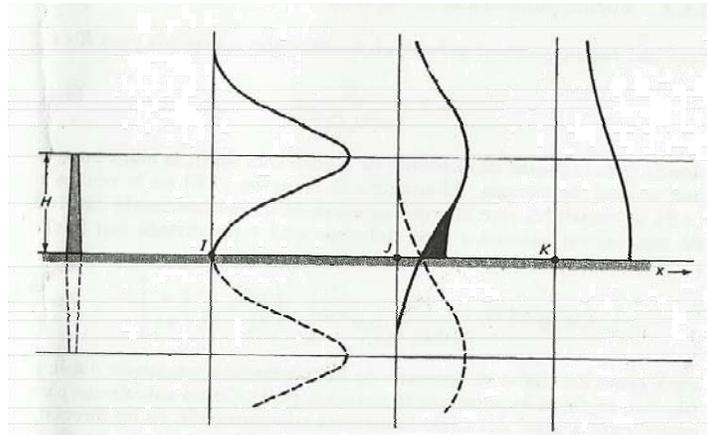


Figura II.17. Efecto de la reflexión del suelo sobre la concentración de contaminantes en la dirección del viento.

Estimación de la concentración de un contaminante a nivel del suelo, con reflexión

Otra ecuación importante cuando se considera la reflexión a nivel del terreno es la que representa la concentración a nivel del suelo. En este caso $z = 0$, y la ecuación (II.48) se reduce a la ecuación II.49:

$$C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (\text{II.49})$$

Si se desea la concentración a nivel del suelo y en la línea central, el último termino exponencial será igual a la unidad, como se observa en la Figura II.18

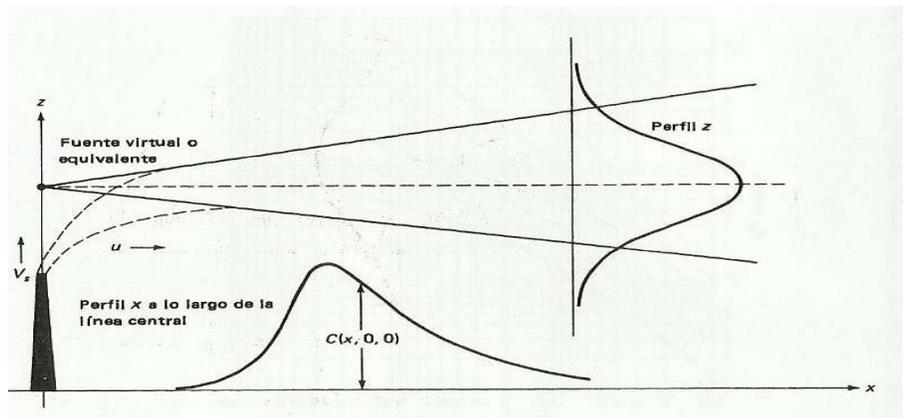


Figura II.18. Perfiles de concentración a lo largo de la línea central, en la dirección x y en la dirección z .

Un perfil típico de concentración en la dirección z y un perfil en la dirección x a lo largo de la línea de centro y a nivel del suelo, se encontrarán superpuestos en un esquema del proceso de difusión de una chimenea elevada en la figura II.18. Nótese que la distribución gaussiana en la dirección z está centrada en la altura efectiva H de la chimenea. Además, la concentración a lo largo en la línea central y en la dirección del viento, se hace mínima para un cierto valor de x para luego aumentar con el aumento en los valores de x . Será también válido un perfil similar al de la dirección z , pero en la dirección y . No obstante, la pendiente de las distribuciones Gaussianas en las direcciones y y z podrán ser muy diferentes, puesto que se ha encontrado que los valores de σ_y y σ_z para determinado valor de x son significativamente diferentes. (Wark y Warner, 2000).

Evaluación de las desviaciones normales

Anteriormente se han desarrollado varias ecuaciones con el fin de estimar la concentración a favor del viento que resulta de una pluma continua. (Las ecuaciones anteriores no son válidas para descargas instantáneas o intermitentes de contaminantes procedentes de una fuente puntual). Además de los datos físicos, como son las coordenadas x , y y z , la fuerza de emisión Q y la altura efectiva H de la línea central de la pluma, es necesario tener los valores de u , σ_y y σ_z . (Wark y Warner, 2000).

Los valores de σ_y y σ_z están relacionados con los coeficientes de difusión o difusibilidades de masa de un gas a través de otros medios en las direcciones y y z (Wark y Warner, 2000). Como se podría anticipar de la descripción física del problema de la difusión, las desviaciones horizontales y verticales, σ_y y σ_z son una función de la posición x en la dirección del viento así como de las condiciones de estabilidad atmosférica. Muchas mediciones experimentales en la atmósfera han llevado a una evaluación y correlación de los valores de σ_y y σ_z . Existen varios grupos de gráficas para estos dos parámetros y los rangos de las condiciones de estabilidad cubiertos en los diferentes grupos usualmente no coinciden. Un grupo de gráficas de gran aceptación se presenta en las figuras II.19 Y I.20, según han sido preparadas (Turner, 1969). Dichas correlaciones se basan en las restricciones siguientes:

1. Las concentraciones estimadas con el uso de estas graficas corresponderán a un tiempo de muestreo de aproximadamente 10 min.
2. Las desviaciones horizontales y verticales se basan en una representación del terreno como si fuera un campo abierto.
3. Las concentraciones estimadas representan aproximadamente sólo los cientos de metros más bajos de la atmósfera.

Según lo advierte Turner (1969), e indicado por las líneas punteadas sobre la mayor parte del rango de la gráfica σ_z , los valores de σ_z son más dudosos que los valores σ_y . Esto resulta especialmente cierto para distancias de más de 1 km en la dirección del viento. En varios de los casos, como para las condiciones atmosféricas de neutrales a moderadamente inestables, y para distancias de hasta unos cuantos kilómetros, la concentración en la línea central a nivel del suelo, basadas en dichas gráficas, deberán encontrarse dentro de un factor de 2 a 3 de los valores actuales. (Wark y Warner, 2000)

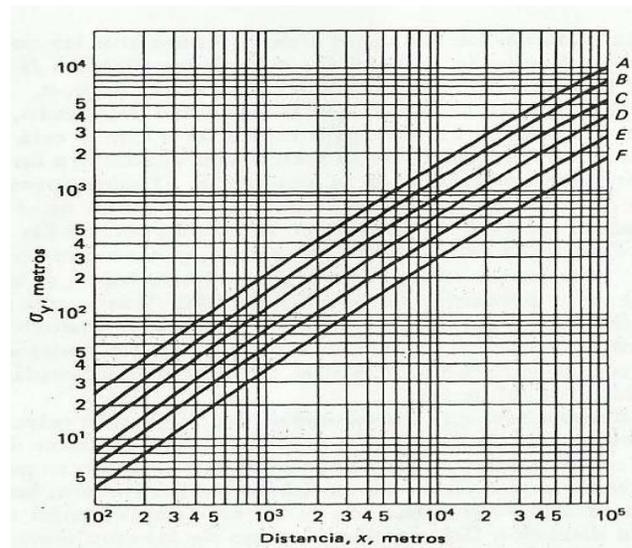


Figura II.19. Desviación normal, σ_y , en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento.

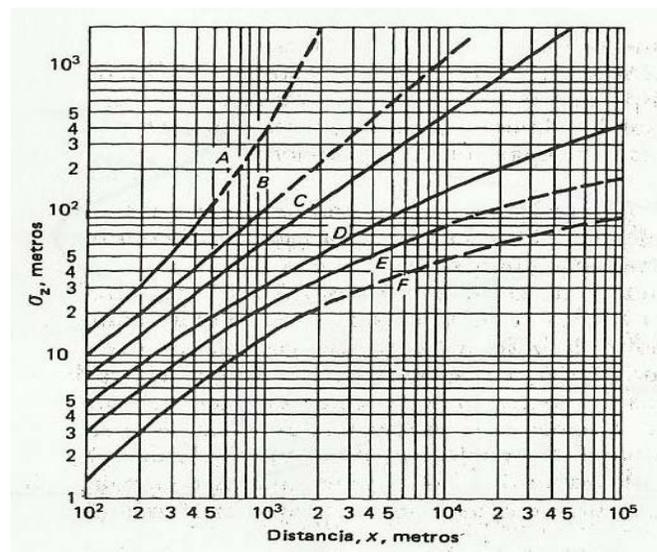


Figura II.20. Desviación normal, σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento.

Turner (1969) preparó también una lista de las condiciones atmosféricas que son útiles para determinar cuáles de las seis clases de estabilidad (de A hasta F) que aparecen en las gráficas de σ . La Tabla II.3 muestra esta clave para las diversas categorías de estabilidad, y los siguientes comentarios podrán ser de utilidad para aclarar el uso de dicha tabla.

Los siguientes artículos se refieren a las clases numeradas en la Tabla II.3.

I. Cielos despejados, una altura solar mayor de 60 grados sobre el horizonte, típicos de una tarde soleada de verano. Una atmósfera muy convectiva.

1. La clase *A* es la más inestable y la clase *F* la más estable, con la clase *B* moderadamente inestable y la clase *E* ligeramente estable.

2. Un día de verano con algunas nubes dispersas.

3. Típico de una soleada tarde de otoño, un día de verano con bajas nubes dispersas, un día de verano con cielos despejados y una altura del sol de solamente 15 a 35 grados sobre el horizonte.

4. Se puede usar también para un día de invierno.

II. Un día de verano con algunas nubes dispersas.

III. Típico de una soleada tarde de otoño, un día de verano con bajas nubes dispersas, un día de verano con cielos despejados y una altura del sol de solamente 15 a 35 grados sobre el horizonte.

IV. Se puede usar también para un día de invierno.

Tabla II.3. Clave de las categorías de estabilidad

Velocidad del viento superficial a 10 m (m/s)	Día			Noche	
	Radiación solar entrante			Cubierta de nubes	
	Fuerte	Moderada	Ligera	En su mayoría nublado	En su mayoría despejado
Clase ^a	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

^a La clase neutral, *D*, se **debe suponer** para condiciones de nublados durante el día o la noche.

Cuando se estime la dispersión gaseosa de una fuente dada, se elegirá usualmente la clase de estabilidad típica de la región que conduzca al peor episodio de contaminación posible. En las graficas anteriores es difícil leer en dichas gráficas los valores de σ_y y σ_z , sin experimentar alguna pérdida de exactitud, por lo que se determinaron las ecuaciones de las curvas para un manejo más fácil, sobre la base de la fuente original. Como se observa en la tabla II.5 con las ecuaciones desde II.50 hasta II.61. (Sánchez, 2003).

Tabla II.5. Ecuaciones para la Determinación de los Coeficientes de Dispersión Vertical y Horizontal

Estabilidad	Difusión horizontal σ_y	Ecuación n°	Difusión vertical σ_z	Ecuación n°
A	$33,6+0,17X-10^{-6}X^2+6*10^{-12}X^3$	II.50	$8,75+0,06X-2*10^{-4}X^2+2*10^{-7}X^3$	II.56
B	$2,56+0,16X-6*10^{-6}X^2+2*10^{-10}X^3-2*10^{-15}X^4$	II.51	$6,77+0,07X-4*10^{-5}X^2+6*10^{-9}X^3$	II.57
C	$21,8+0,086X-3*10^{-7}X^2$	II.52	$10,5+0,06X-2*10^{-6}X^2+3*10^{-11}X^3-2*10^{-16}X^4$	II.58
D	$6,9+0,067X-2*10^{-6}X^2+5*10^{-11}X^3$	II.53	$13,2+0,018X-5*10^{-7}X^2+3*10^{-12}X^3$	II.59
E	$6,3+0,05X-1*10^{-6}X^2+5*10^{-11}X^3-3*10^{-16}X^4$	II.54	$1,23+0,03X-6*10^{-6}X^2+6*10^{-10}X^3-2*10^{-14}X^4$	II.60
F	$0,83+0,04X-2*10^{-6}X^2+2*10^{-10}X^3-4*10^{-15}X^4+5*10^{-20}X^5$	II.55	$3,48+0,01X-4*10^{-7}X^2+7*10^{-12}X^3-5*10^{-17}X^4$	II.61

(Sánchez, 2003)

Estimación de la concentración máxima en línea, a nivel del suelo

El efecto de la reflexión del suelo, como ya se indicó, es de aumentar las concentraciones a nivel del suelo de los contaminantes gaseosos, según aumenta x , hasta un punto muy por encima del nivel que podría esperarse sin reflexión. No obstante, tal aumento en el valor de C en la dirección x no puede continuar indefinidamente. Finalmente, la difusión hacia afuera (viento cruzado) en la dirección y y hacia arriba en la dirección z , disminuirán la concentración a nivel del suelo ($z = 0$) y a lo largo de la línea central ($y = 0$).

Turner (1969) ha desarrollado en un formato gráfico, un método para determinar la distancia en la dirección del viento correspondiente a la concentración, y la concentración

máxima en dicho punto. La figura II.21 se basa sobre estos trabajos, que se desarrolló originalmente sobre la base de la ecuación II.62. En la figura II.21, se traza la distancia hasta la concentración máxima versus el valor máximo del parámetro Cu/Q , y donde aparece dentro del diagrama la información sobre la clase de estabilidad y la altura efectiva.

Estos datos determinan un punto en particular en la figura. Desde este punto se lee hacia abajo y hacia la izquierda para determinar $C_{máx}$ y $X_{máx}$, respectivamente.

En vez de confiar en los valores en la figura II.21 a fin de obtener la concentración máxima en la dirección del viento, se pueden ajustar los datos a una ecuación general y encontrar algebraicamente la solución. Una ecuación general desarrollada por Ranchoux (1976) tiene la forma:

$$\left(\frac{Cu}{Q}\right)_{máx} = \exp [a + b(\ln H) + c(\ln H)^2 + d(\ln H)^3] \quad (II.62)$$

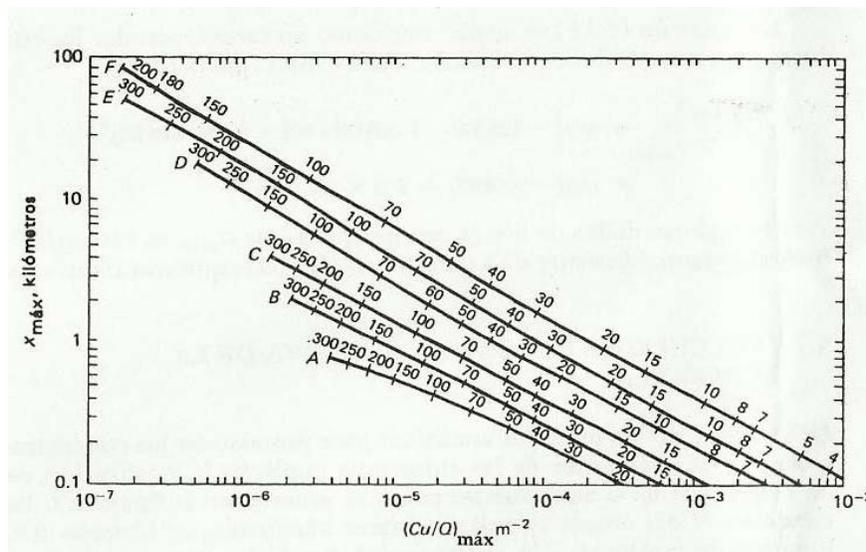


Figura II.21. Distancia de la máxima concentración en la dirección del viento y valor máximo Cu/Q en la dirección del viento como una función de la clase de estabilidad y de la altura efectiva, en metros.(Tuner, 1961)

Donde H está en metros y Cu/Q está en m^{-2} . Los valores de los coeficientes a , b , c , y d para cada clase de estabilidad aparecen en la Tabla II.6. El error entre la ecuación y las curvas reales es menor del 2 por ciento para las curvas A , B y C , y es menor del 4.5 por ciento para las curvas D , E y F .

Tabla II.6. Valores de las constantes de la ecuación de Ranchoux. (Ranchoux, 1976)

Clase de estabilidad	Coeficientes			
	A	B	C	D
A	-1.0563	-2.7153	0.1261	0
B	-1.8060	-2.1912	0.0389	0
C	-1.9748	-1.9980	0	0
D	-2.5302	-1.5610	-0.0934	0
E	-1.4496	-2.5910	0.2181	-0.0343
F	-1.0488	-3.2252	0.4977	-0.0765

Un método optativo para determinar la posición y el valor de la concentración máxima se basa en una característica de las gráficas de σ_y y σ_z . Bajo condiciones de moderadamente inestables a casi neutrales, la relación σ_y/σ_z , es casi independiente de la distancia x , si se toma esta relación como constante y se hace y igual a cero, se puede entonces escribir la ecuación (II.49) de manera que C sea solamente una función de σ_z (que es a su vez, solamente una función de x para una clase dada de estabilidad). Por tanto, según la técnica de la maximización del cálculo diferencial se puede obtener información analítica concerniente a la máxima concentración a lo largo de la línea de centro. La posición de concentración máxima sólo se puede encontrar implícitamente por este método, y no explícitamente. El resultado de la diferenciación de la ecuación (II.49) en esta forma modificada produce la siguiente ecuación II.63:

$$\sigma_z = \frac{H}{(2)^{1/2}} = 0.707H \quad (\text{II.63})$$

Se determina primero el valor de σ_z basándose en la mejor estimación de la altura corregida de la chimenea, H . Luego, de una gráfica de σ_z versus x , para diversas condiciones de estabilidad, se puede leer el valor de x , con lo que se obtiene la posición de C máxima. El valor de x determinado por este método es sólo aproximado, debido a la naturaleza de la gráfica σ_z - x .

Si la condición $H^2 = 2\sigma_z^2$ se sustituye en la ecuación (II.49), y se hace y igual a cero, la concentración máxima en la dirección del viento sobre la línea central y a nivel del suelo, estará dada entonces por ecuación II.64. (Wark y Warner, 2000):

$$C_{\text{máx reflex}} = \frac{0.1171Q}{u\sigma_y\sigma_z} \quad (\text{II.64})$$

Por otra parte, esta expresión produce mejores resultados cuando se aplica a condiciones atmosféricas inestables, por las razones indicadas anteriormente.

II.2.7. Sistema de información geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la

planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia. (Pérez et al, 2015)

La captura consiste en la aplicación de métodos o técnicas que permiten al recolección de datos. Existe una amplia variedad de métodos utilizados para capturar datos para un SIG, siendo los más comunes:

- Mapas rasterizados o escaneados
- Teledetección (Imágenes, Lidar, Fotogrametría, etc.)
- Levantamientos topográficos y Mediciones GNSS

El almacenamiento consiste en la integración de los datos, de manera tal que permitan su resguardo, consulta y mantenimiento.

Los SIG están constituidos por dos Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD); uno gráfico y otro alfanumérico, razón por la cual ofrece mayores ventajas respecto a los AUTOCADS.

El procesamiento consiste en la combinación de los datos y la aplicación de herramientas matemáticas (algoritmos), con la finalidad de generar salidas o productos que puedan prestarse para realizar análisis sobre ellos.

Análisis espacial es un proceso para ver patrones geográficos en los datos y relaciones entre las características. Las funciones del análisis espacial van desde una simple consulta a la base de datos a operaciones aritméticas y lógicas, hasta el análisis de un modelo complicado.

La visualización es la última fase del SIG y viene representada en forma de mapas, tablas o gráficos. Dichos mapas o gráficos permiten al usuario percibir visualmente los resultados de todas las fases de un SIG.

Según Gómez Pinereido (1992), El empleo cada vez más generalizado de los ordenadores, junto con la continua innovación en el campo de la informática fueron la base de partida inicial para examinar sus posibilidades de aplicación en el campo de la Cartografía y áreas conexas. Los Sistemas de Información geográfica datan de hace unos 25 años, concretamente del año 1962, fecha en la que fue diseñado en Canadá el primer sistema de estas características con objeto de inventariar los recursos naturales existentes a escala nacional (Tomlinson, 1984). Sin embargo, ha sido en los diez últimos años y tras la caída en desuso de términos o conceptos tales como base de datos georeferenciados o base de datos espaciales, cuando se generalizó de forma definitiva la utilización del término Sistema de Información Geográfica (Geographic Information Systems, más comúnmente GIS) como base de datos computerizada que contiene información espacial. Los Sistemas de Información Geográfica se desarrollan, por tanto, como una tecnología que permite la manipulación y el análisis de los datos geográficos (Gantz, 1990; Lang & Speed, 1990).

Siendo de interés no sólo para los organismos administrativos y para científicos e investigadores sino también para empresas comerciales de software y/o hardware (Cebrián y Mark, 1986). El componente operativo funcional y la base de datos son, esquemáticamente y tal como señala Guevara (1983), las dos unidades fundamentales que pueden distinguirse en un sistema de información geográfica. Aunque existen autores que contemplan las estructuras de datos como tercer componente del sistema y como elemento puente entre los otros dos ya mencionados, la mayoría de los autores tal como indican Cebrián y Mark (1986) consideran normalmente a las estructuras de datos como estados de la memoria interna del ordenador y tienen carácter temporal.

El componente funcional es el conjunto de procedimientos u operadores que actúan sobre la información contenida en la base de datos permitiendo la selección, procesamiento y actualización de la información contenida en la misma.

La información espacial de partida y esencial en dichos sistemas es, por tanto, el dato, definido como cualquier “cosa” que ocupe una posición definida en el espacio de que se trate, que puede ser físicamente real (puente, río, bosque, calle, etc) o asociable al mismo (vuelo, observatorio, hoja de un plano, etc) (Múgica, 1986). En resumen, toda información factible de ser resumida o reflejada mediante un código, una cifra, un esquema, un plano o una foto, es decir, información que no requiere un texto o un comentario para ser inteligible o utilizable (Labin, 1974), genéricamente información “geográfica”.

Un Sistema de Información geográfica debe abordar tres problemas fundamentales en el campo de la documentación: Entrada de información, Archivo/Recuperación de Información y Salida de Información (Cebrián y Mark, 1986; Briggs, 1990). Estas tres son las cuestiones que deben ser tenidas en cuenta por cualquier usuario de dichos sistemas.

El esquema básico y resumido que representaría cualquier sistema de información geográfica sería el que observa en la figura II.22., al margen del procedimiento de procesamiento característico del sistema específico de que se pueda tratar.

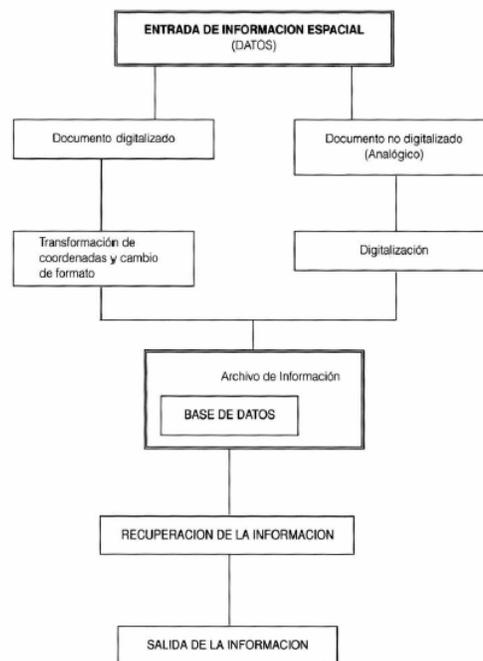


Figura II.22. Esquema básico del SIG. (Briggs, 1999)

La entrada de información espacial va a ser uno de los puntos básicos sobre los que se sustenta la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en los estudios ambientales, puesto que de los datos “espaciales” introducidos en el sistema (hidrológicos, geológicos, vegetación diversa, etc) y a través de los operadores y procedimientos característicos del mismo va a depender la eficacia y validez de la información de salida y su posterior utilización en relación con la planificación ambiental.

Aplicaciones de los SIG:

Cartografía Automatizada: Las entidades públicas han implementado este componente de los SIG en la construcción y mantenimiento de planos digitales de cartografía. Dichos planos son puestos a disposición de las empresas a las que puedan resultar de utilidad estos productos con la condición de que estas entidades se encargan posteriormente de proveer versiones actualizadas de manera periódica, tal como se observa en las Figura II.23.

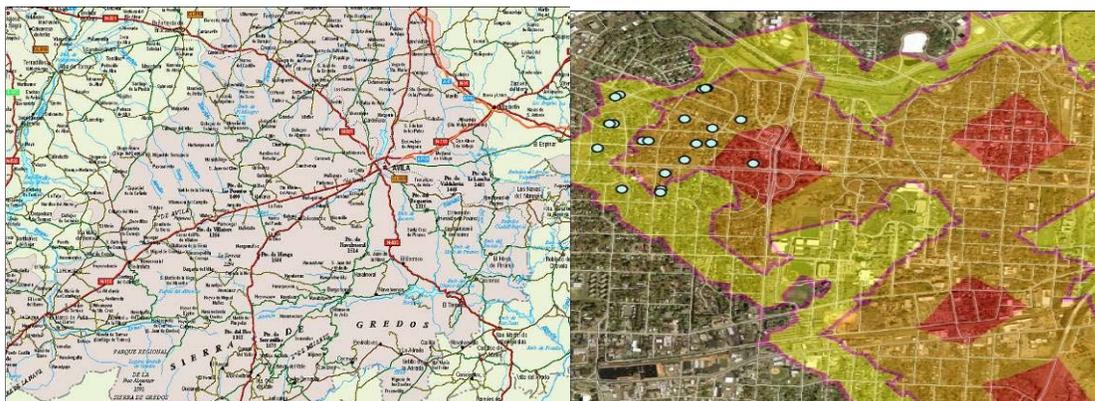


Figura II.23. Ejemplo de uso de SIG para Cartografía automatizada. (Pérez et al, 2015)

Infraestructuras: Algunos de los primeros sistemas SIG fueron utilizados por las empresas encargadas del desarrollo, mantenimiento y administración de redes de electricidad, gas, agua, teléfono, alcantarillado, etc.; en este caso, los sistemas SIG almacenan información alfanumérica de servicios relacionados con las distintas representaciones gráficas de los mismos (ver Figura II.24).

Gestión Territorial: Son aplicaciones SIG dirigidas a la gestión de entidades territoriales y permiten un rápido acceso a la información gráfica y alfanumérica, y suministran herramientas para el análisis espacial de la información. Facilitan labores de mantenimiento de infraestructura, mobiliario urbano, etc., y permiten realizar una optimización en los trabajos de mantenimiento de empresas de servicios. Tienen la facilidad de generar documentos con información gráfica y alfanumérica (Figura II.25).



Figura II.24. Ejemplo de uso de SIG para Infraestructuras. (Pérez et al, 2015)



Figura II.25. Ejemplo de uso de SIG para Gestión territorial. (Pérez et al, 2015)

Ambiente: Como se puede observar en la Figura II.26 hay aplicaciones implementadas por instituciones de medio ambiente, que facilitan la evaluación del impacto ambiental en la ejecución de proyectos. Integrados con sistemas de adquisición de datos permiten el

análisis en tiempo real de la concentración de contaminantes, a fin de tomar las precauciones y medidas del caso. Facilitan una ayuda fundamental en trabajos tales como reforestación, explotaciones agrícolas, estudios de representatividad, caracterización de ecosistemas, estudios de fragmentación, estudios de especies, etc.



Figura II.26. Ejemplo del SIG para Ambiente. (Pérez et al, 2015)

Gestión Social: Implementación de aplicaciones SIG dirigidas a la gestión de servicios de impacto social, tales como servicios sanitarios, centros escolares, hospitales, centros deportivos, culturales, lugares de concentración en casos de emergencias, centros de recreo, entre otros y suministran información sobre las sedes ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación en cuanto a la localización de nuevos centros. Un buen diseño y una buena implementación de estos SIG aumentan la productividad al optimizar recursos, ya que permiten asignar de forma adecuada y precisa los centros de atención a usuarios cubriendo de forma eficiente la totalidad de la zona de influencia (Figura II.27)



Figura II.27. Ejemplo del SIG para Gestión social. (Pérez et al, 2015)

Recursos Mineros: El diseño de estos SIG facilita el manejo de un gran volumen de información generada en varios años de explotación intensiva de un banco minero, suministrando funciones para la realización de análisis de elementos puntuales (sondeos o puntos topográficos), lineales (perfiles, tendido de electricidad), superficies (áreas de explotación) y volúmenes (capas geológicas). Facilitan herramientas de modelación de las capas o formaciones geológicas (Figura II.28)

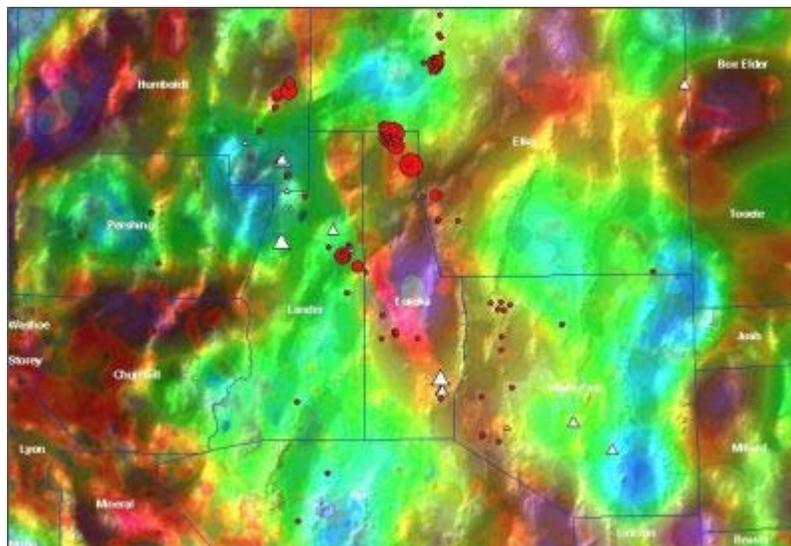


Figura II.28. Ejemplo del uso del SIG para Recursos mineros. (López et al, 2015)

GeoMarketing: La base de datos de los clientes potenciales de determinado producto o servicio relacionada con la información geográfica resulta indispensable para planificar una adecuada campaña de marketing o el envío de correo promocional, se podrían diseñar rutas óptimas a seguir por comerciales, anuncios espectaculares, publicidad móvil, etc. (Figura II.29)

Petróleo: Como se observa en la Figura II. 30, el sistema SIG es utilizado en diferentes áreas del negocio del petróleo ayudando a las áreas de planificación estratégica, estadísticas, análisis espacial, entre otros.

Derrames: Los derrames de petróleo generan problemas ambientales como la contaminación de aguas y suelos, daños a la vegetación y a la fauna asociada. Otros problemas son pérdidas económicas debido a daños a la actividad agropecuaria e industrial, así como el riesgo de afectar la salud humana.

Para evitar o minimizar los daños ambientales y contener cualquier posible derrame de petróleo de manera efectiva y eficiente, se requiere de una herramienta que permita predecir el área afectada por un derrame y evaluar el efecto de este sobre el ambiente (Figura. II.31).

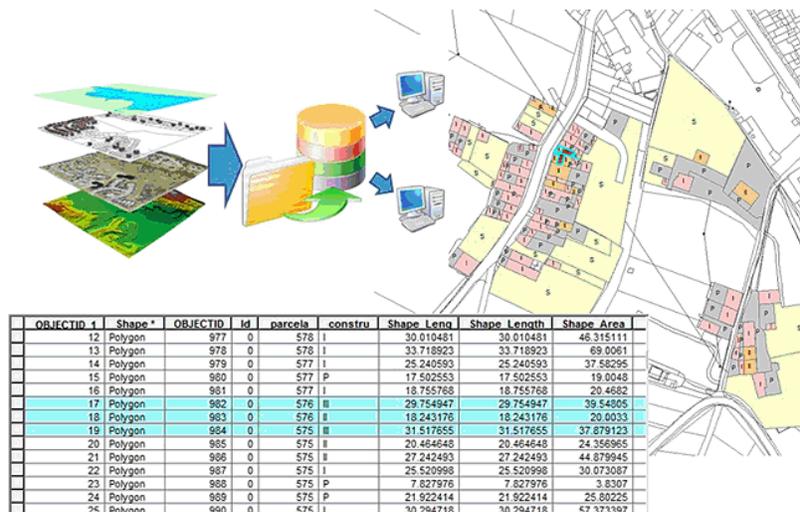


Figura II.29. Ejemplo el uso del SIG para GeoMarketing. (Pérez et al, 2015)

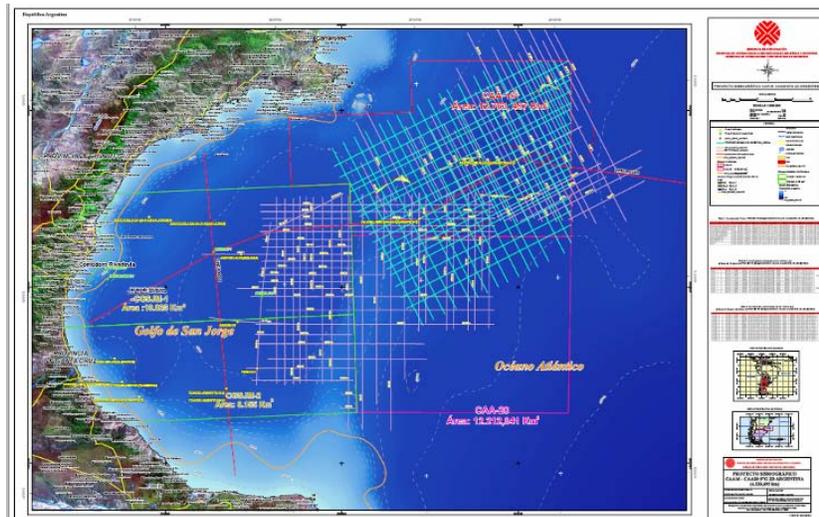


Figura II.30. Ejemplo del SIG para Petróleo. (Pérez et al, 2015)

II.2.8.- QGIS (anteriormente llamado también Quantum GIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Era uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo y en 2008 oficialmente la fase de incubación. Permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Algunas de sus características son:

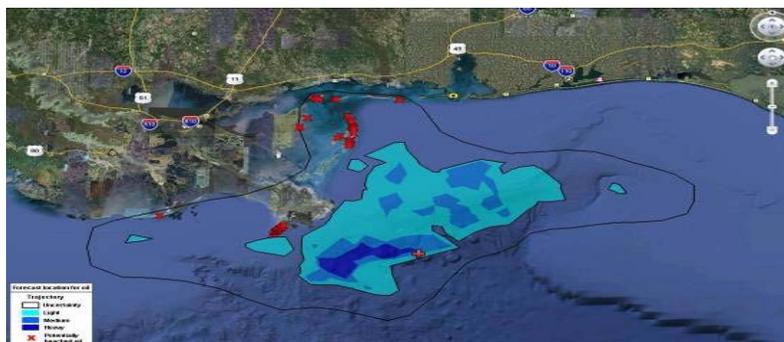


Figura II.31. Ejemplos de SIG para Derrames. (Pérez et al, 2015)

- Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.
- Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, Mapinfo, GRASS GIS, etc.

- Soporte para un importante número de tipos de archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.)

Una de sus mayores ventajas es la posibilidad de usar Quantum GIS como guía del SIG GRASS, utilizando toda la potencia de análisis de este último en un entorno de trabajo más amigable. QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su Interfaz gráfica de usuario. Quantum GIS permite la integración de plugins desarrollados tanto en C++ como Python.

Una de las grandes fortalezas de QGIS es que trabaja en cualquiera de los sistemas operativos: GNU/Linux, BSD, Unix, Mac OSX, Windows y Android, funcionando de manera similar en todos ellos.

QGIS es un software libre y opera bajo la licencia GNU GPL. El software Quantum GIS puede ser modificado libremente de tal manera que pueda realizar diferentes y más especializadas funcionalidades. Ya existen dos nuevos productos denominados: QGIS Browser y QGIS Server. Estos productos poseen diferentes interfaces del usuario (front-end). Una de las grandes versatilidades de QGIS es su facilidad de interconexión con muchas bases de datos geoespaciales como PostGIS, SpatiaLite, ORACLE Spatial y otras. QGIS tiene una conexión directa con bases de datos SpatiaLite y existen varios complementos que facilitan el manejo de esta base de datos. (Pérez et al, 2015)

II.2.9.- Normas regulatorios. Aspectos legales

Se revisó el articulado de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela y las Leyes Aprobatorias, Leyes Orgánicas, Leyes Ordinarias, Decretos, Normas y Resoluciones relacionadas con el mismo. Como se detalla a continuación:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

Artículo N° 127: Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos y los procesos ecológicos, Es una obligación

fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el agua, el aire, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

Artículo N° 128: El Estado desarrollará una política de ordenamiento del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas y políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana.

Artículo N° 129: Todas las actividades capaces de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañados de estudios de impacto ambiental y sociocultural. En contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras y en los permisos que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviese expreso, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultare alterado, en los términos que fije la ley.

Artículo N° 305: La seguridad alimentaría se alcanzará desarrollando y privilegiando la producción agropecuaria interna, entendiéndose como tal las provenientes de las actividades agrícola, pecuaria, pesquera y acuícola. La producción de alimentos es de interés nacional y fundamental para el desarrollo económico y social de la nación. El Estado protegerá los asentamientos y comunidades de pescadores o pescadores artesanales, así como sus caladeros de pesca en aguas continentales y próximos a la línea de costa definidos en la ley.

Leyes aprobatorias.

En materia Internacional existen diversas herramientas legales ratificadas por la República Bolivariana de Venezuela que van en procura para la gestión adecuada de los espacios Costeros como los del Palito Estado Carabobo. El Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe busca proteger y ordenar el medio marino

y las zonas costeras de la Región del Gran Caribe el cual fue firmado en Cartagena de Indias el 24-03-83, y ratificado por Venezuela el 25-07-86 en Gaceta Oficial N° 33.498.

El Protocolo relativo a las áreas de flora y fauna silvestres especialmente protegidas (SPAW) para proteger y preservar en la zona de aplicación del Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe, los ecosistemas raros o vulnerables, así como el hábitat de las especies amenazadas o en peligro de extinción, el cual fue firmado en Kingston, Jamaica el 31-01-1990 y ratificado por Venezuela el 18-12-96 según Gaceta Oficial N° 36.110.

Uno de los tratados internacionales más importantes relacionados con la conservación de los manglares y humedales es la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención RAMSAR, 1971), firmado en la ciudad iraní de Ramsar el 02-02-1971 y modificado en París el 03-12-1982, ratificado por la República Bolivariana de Venezuela el 16-09-1988 en la Gaceta Oficial N° 34.053. La Convención emplea una definición amplia de los tipos de humedales abarcados por esta misión, incluidos pantanos, marismas, lagos, ríos, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas, bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares, arrecifes de coral, sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas. La filosofía de Ramsar gira en torno al concepto de “uso racional”. El uso racional de los humedales se define como "el mantenimiento de sus características ecológicas, obtenido mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible".

Posteriormente, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) busca conservar y preservar el máximo posible de diversidad biológica en beneficio de las generaciones presentes y futuras. Firmado en Río de Janeiro el 12-06-1992 y ratificada por Venezuela el 12-09-1994, según Gaceta Oficial (Extra ordinaria) N° 4.780.

En ese mismo evento, denominado La Cumbre de Río, se firmó el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, con lo que se pretende lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida la interferencia antropogénica peligrosa, con el clima ratificado por el país el 27-12-1994 en

Gaceta Oficial. (Extra ordinaria) N° 4.825; y finalmente el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual busca comprometer a los Estados a implementar medidas tendentes a limitar y reducir las emisiones de Dióxido de Carbono y de gases de efecto invernadero a un nivel inferior al 5% del total de emisiones, de estos gases para 1990, para el período comprendido entre el 2008-2012, y fue ratificado por el Gobierno Bolivariano de Venezuela en Gaceta Oficial N° 38.081 el 07-12-2004.

En este sentido se puede señalar que existen al menos 6 tratados internacionales ratificados por la República Bolivariana de Venezuela para la preservación de los manglares y de los humedales costeros, así como sus recursos vivos.

Leyes ordinarias.

Ley Orgánica de Administración Central

Artículo 36: Corresponde al Ministerio del Poder popular para el Ambiente la planificación y realización de las actividades del Ejecutivo Nacional para el fomento de la calidad de vida; del ambiente y de los recursos naturales renovables, así como la elaboración de los programas de conservación defensa, mejoramiento, regulación, aprovechamiento, uso racional de las aguas, los bosques, de la tierra y de los suelos, el catastro, la conservación defensa, mejoramiento y regulación de la fauna y de la flora silvestre; los parques nacionales y en particular las siguientes actividades:

8°. La prohibición y regulación de las actividades degradantes del ambiente, tales como las que directa o indirectamente, contaminen o deterioren el aire, el agua o el suelo, o incidan sobre la fauna o la flora, las que produzcan ruidos molestos o nocivos, las que modifican el clima, las que deterioren el paisaje y cualesquiera otra capaz de alterar los ecosistemas naturales.

Ley Orgánica del Ambiente

Artículo N° 21: Las actividades susceptibles de degradar el ambiente en forma no irreparable y que se consideren necesarias por cuanto reporten beneficios económicos o

sociales evidentes, sólo podrán ser autorizados si se establecen garantías, procedimientos y normas para su corrección. En el acto de autorización se establecerán las condiciones, limitaciones y restricciones que sean pertinentes.

Artículo N° 22: La autorización prevista en el artículo anterior, se deberá otorgar en atención a los objetivos, criterios y normas establecidas por el Plan Nacional de Conservación, Defensa y Mejoramiento Ambiental.

Artículo N° 23: Quienes realicen actividades sometidas al control de la presente ley deberán contar con los equipos y el personal técnico apropiado para el control de la contaminación. La clasificación, cantidad de personal dependerá de la magnitud del establecimiento y el riesgo que ocasione. Corresponderá al reglamento determinar los sistemas y procedimientos de control de la contaminación

Promulgada el **22** de Diciembre de **2006** y publicada en la Gaceta Oficial N° **5.833**, con el objeto en su (**Artículo N° 1**) de establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y la sociedad, para contribuir a la seguridad y al máximo logro del bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, e interés de la humanidad.

Esta ley, en su **Artículo N° 80**, establece que las actividades capaces de degradar al ambiente como las siguientes:

- Las que directa o indirectamente contaminen o deterioren la atmósfera, agua, fondos marinos, suelo y subsuelo o incidan desfavorablemente sobre las comunidades biológicas, vegetales y animales.
- Las actividades que generen sedimentación en los cursos y depósitos de agua.
- Las acciones que alteren la dinámica física, química y biológica de los cuerpos de agua.
- Las relacionadas con la introducción y utilización de productos o sustancias no biodegradables.
- Las que produzca ruidos, vibraciones y olores molestos o nocivos.
- Las que modifiquen el clima.
- Las que propenden a la acumulación de residuos y desechos sólidos.

- Cualquier otra que genere cambios negativos en los ecosistemas de especial importancia.
La Ley prevé una serie de condiciones para la ejecución de las distintas actividades que puedan ocasionar degradación del ambiente; siempre y cuando estas actividades estén conformidad con los planes de ordenación del territorio, y los efectos de las actividades sean tolerables, y las mismas no vayan en detrimento del medio ambiente y generen beneficios socioeconómicos y se cumplan las garantías, procedimientos y normas para la corrección de esos daños (**Artículo N° 83**).

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio

Artículo N° 3: A los efectos de la presente Ley Orgánica, la ordenación del territorio comprende:

- 1.-La definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas.
- 4.-El desarrollo regional armónico que permita corregir y superar el desequilibrio entre grandes ciudades y el resto del país.
- 5.-El desarrollo agrícola y el ordenamiento rural integrados, para mejorar las condiciones de habitabilidad del medio rural y para la creación de la infraestructura necesaria para el fomento de la actividad del sector agropecuario.
- 9.-La protección del ambiente, la conservación, racional aprovechamiento de las aguas, los suelos, el subsuelo, los recursos forestales y demás recursos naturales renovables no renovables en función de la ordenación del territorio.
- 11.-El fomento de iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en los problemas relacionados con la ordenación del territorio y la regionalización.

Artículo N° 53: La ejecución de actividades por particulares y entidades privadas que impliquen ocupación del territorio, deberá ser autorizada previamente por las autoridades encargadas del control de la ejecución de los planes, conforme a lo previsto en el Capítulo III del Título IV, a los efectos de su conformidad con dichos planes, dentro de sus respectivas competencias.

En los reglamentos de esta ley se determinarán las actividades que requieren autorización del Ministerio Del Poder Popular para el Ambiente a los efectos de su conformidad con el Plan Nacional de Ordenación del Territorio, y aquellas que sólo requieren autorización regional de los respectivos Gobernadores de las Entidades Federales, a los efectos de su conformidad con los Planes Regionales de Ordenación del Territorio. En los casos en los cuales se otorgue la autorización nacional correspondiente no se exigirá autorización regional.

Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos

Artículo 2: Toda persona interesada podrá, por si o por medio de su representante, dirigir instancias o peticiones a cualquier organismo, entidad o autoridad administrativa. Estos deberán resolver las instancias o peticiones que se les dirijan o bien declarar, en su caso los motivos que tuvieren para no hacerlo.

Artículo N° 46: Se dará recibo de todo documento presentado y de sus anexos, con indicación del número de registro que corresponda, lugar, fecha y hora de presentación.

Artículo 51: Iniciado el procedimiento se procederá a abrir expediente en el cual se recogerá toda la tramitación a que dé lugar el asunto.

Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo.

Artículo N° 1: El objeto de la presente Ley es garantizar a los trabajadores permanentes y ocasionales, condiciones de seguridad, salud y bienestar, en un medio ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio de sus facultades físicas y mentales.

Artículo N° 2: El cumplimiento de los objetivos señalados en el artículo 1 será responsabilidad de los empleadores, contratistas, subsidiarios o agentes.

Artículo N° 6: Párrafo Primero: Ningún trabajador podrá ser expuesto a la acción de agentes físicos, condiciones ergonómicas, riesgos psicosociales, agentes químicos, biológicos o de cualquier otra índole, sin ser advertido por escrito y por cualquier otro medio idóneo de la naturaleza de los mismos, de los daños que pudieren causar a la salud, y aleccionado en los principios de su prevención.

Artículo N° 21: El proyecto, construcción, funcionamiento, mantenimiento y reparación de los medios, procedimientos y puestos de trabajo, deben ser concebidos, diseñados y ejecutados con estricta sujeción a las normas de Higiene y Seguridad Laborales.

Ley Orgánica de Espacios Acuáticos

Artículo N° 3: Son de interés aquellos espacios relativos a la utilización y el aprovechamiento sustentable de los espacios acuáticos marítimos e insulares de la Nación. Los mismos se derivan de los intereses nacionales.

Artículo N° 5: El Estado debe preservar el mejor uso de los Espacios Acuáticos e Insulares de acuerdo a sus potencialidades y a las estrategias institucionales, económicas y sociales del país, para garantizar un desarrollo sustentable. Estas políticas y las referentes a los espacios insulares, estarán dirigidas a garantizar, entre otros aspectos:

9. El desarrollo, regulación, promoción y control de la actividad científica y de investigación.

Artículo N° 64: A los fines de la presente Ley, se entiende por Espacio Insular el compuesto por archipiélagos, islotes, cayos, bancos y similares que existan o emerjan, por cualquier causa en el mar territorial, la plataforma continental o la zona económica exclusiva, o cualesquiera área marina o submarina que hayan sido o pudieren ser establecidas.

Artículo N° 65: El espacio insular estará organizado en un régimen político administrativo propio, el cual podrá ser establecido mediante ley especial para una isla, un grupo de ellas o todo el espacio insular.

Artículo N° 70: La promoción, ejecución y control de la investigación científica en los espacios acuáticos de la República serán regulados en leyes y reglamentos especiales.

Artículo N° 71: Las investigaciones científicas a ser realizadas en los Espacios Acuáticos de la República, deberán contar con la autorización correspondiente de los organismos competentes, los cuales en el ejercicio de sus atribuciones coordinarán la procedencia de la misma de conformidad con la ley.

Artículo N° 73: El Ejecutivo Nacional es el órgano rector de las Políticas Acuáticas del Estado y podrá delegarla en el Presidente del Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos, quien la ejercerá y gerenciará a través de los Capitanes de Puerto en sus respectivas jurisdicciones.

El Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos es el órgano ejecutor de las políticas acuáticas del Estado en materia de regulación y control de la navegación acuática y el régimen portuario, para lo cual deberá planificar, supervisar, controlar y vigilar todas las actividades relacionadas con las operaciones que se realicen en los buques de cualquier nacionalidad en los espacios acuáticos y la de los puertos nacionales.

Leyes Ordinarias

Ley de Aguas

Artículo 88: La utilización de las aguas de dominio público y el aprovechamiento de la flora y la fauna acuática que en ella se encuentre, no podrán ser entrabados ni aun por los propietarios o poseedores de terrenos adyacentes.

Ley de Pesca y Acuicultura

Artículo N° 2: A los fines de desarrollar el objeto de este Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley, se establecen las siguientes finalidades específicas:

Proteger los asentamientos y comunidades de pescadores y pescadoras artesanales, así como el mejoramiento de la calidad de vida de los pescadores y pescadoras a pequeña escala.

Artículo N° 4: Se declaran a la pesca y acuicultura de interés público por la importancia estratégica que tienen para la seguridad alimentaria de la población, por los beneficios socioeconómicos y tecnológicos que de ellas se derivan y por su importancia geopolítica y genética.

Artículo N° 14: A los efectos de este Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley se definen como: Asentamiento y comunidad pesquera: es el espacio en la zona costera, ribereña o cercana a éstas, ocupado por los pescadores artesanales y que, con el tiempo han dado o están dando lugar a la formación de comunidades pesqueras estables...

Artículo N° 27: Cuando se pretenda realizar actividades que puedan generar daños, susceptibilidades que puedan dañar los ecosistemas, el Instituto Nacional Socialista de Pesca INSOPESCA podrá exigir para el otorgamiento de las autorizaciones, la presentación de los correspondientes Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural.

Ley de Zonas Costeras

Artículo N° 2: A los efectos de este Decreto Ley, se entiende por zonas costeras, la unidad geográfica de ancho variable, conformada por una franja terrestre, el espacio acuático adyacente y sus recursos, en la cual se interrelacionan los diversos ecosistemas, procesos y usos presentes en el espacio continental e insular.

Artículo N° 5: La administración, uso y manejo de las zonas costeras se desarrollará a través de un proceso dinámico de gestión integrada, con el propósito de fortalecer la capacidad institucional, la optimización de la planificación y coordinación de competencias concurrentes entre los órganos del Poder Público, con la activa participación de la comunidad organizada, a fin de lograr la mayor eficiencia en el ejercicio de las responsabilidades que cada uno tiene encomendada para la conservación y desarrollo sustentable de dicho espacio.

Artículo N° 6: La Gestión Integrada de las zonas costeras se regirá por los siguientes lineamientos y directrices: 17. Actividades socioeconómicas. Se orientará a que el desarrollo de las actividades socioeconómicas tradicionales atienda a las políticas y normas de conservación y desarrollo sustentable

Artículo N° 9: Son del dominio público de la República todo espacio acuático adyacente a las zonas costeras y la franja terrestre comprendida desde la línea de más alta marea hasta una distancia no menor de ochenta metros (80 m), medidos perpendicularmente desde la proyección vertical de esa línea, hacia tierra, en el caso de las costas marinas.

Artículo N° 18: Los planes estatales y municipales de ordenación del territorio y de ordenación urbanística, deberán ajustarse a lo establecido en este Decreto Ley y al Plan de Ordenamiento y Gestión Integrada de las Zonas Costeras.

Decretos:

Decreto 638. Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.

Artículo N° 9: Las fuentes fijas que se someterán a la aplicación de este Decreto son aquellas que corresponden a las siguientes actividades: (Clasificación Internacional Uniforme de las Naciones Unidas).

Parágrafo Único: Las actividades no incluidas en esta lista que emitan polvo, humo u olores, ocasionando molestias permanentes en la comunidad, serán consideradas como problemas de orden público y dirimido por las autoridades locales competentes, de conformidad con las leyes y ordenanzas correspondientes, sin perjuicio de la intervención del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente en los casos en que la importancia de la afectación del ambiente por la actividad así lo requiera.

Artículo N° 20: A los efectos de este Decreto, el indicador de la contaminación atmosférica por fuentes móviles, vehículos, maquinarias con motor diesel y gasolina.

Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos

Artículo N° 3: Las aguas se clasifican en:

Tipo 3: Aguas marinas o de medios costeros.

Artículo N° 7: Las actividades que se someterán a la aplicación de este Decreto, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las Naciones Unidas.

Artículo N° 12: Las descargas al medio marino costero sólo podrán efectuarse en zonas donde se produzca mezcla rápida de vertido con el cuerpo receptor y cumplirán con los rangos y límites máximos establecidos.....

Artículo N° 24: Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que se propongan iniciar cualquier actividad contemplada en el artículo 7°, deberán inscribirse en el registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, antes del inicio de sus actividades.

Artículo N° 26: Las actividades inscritas en el registro deberán presentar ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente la caracterización de sus efluentes al menos una vez cada tres (3) meses.

Artículo N° 38: El Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables, a solicitud de la parte interesada, podrá otorgar constancias de cumplimiento de la normativa ambiental en materia de efluentes, a aquellas actividades inscritas en el registro que hayan presentado la caracterización correspondiente, con resultados satisfactorios.

Decreto N° 1.257. Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.

Artículo N° 2: La evaluación ambiental se cumplirá como parte del proceso de toma de decisiones en la formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, a los fines de la incorporación de la variable ambiental en todas sus etapas.

Artículo N° 6: El Ministerio del Poder popular para el Ambiente requerirá la presentación de una Estudio de Impacto Ambiental para los programas y proyectos.

Artículo N° 10: Los promotores de los programas y proyectos presentarán ante el Ministerio del poder Popular para el Ambiente los Estudios de Impacto Ambiental, las Evaluaciones Ambientales Específicas o los recaudos exigidos, de acuerdo con lo previsto en el artículo 9 de este Decreto, conjuntamente con la solicitud de aprobación o autorización para la ocupación del territorio.

Artículo N° 11: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables notificará al responsable del proyecto, en un plazo que no excederá los sesenta (60) días consecutivos contados a partir de la presentación de la solicitud establecida en el artículo 10, el resultado del análisis de los Estudios de Impacto Ambiental y otorgará o negará la autorización o aprobación para la ocupación del territorio.

Artículo N° 13: Otorgada la autorización o aprobación para la ocupación del territorio los promotores de los proyectos procederán a la tramitación de la autorización para la afectación de recursos naturales renovables respectiva, antes del inicio de la actividad. A tales efectos los interesados presentarán los recaudos que el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente establezca en la correspondiente autorización o aprobación para la ocupación del territorio

Artículo N° 14: La autorización para la afectación de recursos naturales renovables establecerá las condiciones bajo las cuales se desarrollará la afectación del ambiente

durante todas las etapas del programa o proyecto. A tales efectos, la autorización para la afectación de recursos naturales renovables se ajustará a las medidas y condiciones establecidas en la autorización o aprobación para la ocupación del territorio.

Artículo N° 26: El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente podrá ordenar un proceso de revisión y consulta pública de los Estudios. De abrirse dichos procesos, las observaciones o comentarios se consignarán por escrito, incluyendo fundamentos técnicos, científicos y jurídicos que los sustenten. Las observaciones podrán ser incorporadas total o parcialmente a los Estudios de acuerdo a su análisis técnico. En todo caso, los promotores de los proyectos sujetos a la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental publicarán, en un diario de circulación local, una notificación informando sobre el comienzo de la realización del Estudio.

Artículo N° 28: La supervisión ambiental de los programas y proyectos se adelantará conforme a lo previsto en un Plan de Supervisión Ambiental. El Plan será presentado por el promotor del programa o proyecto ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, conjuntamente con la solicitud de autorización para la afectación de recursos naturales renovables. El Plan de Supervisión Ambiental establecerá las acciones a seguir para verificar el avance de las actividades del programa o proyecto y el cumplimiento de las medidas y condiciones establecidas en las autorizaciones y aprobaciones para la ocupación del territorio y autorizaciones para la afectación de recursos naturales renovables, así como para evaluar medidas implantadas, identificar impactos ambientales no previstos y proponer las medidas correctivas adicionales a que hubiere lugar.

Decreto N° 1.843 Normas para la Protección de Manglares y sus Espacios Vitales Asociados.

El instrumento con más potencia a nivel nacional que regula la posibilidad de acción sobre los manglares y humedal es el Decreto N° 1.843, publicado el 14 de octubre de 1991 en la Gaceta Oficial N° 34.819, el cual establece las Normas para la Protección de Manglares y sus Espacios Vitales Asociados y tiene por objeto la protección del ecosistema manglar en todas sus manifestaciones biológicas y de los espacios vitales asociados, tales como los

arrecifes de coral, praderas de angiospermas marinas, bancos de algas, otros fondos marinos próximo-costeros, lagunas costeras, marismas, pantanos de marea, salinetas y otras franjas tradicionales, de las eventuales intervenciones producto del uso de las áreas próximo-costeras para programas de desarrollo y cualquier otra actividad que propenda a afectar dichos espacios.

El Artículo N° 4° se señala que la intervención del ecosistema manglar y de sus espacios vitales asociados sólo podrá ser aprobada y autorizada cuando en base a los estudios técnicos, las actividades, proyectos u obras, cuyo desarrollo implique su afectación, cumplan con las siguientes condiciones:

Que la alternativa propuesta constituya la única opción de ubicación para las actividades u obras que provocan la afectación, lo cual deberá estar debidamente comprobado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Que corresponda a la alternativa de mínima destrucción del ecosistema.

Que no se interrumpa el libre flujo natural de las aguas marinas y fluviales.

Que esté garantizada la corrección o minimización del daño ambiental a producirse.

En su Artículo N° 6° señala que queda prohibido realizar en el ecosistema manglar y en sus espacios vitales asociados las actividades siguientes:

El empleo de plaguicidas para controlar especies indeseables terrestres o acuáticas, excepto si se necesitara para controlar alguna epidemia, previa consulta con los Ministerios de Sanidad y Asistencia Social y de Agricultura y Cría.

El dragado y relleno de los arrecifes de coral, praderas de angiospermas marinas y bancos de algas.

La construcción de palafitos y la colocación de casas flotantes.

La reforestación y repoblación de los ecosistemas intervenidos con especies exóticas de vegetales y animales.

El vertido de desechos de obras de construcción u otros residuos sólidos y efluentes líquidos.

Cualquier otra actividad no contemplada entre las mencionadas que, a juicio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, pueda causar daños al manglar o a sus espacios vitales asociados.

Ley de Gestión Integral de la Basura, Gaceta Oficial de la Republica Bolivariana de Venezuela, Numero Extraordinario 6017 de fecha 30 de diciembre de 2010, Vigente desde el 31 de marzo de 2011.

Articulo N° 28: El manejo integral de los residuos y desechos sólidos debe ser santuario y ambientalmente adecuado, con sujeción a las medidas de prevención, mitigación, corrección y control de impactos negativos sobre el ambiente y la salud, conforme a las disposiciones establecidas en esta Ley y su reglamento.

Articulo N° 30: El manejo de residuos y desechos sólidos no peligrosos debe realizarse en forma separada de materiales, sustancias y desechos peligrosos, salvo que estos se presenten encapsulados o neutralizados previamente, conforme indique la reglamentación; en caso contrario deberá ser manejado conforme a la normativa que rige para los desechos peligrosos.

Articulo N° 32: Los equipos y tecnologías a ser utilizados en las diferentes etapas del manejo de los residuos y desechos sólidos deben ser adecuados a la cantidad, clasificación y cualidades de los mismos y contar con la autorización emitida por los Ministerios del Poder Popular con competencia en ciencia, tecnología e industrias intermedias, ambiente y salud, abalado por el Consejo Nacional de Gestión Integral de los Residuos y Desechos.

Artículo N° 41: La Autoridad Municipal debe implantar mecanismos para que los generadores participen en los programas de separación de residuos y desechos sólidos desde su origen, de conformidad con los lineamientos existentes en materia sanitaria y ambiental y lo que prevea el reglamento de la presente Ley.

Artículo N° 45: A los efectos de la presente Ley se entiende por almacenamiento el acopio de los residuos y desechos sólidos no peligrosos tratados o no, en un sitio ambiental y sanitariamente apropiado, conforme a la normativa técnica.

Artículo N° 59: Los residuos sólidos con riesgos de ser peligrosos deben ser manejados o tratados mediante métodos previamente autorizados por los Órganos competentes que aseguren su inocuidad a la salud y el ambiente.

Artículo N° 68: Se prohíbe la quema de desechos sólidos. Se podrán utilizar sistemas de tratamiento térmico controlado, tales como autoclaves, hornos, crematorios y similares, solo para materiales ya segregados, en fusión de sus tipos, conforme al plan municipal de gestión de residuos y desechos sólidos, previa aprobación de las autoridades competentes.

Artículo N° 75: Para los residuos y desechos que requieren un manejo especial, el plan municipal o mancomunado del manejo de residuos y desechos sólidos debe establecer los sitios previstos para su disposición temporal o final. Se prohíbe disponer este tipo de desecho en celdas o rellenos sanitarios. Mientras no estén vigentes los referidos planes de manejos corresponderá al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia ambiental aprobar los sitios de disposición temporal o final de los mismos, prefiriendo lugares ya afectados por estas actividades.

Artículo N° 98: Los prestadores del servicio y manejadores habituales de residuos y desechos sólidos debe estar inscritos en el registro nacional de manejo de residuos y desechos referido, además de contar con la autorización por el manejo específico que pretenda ejercer, de conformidad con la normativa técnica y ambiental.

Decreto N° 2.217. Normas sobre el Control de la Contaminación Generada por Ruidos.

Artículo N° 2: El ámbito de aplicación de este Decreto, en el caso de las fuentes fijas, se contrae al ambiente no confinado ubicado fuera del local donde aquella opera y comprende cualquier instalación, proceso, equipo o artefacto capaz de producir ruido, que por su naturaleza o diseño se encuentre temporal o permanentemente en un sitio determinado.

Artículo N° 5: Se consideran niveles de ruido tolerables, los que se indican a continuación:

Ruido continuo equivalente (Leq):

Zona IV 70 dBA (Periodo diurno) 60 dBA (Periodo nocturno)

Ruido que no podrá ser excedido durante más del 10% del lapso de medición:

Zona IV 75 dBA (Periodo diurno) 65 dBA (Periodo nocturno)

Parágrafo Segundo: La clasificación de las zonas se corresponde con los siguientes sectores:

Zona IV: Comprende sectores comerciales-industriales donde predominan estos tipos de actividades.

Artículo N° 7: La emisión de ruido por vehículos de transporte terrestre no deberá exceder los niveles siguientes:

Autobuses, camiones y vehículos de carga de un peso total > 3,5 Ton: 93 dBA.

Artículo N° 8: El control administrativo de las disposiciones sobre vehículos terrestres previstas en este Decreto, corresponde a las autoridades municipales quienes en uso de sus atribuciones podrán desarrollar la normativa complementaria más adecuada a la gestión de sus intereses locales.

Artículo 1 N° 1: Los niveles permisibles de ruido para fuentes fijas indicadas en el artículo 2° serán calculados tomando en cuenta los niveles establecidos en el artículo 5°.

Decreto N° 2.212. Normas sobre Movimiento de Tierra y conservación ambiental.

Artículo N° 3: Las presentes normas se aplican a los aprovechamientos de terrenos que requieran alteración de la topografía, a través de movimiento de tierra, deforestación, remoción de la vegetación, excavación, nivelación y relleno.

Artículo N° 25: La conformación final de la topografía modificada debe contemplar un drenaje superficial debidamente diseñado, incluyendo los sitios de disposición final de las aguas.

Artículo N° 38: Todo proyecto de desarrollo deberá presentar un reconocimiento geológico de superficie en los casos en que no se disponga de información oficial del área.

Decreto N° 2.220. Normas para Regular las Actividades Capaces de Provocar Cambio de Flujo, Distribución de Causes y Problemas de Sedimentación.

Artículo N° 2: Toda actividad capaz de provocar cambios de flujo, obstrucción de causes y problemas de sedimentación, estará sujeta al otorgamiento previo de la autorización a la que alude el artículo 21° de la Ley Orgánica del Ambiente.

Artículo N° 3: Se consideran actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación, las siguientes:

Construcción de obras de infraestructura ejecutadas en el área de influencia de cuerpos de agua que puedan afectar, alterar o modificar la red de drenaje.

Artículo N° 6: La excavación y disposición de materiales y sedimentos en los canales podrá realizarse siempre y cuando se mantenga la capacidad hidráulica de los mismos, a los fines de evacuar los flujos de las crecientes.

Artículo N° 11: Las personas que pretendan obtener la autorización a la que se refiere el artículo 2°, deberán tramitar y obtener previamente por ante la Dirección Regional competente del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, la autorización o aprobación para la ocupación del territorio.

Decreto N° 2.289. Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos

Artículo N° 2: Queda sujeta a la aplicación de estas normas toda persona a natural o jurídica, pública o privada, que genere o maneje materiales peligrosos recuperables o desechos peligrosos que no sean radioactivos.

Artículo N° 4: Las actividades capaces de degradar el ambiente, como generadoras potenciales de materiales peligrosos recuperables y desechos peligrosos son las que figuran en el Anexo A, las que generan cualquiera de los materiales y desechos del Anexo B y las que generen materiales y desechos constituidos por alguna de las sustancias del Anexo C. Los señalados anexos forman parte integrante de este Decreto.

Artículo N° 6: A los efectos de este Decreto, las características peligrosas de materiales recuperables y desechos, conforme a la definición de las Naciones Unidas para el transporte de mercancías de este tipo son:

Código N.U.: H3: Líquidos inflamables.

Artículo N° 8: Los materiales peligrosos recuperables y los desechos peligrosos presentan diferentes niveles de riesgo,.... Las clases de riesgo son las siguientes:

Clase 3. Sólidos o líquidos, combustibles o inflamables sólo en presencia de llama, pueden tener ciertas características irritantes, corrosivas o tóxicas pero no requieren para su manejo equipos de protección total; potencial de dispersión limitado, cantidad transportada que no exceda 3 toneladas, ni 25 metros cúbicos, con un daño esperado moderado, en áreas puntuales y sin efectos perdurables en el ambiente.

Artículo N° 33: Los desechos peligrosos podrán ser manejados por el propio generador o mediante la contratación de manejadores, cumpliendo con los requisitos establecidos en este Decreto.

Artículo N° 42: Los generadores de desechos peligrosos se clasifican en tres (3) categorías: Generadores Eventuales: Cuando el desecho peligroso no procede de ningún proceso productivo, ni de materiales almacenados o consumidos durante el proceso, sino que se genera de equipos que operan con sustancia peligrosas contenidas en su interior, pero que están siendo utilizados, originan de las operaciones de mantenimiento o del reemplazo de dichos equipos, su generación no es sistemática y están condicionadas a la ocurrencia de las operaciones referidas o de un accidente.

Artículo N° 45: Los generadores eventuales deben presentar ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente una relación detallada de los equipos que podrían dar origen a los desechos peligrosos, las cantidades o volúmenes contenidos, los planes de mantenimiento o reemplazo de dichos equipos y cualquier accidente donde se produzca ruptura del contenedor y liberación del desecho. Los desechos peligrosos se manejarán de acuerdo con las normas establecidas, a través de una empresa manejadora que esté registrada en el Ministerio del Poder popular para el Ambiente.

Artículo N° 82: Los desechos peligrosos constituidos por aceites lubricantes y de motor y solventes no incluidos en el artículo 13°, que no sean objeto de recuperación, pueden ser incinerados en incineradores industriales o en incineradores patológicos con dispositivos para desechos líquidos, siempre que se compruebe que la incineración de estos desechos no genera emisiones diferentes a las producidas por los combustibles derivados del petróleo.

II.2.10.- Planes de educación ambiental, emergencia y contingencia.

Con los lineamientos y la Política Ambiental (PDVSA; 2012) se espera contar con los medios apropiados para asegurar el cumplimiento de las especificaciones. Levantando procedimientos escritos que regulan todos los procesos, así como las acciones correctivas en caso de incumplimiento durante la vida del proyecto, asegurando, el cumplimiento de todas las exigencias legales. El objetivo que se pretende a corto plazo del Sistema de Supervisión Ambiental es proporcionar garantías del cumplimiento tanto de la política como de las especificaciones por medio del sistema estructurado, así como permitir que ese cumplimiento sea demostrable a las instituciones de control mediante la documentación y los registros adecuados. (PDVSA; 2012)

Hay riesgos ambientales potenciales asociados con la actividad y por lo tanto, es necesario un Plan de Emergencia y Contingencias a fin de que todo el personal se encuentre preparado y conozca las técnicas de emergencia y respuesta ante una eventualidad ambiental. El Plan de Emergencia y Contingencias específico, detallará los procedimientos a ser implementados para responder inmediatamente y para controlar cualquier emergencia ambiental que pudiera ocurrir durante el desarrollo de las actividades de construcción y operación del Proyecto. (PDVSA; 2012)

Las necesidades (PDVSA; 2012) particulares de la planta originan un Plan de Supervisión Ambiental lo cual incluirá una serie de programas para prevenir o mitigar los impactos ambientales que pudieran generarse durante las fases de construcción y operación. Estos programas serán implementados para las diferentes actividades del Proyecto. Los programas se clasifican en dos grupos generales:

a) Las Programas Permanentes son aquellos programas de aplicación que continuará durante las actividades de la industria. Los programas permanentes

Incluirán:

- Programas de Prevención y Mitigación,
- Programas de Supervisión y Control Ambiental,
- Programas de Capacitación

b) El Programa de Emergencia y Contingencias es aquél que se aplica como respuesta a casos no previstos o para el manejo de situaciones accidentales que impliquen un riesgo de contaminación al entorno a los ecosistemas y a la salud de la población.

PDVSA (2012) es consciente del uso racional de este recurso, como tal todas sus operaciones contarán con una filosofía de optimizar el recurso hídrico y donde sea necesario realizar prácticas de reutilización, reciclaje y recuperación. Los Programas de prevención deberán estar dirigidos a contar con un uso adecuado del agua, minimizando pérdidas, favoreciendo reusos y reciclajes y, en general, mejorando las eficiencias de su uso(Este párrafo no cuadra o no está completo tú hablas del agua aquí, no sé si es mejor hablar del agua, la protección de las cuencas , el aire limpio, protección del suelo manejo de desechos, normas y procedimientos para el control de emisiones, generación de desechos, efluentes líquidos, Plan Nacional de Contingencias de derrames de hidrocarburos en playas y el mar).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

En esta sección se presenta el tipo de investigación a desarrollar, describiendo su nivel y profundidad, así como las herramientas metodológicas empleadas para el cumplimiento de los objetivos planteados.

III.1.- Tipo de investigación y estudio:

Según el objeto de estudio esta investigación es de tipo **aplicada – de campo** ya que su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, contribuyendo a la ampliación del conocimiento en provecho de la sociedad (UPEL, 2006), a su vez se trata de una investigación aplicada para comprender y resolver alguna situación, necesidad o problema en un contexto determinado donde el investigador trabaja en el ambiente natural en que conviven las personas y las fuentes consultadas, de las que obtendrán los datos más relevantes a ser analizados.

Según el nivel de medición y análisis de la información es **correlacional – explicativa**, ya que persigue medir el grado de relación existente entre dos o más conceptos o variables, a la vez que intenta encontrar las causas del mismo.

Método: Se utiliza una mezcla de método cualitativo cuantitativo, ya que se determinan variables importantes para el proceso a la vez que se trabaja con la sociedad del entorno.

Diseño: El diseño es de campo ya que no se manipulan las variables para ver su comportamiento, simplemente se toman datos en planta.

III.2.- Población y muestra.

Población: Se tomó como referencia los lugares donde se refine petróleo en Venezuela.

Muestra: se trabajó con una muestra no probabilística o intencional: ya que dependió de la decisión del investigador previo análisis de algunos resultados obtenidos de estudios preliminares. Para este estudio se seleccionó la refinería ubicada en la zona costera del estado Carabobo, la cual se describe a continuación:

Nombre o razón social: Refinería El Palito, S.A.

Actividad industrial: Refinación de petróleo (División 35 Agrupación 353 y Grupo 3530, según Decreto N° 638; División 35 Agrupación 353 y Grupo 3500, según

Decreto N°883; Clasificación 10.2, según Decreto N°2635). Número de Registro RASDA: G-07-93-109, de fecha 04 de Enero de 1993.

Dirección Autopista Puerto Cabello-Morón, Municipio Puerto Cabello.

Localización: La Refinería El Palito se encuentra al norte del estado Carabobo, en el área de Punta Chávez, limita al norte con el Mar Caribe, por el oeste con el río Aguas Calientes y la población de El Palito y por el este con el Río Sanchón. Se encuentran aguas arriba de la Refinería las poblaciones de El Palito, Taborda y Puerto Cabello, aguas abajo las poblaciones de Palma Sola y Morón. En la figura III.1 se presenta un plano general de la Refinería estudiada.



Figura. III.1 Plano General de la Refinería El Palito.

III.3.- Procedimiento metodológico:

La metodología que se siguió para el logro de los objetivos planteados fue la siguiente:

III.3.1.-Cuantificar las principales fuentes de gases de CO₂ en la zona de estudio desde el punto de vista técnico y económico. Para el logro de este objetivo se procedió como sigue:

III.3.1.1.- Se ubicaron las principales fuentes o sistemas potenciales de GEI, mediante revisión de planos, visitas a la Refinería estudiada y tormenta de ideas. Se hizo un análisis exhaustivo de todo el proceso productivo de la empresa, y de cada una de las plantas que lo conforman, para conocer las operaciones de producción y los puntos adecuados de toma de

muestra en el área de influencia. Se tomó en consideración fundamentalmente: emisiones producidas por el combustible quemado en los diferentes equipos, emisiones procedentes de la regeneración catalítica (FCC y otros procesos), instalaciones de producción de hidrógeno.

Se hizo un análisis exhaustivo de todo el proceso productivo de la empresa, y de cada una de las plantas que lo conforman, para conocer las operaciones de producción y los puntos adecuados de toma de muestra en el área de influencia.

Se utilizaron como criterios de selección (USEPA, 1998): nivel de la contaminación atmosférica, disponibilidad de sitio (seguridad, acceso, entre otras), interferencia potencial del ambiente circundante. Como se observa en la tabla III.1

Tabla III.1- Criterios de selección de zonas para su estudio

Criterios	Alto	Moderado	Bajo
Nivel de contaminación atmosférica (Concentración Máxima)	>50%	>25%	<25%
Disponibilidad del sitio (sub criterios)	Cumple 4	Cumple 2-3	Cumple 0-1
Interferencia del ambiente (fuentes externas)	< 50%	entre 50-75%	> 50%
Densidad de población (viviendas en un radio de 500m)	> 100	ente 10-100	<10

La industria petrolera cuenta con tres tipos de procesos que se constituyen en fuentes de emisión: combustión, evaporativa y fugitiva, (más detalle en el Anexo A). En la Tabla III.2 se describe para la unidad de negocio Refinación, única productora de GEI el tipo de emisión y los principales contaminantes para el proceso evaporativo y el de combustión, mientras que la Tabla III.3 presenta la misma situación para emisiones fugitivas:

Tabla III.2.- Principales emisiones de gases en la unidad de negocios Refinación

Fuentes de emisiones	Tipo de emisión	Proceso	Principales emisiones
Motogenerador	Continua	Combustión	SO ₂ , NO ₂ , CO, CO ₂ , Partículas totales suspendidas (PTS)
Incineradores	Continua	Combustión	SO ₂ , H ₂ S, NO ₂ , CO, CO ₂ , HC, PTS, HAP
Turbogenerador	Continua	Combustión	SO ₂ , NO ₂ , CO, CO ₂ , PTS

Calderas	Continua	Combustión	NO ₂ , CO ₂ , PTS, COV, CH ₄ , CO
Motobombas	Continua	Combustión	CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , PTS
Rehervidores	Continua	Combustión	CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , PTS
Hornos	Continua	Combustión	CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂ , PTS
Fosas	Continua	Evaporativa	H ₂ S, COV, CH ₄
Mechurrio *	Discontinua	Combustión	CO, CO ₂ , NO ₂ , H ₂ S, SO ₂ , COV, CH ₄
Patios de sandblasting	Discontinua	Limpieza y pintura **	Material particulado SiO ₂
Tanques	Continua	Evaporativa	H ₂ S, COV
Separador API	Continua	Evaporativa	COV

* Estos sistemas serán considerados como fuentes de emisión sólo para casos de emergencia y no como fuentes continuas.

** No se tomaran en cuenta

En refinación también se existen chimeneas, que se constituyen como la vía de escape y salida de las emisiones generadas bien sea en la caldera, quemador u horno asociado.

Tabla III.3.- Principales emisiones fugitivas de gases en la unidad de negocios Refinación.

Fuentes de emisiones	Tipo de emisiones
Torres de Enfriamiento	HC, Vapor de Agua
Válvulas de alivio	H ₂ S, COV, CH ₄
Juntas	H ₂ S, COV, CH ₄
Bridas	H ₂ S, COV, CH ₄
Sellos de bombas reciprocantes	COV
Tanquillas y drenajes	H ₂ S, COV
Compresores	H ₂ S, CH ₄

III.3.1.2.- Se revisó el marco normativo y posibles sanciones o penalización a las empresas, para ello se consultó bibliografía nacional e internacional. El desarrollo de esta etapa consistió en:

- Análisis de la normativa existente a nivel nacional e internacional.
- Reuniones con especialistas para definir los contenidos de la Norma.
- Identificación de la posición a tomar en cada dominio regulador, e integrar todo en una argumentación coherente y creíble.
- Monitoreo de las políticas de gases, manteniendo registro de valores y cumplimiento por parte de los responsables en el caso.

III.3.1.3.- Se realizaron inventarios de GEI considerando criterios locales tales como ubicación geográfica, relieve, clima y equipos. Cumpliendo según Martín, 2005 con:

- Exhaustividad: el seguimiento y la notificación de una instalación cubrirán todas las emisiones de procesos y de combustión de las fuentes pertinentes a la actividad
- Concordancia: las emisiones seguidas y notificadas son comparables a los largo del tiempo, utilizando las mismas metodologías y conjuntos de datos de seguimiento.
- Transparencia: los datos de seguimiento incluyendo las suposiciones, referencias, datos de actividad y factores varios se obtendrán, compilarán, registrarán, analizarán y documentarán de una manera que permita la reproducción de la determinación de las emisiones por el verificador y la autoridad competente en materia ambiental.
- Precisión: Se asegurará que la determinación de las emisiones no esta sistemáticamente ni por encima ni por debajo de las reales, en la medida en que pueda juzgarse, y de que la incertidumbres se reducen en la medida en que sea viable.
- Niveles de Incertidumbre: medir directamente GEI: calculando las emisiones a partir de la cantidad de combustible consumido y su composición.

Para la realización de inventarios de gases de combustión se procedió de la siguiente manera:

Lugar: se tomaron muestras en 12 chimeneas (diez hornos y dos calderas.)

Frecuencia: se tomaron cada 12 horas, durante 2 meses en el primer semestre y dos meses en el segundo semestre del año, durante los años 2010 al 2014.

Técnica utilizada: El muestreo se realizó considerando la norma COVENIN 1836-6 y el Método 3 de la EPA (Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, excess air and Dry. molecular Weight) (EPA, 2012). Se determinaron los gases de combustión (CO_2 , CO , O_2 , y N_2) y el peso molecular promedio de dicho gas. Para determinar los dióxidos de azufre (SO_2), y el monóxido de carbono (CO) se usó un equipo analizador de sensores electroquímicos, BACHARACH DIOXOR II, que registra los valores directamente en ppm. En la tabla III.4, se observa las características de los puntos a muestrear.

TABLA III.4.- Características de los puntos a muestrear indicando los valores teóricos de concentración y tasa de emisión.

TIPO	Alt (m)	Diam (m)	Composición	Vel (m/s)	Tsal (m/s)	Flujo (m ³ /h)	Contenido	Concentración (mg/m ³)	Tasa de emisión (kg/h)
B-101 (Dest.At m.)	36,6	3,3	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	7,6	-	6000	CO	22,5	4,99
							CO ₂	56738,5	12,664
							NOX	94	20,9
							SO ₂	0	0
B-102 (Dest.Atm)	24,4	1,5	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	12,5	443	1100	CO	11,5	0,4
							CO ₂	69550,5	2353,9
							NOX	59	2
							SO ₂	0	0
B-103 (Dest.Atm)	33,5	2,1	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	8,6	343	3900	CO	850	0,4
							CO ₂	99750,5	2353,9
							NOX	100	2
							SO ₂	0	0
B-6001 (Dest. Vacío)	61	2,6	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	5,3	438	5400	CO	125	8,2
							CO ₂	181198	12025
							NOX	92	6,1
							SO ₂	0	0
							H ₂ S	6,5 PPM	
							CO		0,756
B-2301 (Solvente)	19,8	0,8	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	4,6	338	200	NOX		0,54
							SO ₂		0,036
							Partículas		0,025
							CO	14,5	1,8
B-2001 (Refor. Cat.)	29	2,1	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	4,2	581	3100	CO ₂	49417,5	6243
							NOX	61	7,7
							SO ₂	0	0
							CO	10,25	0,1
B-2501/2 (Refor. Cat.)	25	1	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	2,7	366	570	CO ₂	64,97	963
							NOX	58,25	0,8
							SO ₂	0	0
							CO	42	96,3
B-4201/440 1/4301 (BTX)	22,8	1,5	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	20	137	3360	CO ₂	107,98	3496
							NOX	237	2,8
							SO ₂	0	0
							CO	60 ppm	14281,2
B-6102 (Craqueo Catalítico)	60,7	1,8	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S Y partículas	23,1	403	360	CO ₂	15ppm	
							O ₂	3,3ppm	
							NOX	4,8ppm	73440
							SO ₂	2014	508680
							H ₂ S	3,5 ppm	
							Partículas	41,2 ppm	
							CO	307,5	50,8
B-6903 (Chimenea del)	61	1,3	CO, O ₂ , CO ₂ , SO ₂ , NO, H ₂ S	4,8	570	n/d	CO ₂	3,9 ppm	

incinerador)	Y partículas	NOX	< 1 ppm	5,4
		SO2	3953	142801,2
		H ₂ S	6,5 ppm	

Fuente: (PDVSA, 2014)

En lo referente a partículas totales suspendidas (PTS) se usó la NORMA COVENIN 2060 (PDVSA, 2012) y se procedió de la siguiente manera:

Se realizó aspirando aire ambiental, con un equipo denominado Hi Vol (PDVSA, 2012). Este aire se pasa a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente acondicionado y pesado, donde son atrapadas dichas partículas. Luego se lleva la muestra a laboratorio para su acondicionamiento y pesada final. La técnica usada en el laboratorio fue:

- **Desecación:** todos los filtros fueron colocados en un desecador, hasta que su peso no varíe, anotando el peso final.
- **Análisis gravimétrico:** la masa de las partículas recogidas en cada filtro fue determinada mediante la diferencia entre pesos iniciales y finales de los mismos, para lo cual se empleó una balanza electrónica microanalítica, previamente calibrada, de 0,1 mg de precisión.
- **Cálculos:** para calcular la concentración de PTS, se divide la masa recogida en cada filtro entre el volumen promedio aspirado llevado a condiciones estándar. Esta concentración se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para la captación y análisis de dióxido de nitrógeno (NO_2), se utilizó el método de Arsenito de Sodio (métodos estándar; PDVSA, 2014) el cual se basa en la recolección de NO_2 burbujando aire, a una tasa de muestreo es de $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 24 horas, a través de una solución estable de Nitrito de Sodio. El ion Nitrito producido durante el muestreo se hace reaccionar con ácido fosfórico, sulfanilamida y diclorhidrato de N- (1-narfil) etilendiamina para formar un compuesto coloreado, el cual es determinado por análisis colorimétrico. La masa de NO_2 es determinada en el espectrofotómetro visible y la concentración se obtiene dividiendo la masa entre el volumen de aire muestreado.

El dióxido de azufre (SO_2) se determinó mediante el método de la Pararosanilina/tetracloromercurato (métodos estándar; PDVSA, 2014), el cual es absorbido en una solución de tetracloromercurato de potasio o sodio. La determinación de este parámetro se hace simultáneamente con el dióxido de nitrógeno a una tasa de muestreo de

200 cm³/min durante 24 horas. El procedimiento resulta en la formación de un complejo de mono clorosulfonato-mercurato, el cual resiste oxidación por el oxígeno en el aire, el EDTD es absorbido a la solución para complejar los metales pesados que catalizan la oxidación del dióxido de azufre colectado.

El sulfuro de hidrogeno (H₂S), tratado según métodos estándar; PDVSA (2014), fue absorbido en una solución de acetato de cinc y precipitado como sulfuro de cinc. El precipitado es tratado con ácido para liberar el H₂S el cual se hace reaccionar con sulfuro de p-aminodimetilanilina en presencia de cloruro férrico. El intenso color azul de metileno es medido a 600 nm. La tasa de muestreo fue entre 180 y 200 cm³/min durante 8 horas una vez al mes por 4 años y los análisis fueron realizados inmediatamente después de recogidas las muestras.

Se tomaron adicionalmente datos meteorológicos, dado que la meteorología influye directamente en la dispersión de los contaminantes atmosféricos y en el caso de los contaminantes secundarios, afectan su producción en la atmosfera. Se hicieron lecturas automáticas de cada parámetro, cada media hora, en el periodo comprendido entre 2010-2014. Las variables medidas fueron: dirección de los vientos, velocidad del viento, temperatura, presión barométrica, humedad relativa y precipitación.

Los equipos de muestreo se instalaron en las direcciones que correspondían al área de influencia de la empresa. Para ello se ubicaron mediante el uso de una brújula las direcciones predominantes de los vientos. Los equipos fueron colocados en los siguientes puntos:

Estación Sur Refinería: ubicada en un andamio, al lado del sistema contra incendios en el área sur 6 del área operaciones de la refinería. La localización geográfica el punto de muestreo es: 10°28' 36" N y 068° 07' 30" W

Estación Materiales PDVSA: se instaló en la azotea del edificio de la caseta de vigilancia (área Q), al suroeste del proceso. Fue definido como la estación Blanco, la localización geográfica es: 10°28' 51" N y 068° 06' 05" W

Estación CAREP. Se instaló en la parte alta de un contenedor de la Cooperativa Benanjo, al oeste de la refinería, no se determinó la localización geográfica.

Con el fin de determinar con exactitud cuáles son las direcciones de los vientos en la zona, se instaló una estación meteorológica en el área de oficinas de la Refinería, los parámetros medidos durante el estudio fueron: velocidad y dirección del viento, temperatura ambiental, punto de rocío, presión barométrica, humedad relativa y precipitación.

Se captaron en el periodo estudiando doscientos veinte 220 muestras efectivas por estación según lo estipulado en artículo 6, del Decreto 638 Normas sobre la Calidad del aire y control de la contaminación atmosférica (Gaceta N° 4899, 2014).

III.3.2.-Evaluar conceptualmente riesgos ambientales, estableciendo distintos escenarios del sistema, comparando características particulares de la zona. Para ello:

III.3.2.1.- Se determinaron los escenarios posibles que puedan ocurrir en la zona de estudio con respecto a los gases, las etapas para su logro fueron:

III.3.2.1.1.- Se desarrolló el perfil de línea base o caracterización de los riesgos ambientales de las operaciones existentes en la zona de estudio. Lo cual implicó:

III.3.2.1.2.1.- Clasificar en categorías los **peligros ambientales genéricos no catastróficos** en la zona de estudio, basándose en la experiencia de operar los equipos y las maquinarias.

Se consideraron los peligros ambientales dentro de las siguientes categorías:

- Emisiones continuas (por los procesos) y/o crónicas (fallas en procesos) de aire contaminado.
- La generación o liberación periódica de materiales que planten riesgos ambientales para la comunidad circundante.
- La liberación accidental, pero no catastrófica, de materiales que planten riesgos para la comunidad circundante.

Las últimas dos categorías incluyeron el manejo de catalizadores, productos químicos y otros materiales. También consideran la eliminación de los desechos de procesos, residuos de limpieza de los equipos, etc., con atención especial a materiales que necesitan ser manejados, almacenados, transportados y tratados como desechos peligrosos.

III.3.2.1.2.2.- Clasificar en categorías **los peligros catastróficos genéricos, ambientales y de seguridad** de la zona en estudio. Los peligros potencialmente catastróficos incluyeron liberaciones de gases, hidrocarburos, o partículas de materia, y derramamientos mayores u otras liberaciones debido al manejo, almacenamiento o al mismo proceso. Se le prestó mayor atención a las liberaciones de alta energía (las fallas de recipientes, detonaciones, fuegos, etc.). Se estimó la magnitud de las consecuencias asociadas con cada peligro en términos de su volumen, tasa de emisiones, energía, etc.

III.3.2.2.- Se evaluaron los escenarios y las distintas opciones de tecnologías, climatología y geomorfología comparando con los establecidos por los expertos (grupo de especialista en las áreas, dentro y fuera de la empresa). Para lograrlo:

III.3.2.2.1.- Se evaluó conceptualmente los riesgos ambientales, utilizando el modelo comercial de simulación de dispersión de contaminantes en la atmosfera conocido como ISC-PRIME (EPA, 2012) obteniendo los patrones de dispersión, la concentración de los contaminantes y el flujo de deposición (porcentaje de contaminante y ubicación del contaminante en la zona de estudio), para la cuantificación de peligros específicos asociados en la zona de estudio.

III.3.2.2.2.- Se determinó la magnitud de los posibles peligros ambientales y de seguridad identificados en las actividades anteriores, para su debida ponderación. Las estimaciones se realizaron con tipos y cantidades de emisión, tanto para operaciones normales como para aquellas asociadas con eventos catastróficos.

III.3.2.2.3.- Se evaluaron los posibles impactos ambientales y de seguridad de las emisiones y los eventos en las comunidades circundantes a la zona de estudio. Para ello se comparó la emisión obtenida con la norma de seguridad de PDVSA (PDVSA, 2012) y la Norma sobre calidad de aire y control de la contaminación atmosférica, Decreto N 683 del año 1995, Gaceta Oficial N° 4899 de fecha 19/05/1995 de la Republica de Venezuela para evidenciar su cumplimiento e identificar las áreas de excedencia.

Los escenarios analizados fueron:

Peligros Ambientales No Catastróficos: son asociados con eventos de emisiones rutinarias o esperadas que normalmente no plantean una amenaza inmediata para el

ambiente o poblaciones locales. En lugar de ellos, estos tipos de eventos pueden resultar en una excedencia de Estándares Ambientales Nacionales de Calidad de Aire. Se establecieron tres (3) escenarios:

Escenario 1: las unidades de la Refinería están operando, pero los mehurrios emiten, a niveles de diseño individual por una duración anual de uno por ciento (1%), es decir un total acumulativo de 88 horas o menos de cuatro días equivalentes por año. Este escenario fue modelado para determinar los efectos acumulativos de acontecimientos esporádicos de quemado en contraste con el estándar anual de la USEPA, ya que los estándares venezolanos no incluyen un estándar anual.

Escenario 2: Se asumió que las unidades de la Refinería estaban operando y que los mehurrios emitían por 24 horas consecutivas. Como se mencionó anteriormente, es difícil que la Refinería alivie por todos los mehurrios simultáneamente por 24 horas sin resolver el problema raíz o se pare la operación totalmente. Sin embargo, se asumió que este es un escenario conservador para evaluar los efectos de un acontecimiento no rutinario.

Escenario 3: Representa las operaciones reales previstas para las unidades de la Refinería. Ningún alivio a mehurrios o liberaciones no rutinarias fueron incorporadas en este escenario.

Peligros Ambientales Catastróficos: son eventos de emisión no rutinaria y/o accidentes que plantearían una amenaza inmediata para el ambiente o poblaciones locales. Estas liberaciones no rutinarias /accidentales podrían ser el resultado de una falla de proceso, de electricidad o de algún tipo de evento que causaría la liberación de contaminantes incontrolables a la atmósfera, o contaminantes controlados pero emitiéndose en cierta manera o velocidad para la cual el equipo no fue diseñado. Se estableció un solo escenario, denominado escenario único:

Escenario Único: Se identificó que podría resultar un riesgo catastrófico para la salud humana o el ambiente una falla total en el incinerador. Bajo tal escenario, la carga entera de H_2S de las unidades de procesos existentes no convertiría el azufre elemental, en lugar de eso, él H_2S sería quemado en el incinerador y emitido a la atmósfera como SO_2 , o en el

caso de una falla eléctrica en toda la planta emitida directamente a la atmósfera como H_2S , dichas concentraciones podrían ser altas.

En cuanto al software de simulación utilizado se trabajó con los modelos de simulación disponibles para predecir concentraciones de contaminantes en el aire ambiental proveniente de emisiones industriales. El modelo ISC-PRIME es recomendado (EPA, 2012) en casos donde la proximidad de los edificios puede afectar los patrones de dispersión. Se usó “ISC-PRIME versión 04269” y “Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems” (USEPA AP-METHODOS, 2012). Para establecer la metodología de cálculo, el modelo obtiene cada hora las concentraciones ambientales y el flujo de deposición, a partir de la ecuación de estado constante de la pluma Gaussiana para modelar las emisiones y determinar las concentraciones de los contaminantes y flujo de deposición (resultando de procesos secos y/o húmedos). Las concentraciones de los contaminantes para cada fuente en cada receptor, calculadas en cada hora, son sumadas para obtener la concentración total producida en cada receptor por las combinaciones de las fuentes de emisión.

a) Localización de los puntos de emisión en la Cuadrícula del Modelo.

La refinería está ubicada en la costa cerca del Mar Caribe, al norte de Venezuela. En una cuenca estrecha y plana delimitada por el litoral de mar Caribe norte y áreas montañosas sur. Las coordenadas en el sistema Gauss de la planta son 1.158.580N 594.800E. La localización geográfica, latitud, y longitud del centro de la planta son aproximados a 10 grados 28' 45,54" N y 68 grados 7' 48,84" E. Esta cerca del Ecuador, lo cual ayuda a los perfiles meteorológicos discutidos más adelante.

Los puntos de emisión fueron ubicados dentro del límite de la planta en la unidad operativa o la fuente específica identificada. Se determinó cada coordenada geográfica y se añadió a la base de datos del modelo. Algunos detalles del diseño no están disponibles, para ciertas áreas de la Refinería para poder localizar fuentes individuales de emisión (chimeneas de hornos, venteo de tanques, chimeneas de calentadores, venteos de filtros, entre otros).

b) Topografía: Es dominada por áreas montañosas, parte de la cordillera de la costa central, localizada al sur de la Refinería, con elevaciones montañosas de 400 metros de

altura dentro de un radio de 3 kilómetros. Las elevaciones no son consistentes a todo lo largo del área considerada. El Río Sanchón fluye por el valle occidental y las comunidades están localizadas a lo largo del Río Aguas Calientes dentro del valle oriental.

Las características del área afectan enormemente a la dispersión de contaminantes de las chimeneas y otras fuentes fijas de emisión. Los contaminantes de la pluma son distribuidos en un patrón Gaussiano dando como resultado la concentración más alta en la línea central de la pluma. Cuando las plumas impactan un área elevada, los receptores en esta posición pueden estar expuestos a concentraciones altas de los contaminantes ambientales. Además, elevaciones grandes y discontinuas (como colinas o acantilados) crean un barrido descendente aerodinámico "aguas abajo" de la trayectoria de la pluma, dando como resultado altas concentraciones al nivel del suelo.

Los cuerpos de agua también afectan la dispersión de la pluma afectando las rasas de flujo local del viento y su turbulencia. Los cuerpos grandes de agua actúan como un depósito, lo cual calma la magnitud de fluctuaciones ambientales de temperatura que afectan la turbulencia atmosférica. Los cuerpos de agua también afectan la turbulencia aportando poca fricción al flujo del viento, así afectan al perfil vertical del viento en la capa límite.

El cuerpo más grande de agua cerca de la Refinería El Palito es el mar Caribe al norte de la Refinería. No hay otro cuerpo de agua de tamaño significativo en las afueras de la Refinería. El Río Aguas Calientes y el Río Sanchón fluyen hacia el mar Caribe a través de dos de los valles cerca de la Refinería y desembocan en el mar desde sus cuencas respectivas en el interior de Venezuela.

c) Perfil Meteorológico: No existe una estación meteorológica en el complejo propio de la Refinería El Palito, pero existe una estación meteorológica cerca del aeropuerto de Puerto Cabello. Sin embargo, los datos meteorológicos disponibles no fueron suficientes para propósito de esta evaluación. La estación meteorológica más cercana con datos suficientemente completos es el Aeropuerto Internacional de Maiquetía, donde la velocidad, la dirección y la temperatura del viento son medidas cada hora. El aeropuerto está aproximadamente a 125 kilómetros al este de la Refinería. Aunque la estación de Maiquetía parece estar a una distancia considerablemente alta de la Refinería, el perfil

meteorológico a lo largo de la costa norte de Venezuela es relativamente consistente. Por lo tanto, se considera que las condiciones meteorológicas de Maiquetía son generalmente representativas del área en la cual la Refinería El Palito está ubicada. Los datos meteorológicos de Maiquetía de cada hora sirvieron para desarrollar el perfil meteorológico.

La meteorología en este área parece ser bastante consistente a todo lo largo del año. La velocidad promedio anual del viento varía entre 1.60 metros por segundo (m/s) y 1.64 m/s. La dirección del viento es también consistente soplando del noreste ("NE") hacia el este-nordeste ("ENE") durante más de 80 por ciento del tiempo. Esto da como resultado una trayectoria unidireccional para la emisión de plumas de la Refinería. Dependiendo de la localización de la fuente de emisión dentro de la Refinería, se espera que la trayectoria de pluma se dirija al área elevada al sur de la Refinería. La región del valle del Río Sanchón hacia el sudoeste de la Refinería presenta una posibilidad de estancamiento de aire y concentraciones mayores. Sin embargo, en este momento no existen comunidades residenciales en esta región del valle.

La temperatura ambiental promedio en la estación meteorológica de Maiquetía es también consistente. La temperatura ambiental promedio varió entre 24 grados centígrados (°C) y 28 °C en el período del 2010 al 2014. Esto es posiblemente debido al efecto del depósito de calor que tiene el mar Caribe.

En resumen se tienen los siguientes datos, los cuales se incluyen en la Tabla III.5:

- La velocidad promedio del viento en el Aeropuerto de Puerto Cabello es aproximadamente 2.6 m/s y 1.62 m/s en el Aeropuerto de Maiquetía;
- La temperatura ambiental promedio en el Aeropuerto de Puerto Cabello es de aproximadamente 27 grados centígrados, similar a la del aeropuerto de Maiquetía; y
- La dirección predominante del viento en el Aeropuerto de Puerto Cabello es igual a la del aeropuerto de Maiquetía es decir ENE-NE (este nordeste a nordeste).

Tabla III.5.- Datos meteorológicos introducidos al modelo.

Año	Velocidad del Viento			Dirección del Viento	Temperatura (°C)
	MAX	AVG	MIN	Promedio	Promedio
1	4.6	1.6	1.0	54.5	27.6
2	9.8	1.6	1.0	55.2	27.7
3	22.1	1.6	1.0	41.6	23.9
4	22.1	1.6	1.0	39.2	27.5
5	12.9	1.6	1.0	44.0	28.0

El modelo ISC-PRIME utiliza condiciones meteorológicas representando datos tomados a cada hora, 24 horas al día, 7 días a la semana, y 365 días al año. Sin embargo, usualmente el modelo está diseñado para señalar solamente las peores condiciones del aire; i.e., condiciones cuando las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental son máximas.

d) Receptores Sensitivos: hay tres zonas residenciales dentro de los seis kilómetros a la periferia de la Refinería, estos son el pueblo de El Palito al este, el pueblo de Morón en el oeste y el pueblo de Taborda al sur de la Refinería. Se considera que éstos son receptores sensitivos debido a la presencia de niños, ancianos, y enfermos, así como también, escuelas, hospitales, y áreas recreativas donde las personas se congregan continuamente.

Los ecosistemas son también considerados como áreas sensitivas, especialmente si se sabe que el ecosistema es frágil. Usualmente, los estándares ambientales secundarios de calidad de aire se usan para determinar los posibles impactos en receptores no humanos.

No existe un ecosistema, dentro del área de la Refinería El Palito, que haya sido declarado territorio nacional o área nacional de preservación. Sin embargo, el río Sanchón es considerado como una zona protegida y una reserva hidráulica que pertenece al mar Caribe, y está protegido bajo las limitaciones de "Área Bajo Régimen de Administración Especial" ("ABRAE"). El Río Sanchón está incluido dentro de la extensión occidental de la Refinería El Palito, pero se encuentra en una zona que no está asignada para ser desarrollada por PDVSA. Consecuentemente, se compararon los posibles impactos, causados por las operaciones de la Refinería El Palito, en la calidad de aire ambiental en el Río Sanchón con

estándares ambientales secundarios de calidad de aire, que se presentan en el capítulo IV. El río Aguas Calientes fluye a través de un valle al este de la Refinería hacia el mar Caribe. Éste no es un área de preservación nacional.

e) Coeficientes de Dispersión: la selección de los coeficientes de dispersión se basó en el uso de la tierra en un radio de 3 Km de la fuente según la técnica de clasificación recomendada por USEPA. Basado en los resultados del análisis, se consideraron apropiados los coeficientes de dispersión rurales para el caso de estudio.

La Tabla III.6 resume los parámetros introducidos al modelo

Tabla. III.6.- Resumen de parámetros introducidos al modelo.

Datos	Unidades	Valores
Ubicación	Coordenadas Geográficas. N y E	1.158.580; 594.800
Topografía	Elevación. Metros	400
	Radio. Kilómetros	3
Perfil Metereologico	Viento promedio anual.	
	Metros/segundos	1,6 – 1,6
	Dirección del viento	NE hacia ENE
	Temperatura°C	24-28
Receptor Sensitivo	Comunidades. Kilómetros	6
Coeficiente	Dispersión. Kilómetros	3

III.3.3.-Analizar la viabilidad de captación y almacenamiento del CO₂ en la zona de estudio. Para el logro de este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

III.3.3.1.- Comparación de los diferentes procesos y sistemas de captación de CO₂ y selección del más apropiado

III.3.3.1.1- Estudió técnico de los diferentes procesos y sistemas de captación de CO₂.

Se estudiaron las siguientes tecnologías: Captura en pos combustión, captura en pre combustión, oxi combustión e interacción de la atmósfera con distintos componentes del ecosistema.

III.3.3.1.2.- Selección del proceso y sistema de captación más apropiado.

III.3.3.2.- Comparación de los diferentes métodos de almacenamiento del CO₂

III.3.3.2.1.- Estudio técnico de los principales métodos utilizados para el almacenamiento del CO₂ y selección del más apropiado.

Se analizaron diversas maneras de almacenar CO₂, entre ellas:

- Formaciones geológicas: yacimientos de petróleo y gas, formaciones salinas profundas y capas de carbón inexplorables.
- Almacenamiento forestal.
- Almacenamiento oceánico.
- Otras opciones de almacenamiento como la carbonatación mineral o el uso industrial del CO₂ de forma directa o como materia prima para la producción de diversas sustancias químicas que contienen carbono.

III.3.3.2.1.1.- Mitigación de emisiones del sector forestal.

Para la elaboración de las clases de vegetación se utilizan los programas Envi en su versión 5.1, Arcgis 10.2.2 , el programa de cálculo de altura geoidal llamado Geoidven V1.6 y Qgis Como paso previo se requiere la orto rectificación de las imágenes obtenidas utilizándose como dato para el proceso el modelo digital SRTM de 30 metros del programa de investigación Aeroespacial Estadounidense "Misión Topográfica Shuttle Radar" para así obtener una mayor precisión en la ubicación espacial.

Las imágenes de satélites obtenidas ya vienen con corrección radiométrica, razón por la cual no se requiere aplicarles a las mismas ya que estas imágenes, tanto para la clasificación supervisada como para la no supervisada, son ideales al tener las menores modificaciones de los niveles digitales de las mismas, permitiendo una mayor exactitud en la clasificación a nivel de los algoritmos usados y explicados a continuación:

- Clasificación No Supervisada: Se empleó el Algoritmo Isodata. Se procesó inicialmente con 30 clases y 10 interacciones. Esto es debido a la modificación de los niveles digitales, así como a la presencia de nubes cuya modificación acarea la generación de más clases, de esta manera se pudo discriminar entre los casos de vegetación y uso de suelo, tanto en las clases seleccionadas para la clasificación, así como aquellas alteradas por las nubes. Mediante esta clasificación no supervisada se logró la interpretación visual y con conocimiento de las posibles ubicaciones de las formaciones vegetales, siendo el objetivo de esta clasificación el observar el

comportamiento de los niveles digitales en la imagen y cómo se comportaba el clasificador al establecer número de clases y número de interacciones.

- Clasificación Supervisada: Se empleó el Algoritmo Vecino Más Cercano. Para la obtención de muestreo se optó por el uso de muestreo aleatorio ya que este permite la determinación de clases más representativas a los tipos de vegetación a ser obtenida. Este método de selección de muestra se realizó en función de la interpretación y reconocimiento previo de las unidades de vegetación y ecosistemas que imperan en el área de estudio de las cuales al ser comparado con los resultados de la clasificación no supervisada permite conocer la distribución y comportamiento de las unidades digitales en la imagen, y así poder determinar las formaciones vegetales.

A.- Captura del CO₂ en forma natural

Para analizar la captura de CO₂ de forma natural, se realizaron salidas de campo hacia la cuenca del Río Sanchon, estado Carabobo, a fin de levantar información concerniente a la vegetación asociada a la cuenca alta y media. (Direcciones Generales de Planificación y Ordenación Ambiental, de Bosques, la Oficina Nacional de Diversidad Biológica y Pdvs), esto con el propósito de establecer el alcance de los trabajos a realizar y los mecanismos de supervisión a llevar a cabo.

El área objeto del estudio fue la cuenca tributaria del río Sanchón, ubicada en los Municipios Juan José Mora y Puerto Cabello del estado Carabobo, conformada por numerosas nacientes, localizadas a lo largo y ancho del valle.

La cuenca del río Sanchón se ubica al norte del mar caribe en la denominada Región Centro norte costera de la República Bolivariana de Venezuela, aproximadamente entre las coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum Sirgas - Regven, Huso 19, Norte: 1.141.000 m y 1.159.000 m y Este: 588.500 m y 595.000 m. Abarca una superficie aproximada de 8.900 ha. y sus límites naturales son:

- Norte: La orilla del mar, desde Punta Chávez hasta Punta Morón.

- Este: Desde Punta Chávez, a orillas del mar, en línea recta hacia el Sur hasta el pie de la serranía que divide el valle del río Sanchón y el valle del río Aguas Calientes y por las cumbres de esta serranía hasta la fila donde nace la quebrada de Guarataro, tributaria del río Sanchón.
- Sur: Desde la fila naciente de la quebrada Guarataro, tributaria del río Sanchón, se continúa por las cumbres más altas que separan al valle del Sanchón con el valle del río Chirgua.
- Oeste: Desde las altas cumbres hasta la fila, cercana a las cabeceras del río Chirgua, se sigue hacia el Norte por la fila divisoria de aguas entre las cuencas del río Sanchón y el Morón, hasta Punta Morón a orillas del mar.

B.- Levantamiento Fisionómico- Estructural

La metodología utilizada para el levantamiento de información de vegetación consistió en el establecimiento de parcelas y transectas a lo largo de un eje conformado por una gradilla utilizada para el inventario forestal, orientada en sentido Este - Oeste. Las parcelas consistieron en áreas de 0,1 ha espaciadas 500 m entre ellas, y dentro de ese espacio, se levantaron transectas de 400 m de longitud, en donde se implementó el método del cuadrante centrado (Cottam & Curtis, 1956) para el levantamiento de la información fisionómica - estructural de la vegetación.

El levantamiento de la información florístico y fisionómico - estructural se inició en la cuenca alta del río Sanchón, específicamente en el sector El Revolver (N: 1.143.124 / E: 594.394), ubicado a una altura de 1.422 msnm. En este sector se levantaron tres transectas, espaciadas entre 2 a 1,5 km entre ellas. En la Tabla III.7 y III.8 se especifican la localización, altura y longitud de las mismas.

Tabla III.7. Transectas del Sector El Revolver, cuenca del río Sanchón, Carabobo

Transecta	Coordenadas (inicio)		Longitud (m)	Altura (msnm)
	Norte	Este		
1	1.142.843	594.046	1.000	1.374
2	1.144.957	594.549	950	1.153
3	1.144.249	594.806	1.100	1.341

En el sector Quebrada de Oro se levantaron las transectas 4, 5 y 6 (Tabla III.8.)

Tabla III.8. Transectas del Sector Quebrada de Oro, cuenca del río Sanchón, Carabobo

Transecta	Coordenadas (inicio)		Longitud (m)	Altura (msnm)
	Norte	Este		
4	1.150.035	592.403	980	104 – 175
5	1.151.994	592.199	1.150	91 – 197
6	1.153.992	591.993	1.000	135 – 410

El tipo de comunidad de vegetación que se evaluó en la Transecta 7 corresponde a un bosque decido ubicado en el sector Casa Teja (Tabla III.9), este tipo de comunidad vegetal es la más representativa en Venezuela, donde varían las especies de acuerdo al estado donde se encuentren y al ambiente geomorfológico, además del régimen de lluvia anual que varía entre los 700 a 1.200 mm y con un período de sequía entre 3 a 6 meses.

Tabla III.9. Transecta del Sector Casa Teja, cuenca del río Sanchón, Carabobo

Transecta	Coordenadas (inicio)		Longitud (m)	Altura (msnm)
	Norte	Este		
7	1.156.008	591.730	1.000	161

C.- Usos de parcelas

De acuerdo al mapa de la cuenca del río Sanchón (Figura III.2) se trazaron transectas cada 2.000 m en sentido Sur - Norte partiendo de la latitud Norte 1.156.000 con dirección Este franco. En dicha transecta, se ubicaron cada 1.000 m las parcelas de 0,1 ha (50 m de largo x 20 m de ancho) de manera sistemática. El levantamiento de información consistió en la medición de todos los individuos arbóreos mayores o igual a 10 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP), altura total, altura de fuste, altura comercial, calidad, vitalidad, fenología, presencia de lianas, epifitas y líquenes. Se levantó la regeneración natural de todos los individuos entre 0,1 cm de altura hasta los 9,99 cm de DAP.



Figura. III.2. Transectas resultantes para el levantamiento del inventario florístico y seguimiento de la cuenca del Río Sanchón, estado Carabobo

D.- Ubicación y limitación de parcelas y toma de datos

Para la realización del inventario de las comunidades boscosas, se utilizó la metodología de los transectas de 0,10 ha propuesto por Gentry (1992), que consiste en el establecimiento de parcelas rectangulares de 50 m x 20 m, divididas en 10 subunidades de 10 m x 10 m. Se instalaron un total de 21 parcelas (2,1 ha), 08 en el Bosque Nublado, 08 en el Bosque Semidecidual, 03 en el Bosque Decidual, 01 en el rastrojo del Bosque Semidecidual y 01 en un área intervenida. La ubicación de las parcelas fue a lo largo de las picas que se iban abriendo simultáneamente. Estos inventarios se realizaron una semana cada dos meses en el periodo 2012-2015.

E.- Imágenes satelitales

Se recopiló información sobre las imágenes de satélites en buenas condiciones existentes a los fines de soportar el trabajo final del mapa de vegetación de la cuenca del río Sanchón del estado Carabobo.

Se obtuvieron imágenes del satélite SPOT 5 del sensor escaneador multiespectral MSS con resolución espacial de 10m e imágenes pancromáticas de 2,5 m de resolución espacial correspondientes a las áreas de cobertura 656 - 329 (Tabla III.10).

Tabla III.10. Imágenes SPOT identificadas para la cuenca del Río Sanchón, Carabobo

Sensor	Nombre	Fecha de Adquisición	Resolución Espectral	Resolución Espacial	Productor	Formato de Imagen
Escáner multiespectral MSS	656_329	Enero 2010	3 bandas Espectrales y 1 imágenes infrarrojas	10 m Espectrales y 2,5 m pancromática	CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales francés)	Geo.Tiff
Escáner multiespectral MSS	656_329	Febrero 2009	3 bandas Espectrales y 1 imagen infrarroja	10 m Espectrales y 2,5 m pancromática	CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales francés)	Geo. Tiff
Escáner multiespectral MSS	656_329	Febrero 2008	3 bandas Espectrales y 1 imagen infrarroja	10 m Espectrales y 2,5 m pancromática	CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales francés)	Geo. Tiff

Fueron descargadas imágenes del satélite Venezolano Miranda del portal oficial con nivel de procesamiento de 2A, siendo necesario este nivel ya que permite obtener los coeficientes espectrales de la vegetación, además a nivel de cobertura de nubes esta posee el 30% de coberturas siendo seleccionada por la poca presencia de las mismas dentro del área de estudio (Tabla III.11).

Tabla III.11. Imagen proveniente del satélite Miranda identificada para la cuenca del río Sanchón, Carabobo

Sensor	Nombre	Fecha de Adquisición	Resolución Espectral	Resolución Espacial	Productor	Formato de Imagen
Escáner multiespectral MSS-1	165_172	Enero 2013	3 bandas Espectrales y 1 imágenes infrarrojas	10 m Espectrales y 2,5 m pancromática	ABAE (Agencia Bolivariana de Actividades Espaciales)	Geo.Tiff

F.- Estudio de Geomorfología:

F.1.- Modelo digital de elevación: expresa de manera completa y continúa la altura del terreno sobre el nivel del mar. La cuenca tiene una forma alargada de Sur Norte y estrecha de Este a Oeste

F.2.- Perfiles topográficos del terreno: Es el corte que se obtiene seccionando transversalmente las líneas de un mapa de curvas de nivel. Este elemento es comúnmente empleado en la caracterización de recursos naturales (suelos, vegetación, entre otros) especialmente en la construcción de vialidad corredores y tendidos eléctricos. Para la cuenca se utilizaron 4 perfiles como se observan en la Tabla III.12

Tabla III.12. Perfiles de la cuenca.

Perfil	Ubicación	Msnm
A	Suroeste a Noreste (19km)	1772-20
B	Oeste-Este (6 km) En el norte	500-450
C	Oeste-Este (6 km) En el centro	650-550
D	Oeste-Este (6 km)En el Sur	1200

F.3.- Clases de pendientes: es este estudio es preponderadamente accidentada casi el 45 % pasan de 45% de pendientes con severas y muy severas y el 85% tienen 20% o más de pendiente con fuertes y más limitaciones. Adicionalmente, es un factor físico – natural de importancia en los procesos erosivos. Como se observa en la Tabla III.13

Tabla III.13. Clases de pendientes.

CLASE (%)	%	ha	%
Sin limitaciones	0-2	176	2
Muy ligeras limitaciones	2-4	0	0
Ligeras limitaciones	4-8	95	1
Moderadas limitaciones	8-20	1051	12
Fuerte limitaciones	20-45	3562	41
Severa limitaciones	45-60	1923	22
Muy severa limitaciones	>60	1938	22
Total		8745	100

G.- Estudio del clima:

Existen dos estaciones dentro de la Cuenca, pero cuentan con solo dos años de registros. Para la variable precipitación, hay 10 estaciones climáticas en la periferia. Por contar con mas de 20 años de registro se escogieron: la Justa, El Dique, Palmichal y el Palito. De ellas por interpolación lineal se obtuvo un mapa de isoyetas. Con fines de Temperatura hay 5

estaciones con registros de valores medios, máximos y mínimos, pero por distancia y años de registro solo se emplearon La Justa y Palmichal. Con ellas se derivó un gradiente térmico (altura vs temperatura) y se estimó la temperatura según la altimetría de la cuenca. Las Zonas de Vida (Holdridge) se establecieron con la temperatura y la precipitación combinadas con los pisos altitudinales. Para la estimación de la Evapotranspiración, se empleó Penman- Monteith, usando insolación, temperatura, humedad relativa y viento. La estimación del número de meses húmedos se efectuó sobre las estaciones usadas en precipitación, calculando los días húmedos, donde la ETP es mayor que la precipitación. Por interpolación lineal entre estaciones se derivó el mapa de meses húmedos.

Se detallan a continuación:

G.1.1.- Precipitación: En la cuenca se ubican dos estaciones climatológicas instaladas. No obstante son de reciente funcionamiento, y por tanto, sus registros no tienen una longitud adecuada para ser empleados en análisis climáticos (pues constan de dos años o menos). Existen registros provenientes de 10 estaciones con registro de precipitación, todas ubicadas en la vertiente del mar caribe de la serranía del litoral los registros disponibles son heterogéneos en calidad y periodo. Algunos de ellos carecen longitud de registros necesaria para ser empleados. En Tabla III.14 se muestra la identificación y periodos disponibles de registros. Para efectos de análisis y caracterización de precipitación se emplearon registros mensuales: Fue posible emplear registros con periodo coincidente (1992-2014) se consideró emplear sus registros con el fin de representar las áreas más cercanas a la costa. El número de años de registro, a pesar de la diferencia de periodo se considera suficiente para obtener estadísticas manejables; ya que para la precipitación según la Organización Mundial de Meteorología recomienda 30 años.

G.1.2.- Temperatura: existen en un radio de 13 km cinco estaciones como se observa en la Figura III.3. En Tabla III.15 se presentan datos concernientes a estas estaciones. Dada la serie de registro y la distancia a la cuenca se emplearon solo dos estaciones. Con los

gradientes obtenidos se estimaron valores según la altimetría de la cuenca. Los gradientes tienen la forma de:

$$T_x = g \cdot E + T_b \quad (III.1)$$

Tabla III.14. Estaciones con registros de precipitación.

Estación	Serial	Altitud	Coordenadas		Registros		Institución
			Este	Norte	Periodo	Años	
Dique		40	-68.2010	10.4638	1992-2013	22	Palmichal
Cambur	406	80	-68.0900	10.3910	1965-1997	33	Minamb
Castaño	1338	150	-68.0800	10.3500	1951-1955	5	Minamb
Palito	1325	20	-68.1089	10.4814	1943-1965	23	Minamb
Justa		280	-68.2221	10.3874	1988-2013	26	Palmichal
Morón	1335	3	-68.1800	10.5160	1959-1970	12	Minamb
Moron	1337	20	-68.2000	10.4890	1952-1964	13	Minamb
Moron							
Dique	1340	30	-68.1900	10.4660	1963-1990	28	Minamb
Morón							
Oficina	1301	27	-68.2000	10.4870	1966-1980	15	Minamb
Palmichal	6380	1000	-68.2352	10.3135	1988-2013	26	Palmichal

Donde:

T_x: temperatura asociada a un valor de elevación (° C)

E: elevación del punto donde se estima la temperatura (m)

g: gradiente altotermico o pendiente de la línea E vs T (°C m⁻¹) obtenido como:

Tabla III.15. Datos de las estaciones con registros de temperatura.

Estación	Serial	Altitud	Coordenadas		Registros		
			Este	Norte	Periodo	Años	Distancia cuenca(km)
Justa	S/S	280	-68.2221	10.3874	1988-2013	26	3,7
Palmichal	6380	1000	-68.2352	10.3135	1988-2013	26	6,6
San Esteban	1390	60	-68.01	10.416	1971-1982	12	12,1
Base Nava	1328	2	-67.990	10.490	1963-1989	26	11,3
Morón	1335	3	-68.1800	10.5160	1959-1963	5	5,3

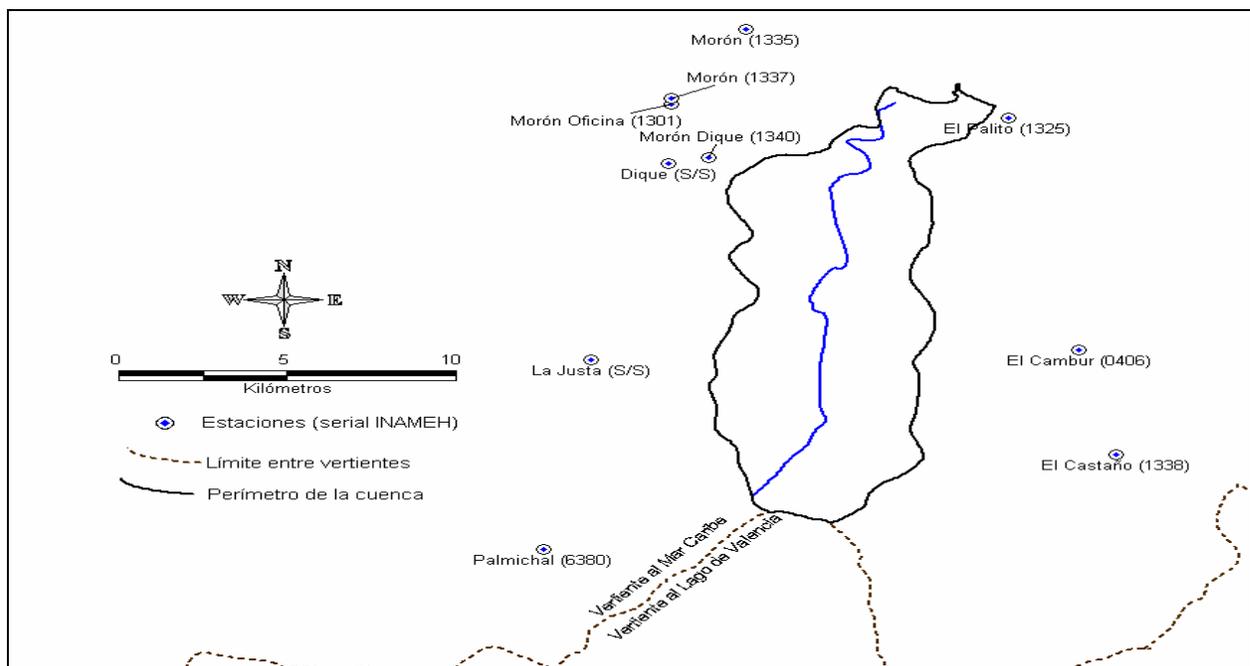


Figura III.3. Esquema representando las estaciones climatológicas disponibles para medir temperatura

H.- Zonas de Vida: Se establecieron como una combinación de la temperatura y la precipitación, según se establece en Holdrige, 1987. Aplicando una combinación de la temperatura y la precipitación. En la cuenca no se producen temperaturas por debajo de cero, ni superiores a 40 °C (según información anterior, A, B, C, D, E Y E) por lo tanto, la

biotemperatura se asumió igual a la temperatura media anual. Se estableció el piso de límites altitudinales. La conversión de la temperatura límite entre pisos a valor de latitud equivalente en Tabla III.16.

Tabla III.16. Caracterización de las zonas de vida.

Bosque	Ha	mm anuales	% espacio
Muy seco-seco	354	<1000	3,6
Seco	5780	1000-1300	58,6
Húmedo premontano	3073	>1300	31,2

I.- Estudio de suelo

I.-1.- Materiales y métodos empleados

La caracterización natural que se realizó permitió definir unidades que sirvieron para las potencialidades de cada sector mediante el análisis de elementos (vegetación, clima, geomorfología y suelos) correlacionando los diversos elementos analizados para observar su forma de integración y manifestación en el paisaje.

Se utilizó como metodología “Proposición de metodología para estudios de suelos altos” (San Cristóbal, 1980) la cual establece tres categorías y tiene su definición en base a su tiempo de ejecución, como son:

- Sistema de relieve, unidades geomorfológicas escala 1:25.000
- Unidades de relieve, subdivisiones del sistema escala 1:50.000 O 1:100.000
- Forma y posición, subdivisiones de las unidades escala 1:25.000

Se realizó de la siguiente manera:

- Fase preparatoria: análisis del material cartográfico disponible. Para generarlo se requirió elementos básicos como: curvas de nivel, red hidrográfica, perímetro de la cuenca, el procedimiento se basó en el modelo desarrollado por Hutchinson (1988). Luego de contar con el modelo digital de elevación se desarrollaron los mapas de clases de pendiente, clases fisiográficas utilizando los mapas de geomorfología y cartas geográficas.

- Delimitación de las unidades Geomorfológicas: se realizó a través del material cartográfico disponible el cual se basó en el relieve. Se realizó mapa de geomorfología.
- Reconocimiento de campo: para verificar el mapa de geomorfología.
- Fase de levantamiento: Con las transectas ya definidas anteriormente se caracterizó las diversas unidades geomorfológicas.
- Fase de laboratorio: Análisis físico químico de las muestras de suelo (análisis de rutina, ph, textura, P, Ca, Materia orgánica, sales, capacidad de intercambio y cationes intercambiables) (laboratorio de suelos CENIAP, 2015)
- Análisis y procedimiento de la información en campo: revisión de plantillas de descripción de suelo, ubicación de mapas de perfiles, y clasificación taxonómica (de acuerdo a los resultados del laboratorio), conformación de unidades de suelo y evaluación de tierra según su uso.

J.- Mitigación de emisiones del sector mar.

J.1.- Batimetría de la zona área de aproximación y maniobras de la Refinería El Palito. El conjunto de mediciones estuvieron basadas en la realización de:

- Secciones topo-batimétricas georeferenciadas, en forma de cuadrículas en el área determinada dentro de un área de 2.000,00 ha que conforman la zona de navegación de la refinería propiamente dicha.
- Medición y análisis de marea en un punto determinado y comparación con la data histórica del mareógrafo ubicado en el puerto de La Guaira.
- Adquisición de la data de profundidad efectuando marcaciones en el ecograma de manera automatizada, grabando eventos cada 10 segundos, y registrándose la posición horizontal en coordenadas UTM.

- Las profundidades fueron medidas con ecosonda electrónica calibrada de registro contiguo. La información se registró de forma digital en un computador que almacena todos los datos de posición como los de la profundidad, con una densidad mayor de diez (10) mediciones por eventos.
- Por otra parte se efectuó un estudio Geofísico en unas 2.000,00 ha (misma zona definida por el estudio batimétrico), mediante el empleo de un Side Scan Sonar y un magnetómetro.
- En la zona conformada por los Muelles Nos 1 y 2, se efectuaron mediciones batimétricas y geofísicas a un mayor detalle.

•
Con levantamiento Batimétrico del área de influencia en 2.000,00 ha, mediante líneas transversales, coincidiendo con la dirección este-oeste, en los alrededores de los Muelles N^{os} 1, 2, 3 y 4; empleando un sistema automatizado para levantamientos hidrográficos.

Se adoptó el procedimiento metodológico ilustrado (Flujograma) en la Figura III.4, que tiene como característica el desarrollo simultáneo de algunas fases, de forma tal que se superponen y retroalimentan continuamente, dentro del proceso global de desarrollo del estudio. Se levantó información en el área del proyecto tanto para los aspectos físico-naturales, como socioeconómico, se logró completar datos para la caracterización físico natural y socioeconómica y de sensibilidad ambiental.

Una vez recopilada toda la información necesaria, se procedió a realizar la caracterización y sensibilidad ambiental, incluyendo compilaciones de información de línea base y cartografía. Obteniendo la información cartográfica y bibliográfica e interpretación de sensores remotos para la elaboración de los diversos mapas temáticos preliminares, para luego realizar una caracterización físico natural y socioeconómica definitiva, con ello se elaboran los mapas definitivos del área y la respectiva sensibilidad ambiental, donde se identifican, describen, evalúan y jerarquizan los diversos impactos ambientales. Luego, se describen las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación, para concluir con los lineamientos del Programa de Seguimiento Ambiental y el Plan de Supervisión Ambiental, respectivamente.

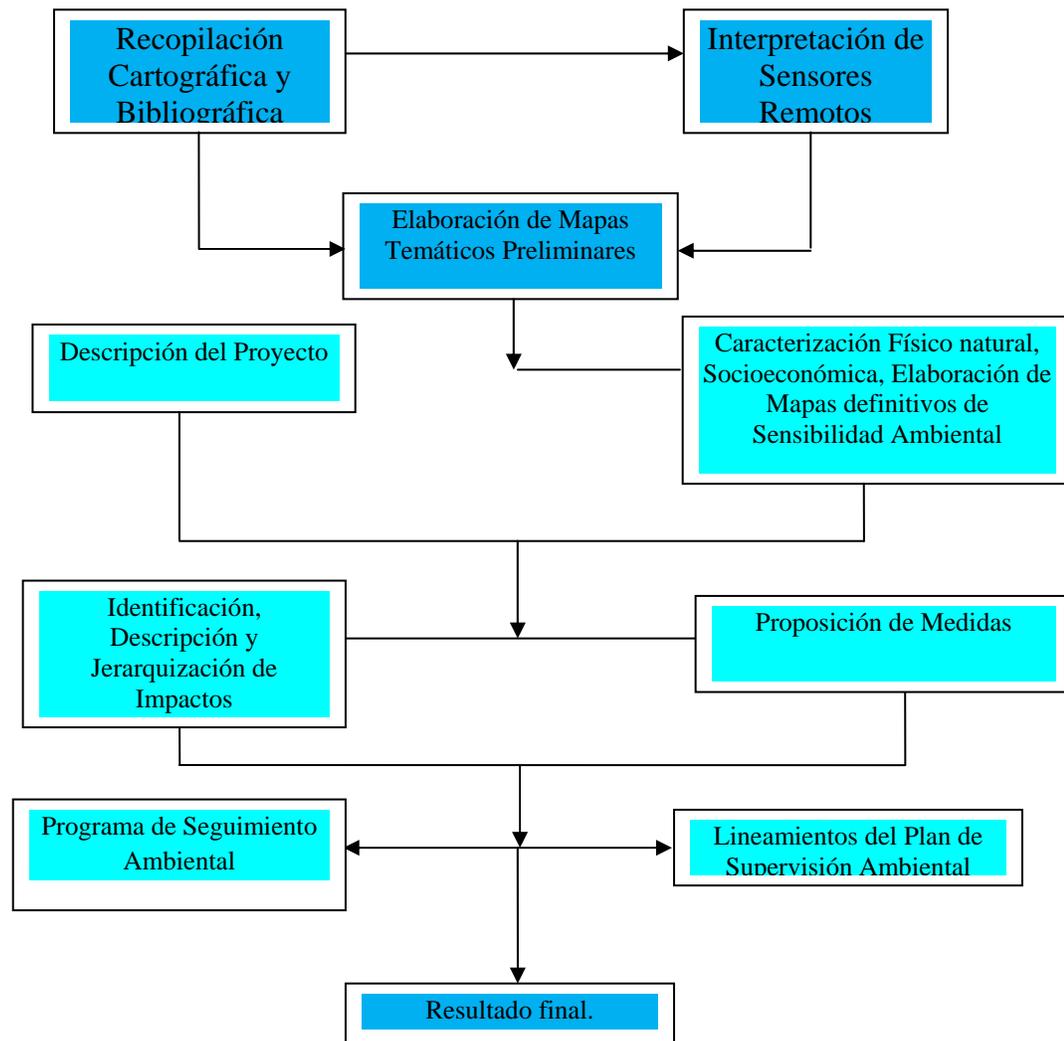


Figura III.4. Procedimiento Metodológico para estudio en el mar.

III.3.3.3. Compilación y análisis de información de campo y cartográfica a través de un Sistema de Información geográfica basada en Qgis

Como se observa en las Figura III.5 y III.6, se realizó de la siguiente forma:

- Cartografía nacional, a través de la gestión de base de datos
- Geodesia, teledetección y geomatica para conseguir el sistema de información geográfica.

Captura: Se aplicaron métodos y técnicas que permitieron la recolección de datos. Tales como:

- Mapas rasterizados o escaneados
- Teledetección (Imágenes, Lidar, Fotogrametría, etc.)
- Levantamientos topográficos
- Mediciones GNSS

Almacenamiento: Se integraron los datos de manera tal que permitan su resguardo, consulta y mantenimiento. El SIG están constituidos por dos Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD); uno gráfico y otro alfanumérico, razón por la cual ofrece mayores ventajas respecto a otros sistemas.

Procesamiento: Se combinaron los datos y la aplicación de herramientas matemáticas (algoritmos), con la finalidad de generar salidas o productos que puedan prestarse para realizar análisis sobre ellos.

Visualización: Son los diferentes mapas, tablas o gráficos. Dicha información permite percibir visualmente los resultados de todas las fases de un SIG.

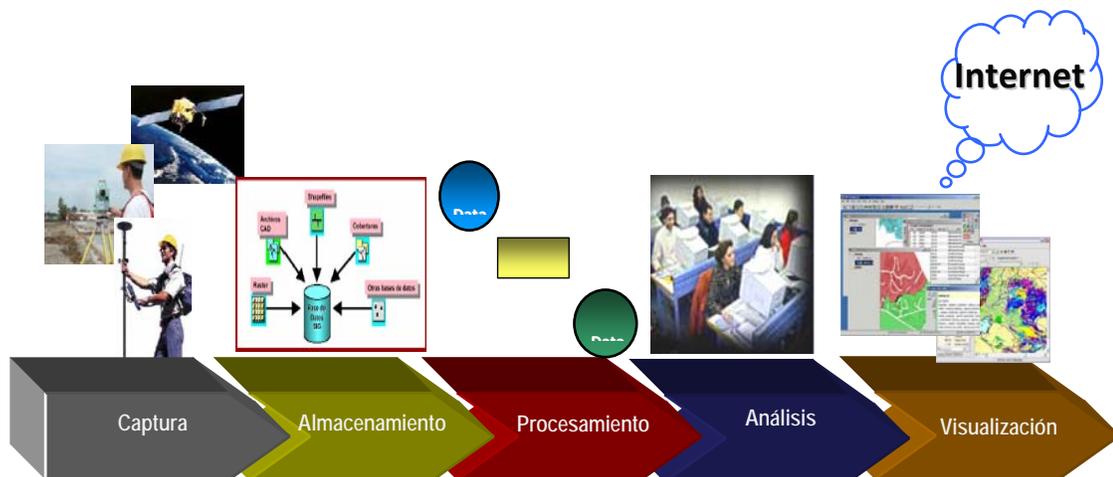


Figura III.6. Fases aplicadas en la elaboración del Sistema de información geográfica.

La conexión WMS-SAPCO con Qgis, se realizó de la siguiente forma:

- Abrir Qgis con toda la información cargada.
- Se escoge la capa WMS.
- Se abre nueva capa de WMS.

- Se configura la capa conexión Huso 19.
- Se descarga la información al sistema.
- Se visualiza ambos sistemas en paralelos.

El Simulador utilizado en PDVSA es el SAPCOD, el cual usa una metodología general con una matriz de acción donde se debe tener la siguiente información: tipo de producto, tiempo de ocurrencia, clima, punto central, volumen derramado, tipo de suelo, adherencia superficial, modelo de elevación digital y tamaño de la malla.

En el se puede obtener: saltar represamiento, trayectoria lineal y progresiva de derrame. También se puede alinear con un SIG y QuantusGis. Con imágenes satélites se pueden realizar monitoreos.

Como resultado de las alineaciones se puedo obtener:

- SIG capas y proyectos. Por ejemplo: división estatal, centro poblados. Capitales de municipio, capital de estados, hidrografía, troncal, vialidad, cuerpos de agua, países vecinos, entre otros.
- Índice de vegetación de diferencia normalizada. (NDVI)
- Análisis de terreno relieve (incluyendo: pendientes e índices).

Para los análisis del simulador se tiene:

- Simulación Raster: hacia donde va el derrame a través de las interacciones. Utilizando: vecinos mas cercanos con el centroide del vecino mas cercano, proporción del flujo, tabla de adherencia, perdidas totales (cuadro resumen del derrame), flujo divergente y convergente.
- Saltar represamiento: se aplica sino se controla la fuente o llueve. Permite verificar el recorrido. Utilizando: Vecino mas cercano (colocando el valor donde ocurre el derrame), Valor ajustado del derrame (obtener valores reales) y colocar siempre el peor escenario.
- Trayectoria lineal: no se colocan valores lo hace por defecto. Iteraciones con respecto a las alturas. Coordenadas desde el centroide de la inicial.
- Progresivas: tomando punto de referencia dependiendo de lo que se quiera.

Recomendaciones en el momento de usar el simulador:

- Aguas aceitosas se simula como gasolina. Pero aumentando 3 veces el tiempo de ocurrencia. Es importante la trayectoria.
- Suelos revestidos: suelos ligeros.
- Simular de menor a mayor cantidad, para analizar el crecimiento de la mancha.

Después de obtener datos sobre simulación es necesario ubicar puntos de control y realizar planes locales para la atención de derrames la finalidad es: prevenir ocurrencias, ejecutar actividades, no tener actividades específicas, ni acciones de remediación.

La estructura básica del plan sería: Objetivo, alcance, análisis de riesgos de derrame (posibles fuentes) y recursos en riesgos (simulación del entorno), organización, roles y responsabilidades, proceso de notificación (internas y externas), PCP, asuntos públicos, operadores custodio (control de la fuente) y anexos (marco legal, definiciones, directorio telefónico, inventario de equipos y formatos).

Geocanaima: Es un proyecto en desarrollo para crear el SIG Venezolano auspiciado por la comunidad software libre venezolana Canaima. Una materialización de ello la encontramos en la distribución para creación de estaciones de trabajo SIG libre en: <http://canaima.softwarelibre.gob.ve/descargas/live-dvd-geocanaima> En el geoportal Simón Bolívar http://www.geoportalsb.gob.ve/geoportal_sitio/.

III.3.4.- Modelos que permitan la cuantificación y validación del CO₂ en la zona de estudio.

III.3.4.1.- Modelos de cuantificación de CO₂ en Tn/año

El CO₂ no tiene valores límite de emisión o inmisión ya que no se trata de un gas tóxico o nocivo para la salud, sino de una sustancia que contribuye a la existencia del denominado "Efecto Invernadero", de carácter global. Con las ecuaciones e información recopilada se predicen los valores de gases.

Estructura de los modelos: en ambos casos se tiene como función el estudio de la dispersión de gases. Como se muestra en la figura III.7.

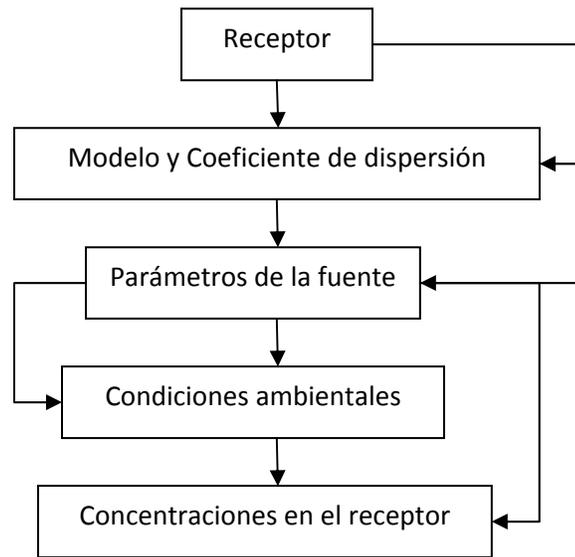


Figura III.7. Flujograma de cálculo de los modelos.

Se desarrollaron dos modelos que sirven para cuantificar y caracterizar las emisiones gaseosas de la zona en estudio. Dichos modelos fueron validados comparando sus resultados con los valores reales tomados en el campo. Para el logro de este objetivo, las actividades realizadas fueron:

- Establecimiento de los parámetros y variables a emplear en el diseño conceptual del modelo a través de:
 - Recopilación de la información y datos requeridos
 - Construcción del modelo conceptual.
 - Estudio de los distintos modelos (AERMOD, CALPUFF, BLP, CALINE3, CAL3QHC y ISC-PRIME) de dispersión de gases.
 - Construcción de los algoritmos y sumario de datos.
 - Validación del modelo conceptual construido, por medio de sus características matemáticas y probabilísticas, determinándose su adaptabilidad en la aplicación de los parámetros y variables pertenecientes a la Simulación.

- Recorrido estructurado del modelo conceptual.
- Búsqueda de errores u omisiones en el modelo conceptual.
- Programación del modelo y verificación (depuración) del código de programación.
- Realización de pruebas del modelo desarrollado con la data recopilada de CO₂, validando los resultados obtenidos con respecto a mediciones efectuadas en vivo en la zona de estudio, para determinar su fidelidad y precisión.

El Modelo A de cuantificación de CO₂, se desarrolló basado en la cuantificación y validación de los gases de CO₂ en la zona de estudio, a partir de los escenarios preestablecidos (Acevedo y Niño; 2013) de peligros ambientales: catastróficos y no catastróficos en donde se utilizaron datos de la actividad (consumo, producción, características del gas, entre otros).

Se calcularon las emisiones totales de CO₂ liberadas a la atmósfera como resultado del consumo de combustibles por parte de la refinería en estudio, a partir de balance de masa global en la planta (Acevedo y Niño; 2010). Posteriormente, se procedió a estimar la capacidad de absorción de CO₂ de los distintos usos de suelo presentes en la zona de estudio y se relacionaron las emisiones totales de CO₂ con la capacidad de absorción de dicha zona, lo que dio como resultado una primera aproximación a la subhuella de absorción de CO₂. Para ello se debió:

Para poder estimar las emisiones de CO₂ originadas por el consumo de gas combustible, se procedió a calcular el consumo total de gas natural (PDVSA, 2013) con su poder calorífico para, posteriormente, combinarlo con el valor de factor de emisión y así determinar la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera.

Se cuantificaron las emisiones en la refinería; utilizando los datos provenientes de la misma para el año 2013. En la Refinería El Palito se desarrollan las actividades en cuatro unidades de negocio: Destilación y Especialidades, Conversión y Tratamiento, Servicios Industriales

y Movimiento de Crudo y Productos (M.C.P.); agrupando características similares se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2(\text{TR}) = & \text{CO}_2(\text{H}) + \text{CO}_2(\text{C}) + \text{CO}_2(\text{M}) + \text{CO}_2(\text{G}) + \text{CO}_2(\text{ME}) + \\ & \text{CO}_2(\text{V}) + \text{CO}_2(\text{RG}) + \text{CO}_2(\text{IA}) \end{aligned} \quad (\text{III.2})$$

Dónde: CO₂: dióxido de carbono o gas carbónico, H: horno, C: compresores, M: motores, G: Generadores, M: mechurrios, V: venteos y IA: incinerador de azufre.

Para estimar el consumo total de gas natural es necesario estudiar las fuentes generadoras individuales con su poder calorífico para, posteriormente, combinarlo con el valor de factor de emisión y así determinar la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera. Para ello:

$$\text{CO}_2(\text{H}) = ((d_{(g/l)}) * \text{CG}_{(\text{Mpies}^3/\text{día})} / * \text{D}_{\text{OP}} (\text{Días/año})) \quad (\text{III.3})$$

Transformamos lo anterior a (Tn/Año) queda:

$$\text{CO}_2(\text{H}) = ((3,67 * \text{T}_c * 0,76 * d) * \text{CG}) / 35,3 * \text{D}_{\text{OP}} \quad (\text{III.4})$$

Donde F 3,67; F₁ 0,76 ; F₂ 35,3; TC tipo de calentamiento ; d densidad; Dop días de operación; F: factores de conversión; V/V: % porcentaje de Volumen

De la misma forma anterior se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{CO}_2(\text{C}) = ((F * \text{T}_{\text{CO}} * F_1 * d) * \text{CG}) / F_2 * \text{D}_{\text{OP}} \quad (\text{III.5})$$

$$\text{CO}_2(\text{M}) = ((F * F_1 * d) * \text{CG}) / F_2 * \text{D}_{\text{OP}} \quad (\text{III.6})$$

$$\text{CO}_2(\text{G}) = ((F * F_1 * d) * \text{CG}) / F_2 * \text{D}_{\text{OP}} \quad (\text{III.7})$$

$$\text{CO}_2(\text{MF}) = ((F * F_1 * d) * \text{CG}) / F_2 * F_4 \quad (\text{III.8})$$

$$\text{CO}_2(\text{V}) = \text{CG} / F_2 * F_4 * D * \% \text{w/w} / F_{10} \quad (\text{III.9})$$

$$\text{CO}_2(\text{IA}) = \% \text{V/V} * \text{F11} * \text{FS} \quad (\text{III.10})$$

A fin de implementar este cálculo se realizó una plantilla en ‘Microsoft Excel’ para evaluar de manera general las emisiones de CO₂ de las actividades de la industria.

El Modelo B de cuantificación de CO₂ desarrollado fue basado en una simulación del proceso de combustión del gas natural y gas combustible. En la Tabla III.17 se indica el gas compuesto utilizado para la simulación del proceso de combustión.

Tabla III.17. Composición del Gas Natural utilizado en la simulación

Composición	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂
% Volumen	90,87	6,19	0,27	1,88	0,79

Se propone el sistema simplificado de reacciones linealmente independientes, que se llevan a cabo en la cámara de combustión:



El nitrógeno contenido en el gas natural se comporta como inerte en el proceso de combustión, ya que la formación de óxidos de nitrógeno no afecta la cantidad de aire necesario para la combustión ni la cantidad de gases de combustión producidos. Sin embargo desde el punto de vista ambiental es importante considerar la formación de dichos óxidos por la contaminación que producen los mismos.

Dado que para las reacciones de combustión la constante de equilibrio es sumamente grande, pueden considerarse a las reacciones (III. A) a (III.B) como irreversibles y de primer orden (Zekely et al., 1976; Levenspiel, 1987).

Para el cálculo de las propiedades fisicoquímicas de las corrientes de gas natural y de aire a distintas condiciones de presión y temperatura, se seleccionó a la ecuación de Peng Robinson como ecuación de estado, por ser la más estable y la que aplica en los procesos de Refinación.

La estructura básica que se aplica para determinar los valores del proceso simulación consiste en tres etapas: 1) formulación del problema; 2) simulación del proceso (cálculo); y 3) análisis de resultados. Los hidrocarburos (corriente: Gas) y el aire (corriente: Aire) son combinados en un mezclador y la corriente mezclada (Mezcla) es alimentada al reactor que opera a presión atmosférica, siendo nula la corriente líquida de salida del reactor (Líquido). Por otra parte, esta expresión produce mejores resultados cuando se aplica a condiciones atmosféricas inestables, por las razones indicadas anteriormente.

III.3.5.-Formular planes de educación ambiental, contingencia y emergencia con respecto a las emisiones de CO₂ en la zona de estudio.

Consistió en lo siguiente :

- Se realizaron treinta reuniones, charlas y talleres con las empresas y comunidades potencialmente afectadas por las emisiones gaseosas de la zona de estudio, para darles a conocer de las técnicas de prevención, control y mitigación de posibles impactos ambientales en la zona.
- Seis diagnósticos socioeconómico y cultural de las comunidades aledañas.
- Quince estudios ambientales (calidad de aire y emisiones atmosféricas) y sociales (condiciones sociales, culturales y económicas de la comunidad). Mediante la relación estratégica con asesorías técnica del más alto nivel realizando estudios y la organización de talleres y reuniones técnicas.

- Conformación de 6 mesas de trabajo empresas-comunidades para capacitar las comunidades e incorporar las comunidades en los desarrollos de planes que permitan el aumento de la calidad de vida de los habitantes en el aspecto ambiental contribuyendo a la cartera de proyectos determinando las prioridades de acción y de investigación.
- Identificaron de 15 acciones y formulaciones de programas promoviendo el desarrollo de proyectos pilotos que sean rentables, utilizando metodologías aceptables en el marco del Protocolo de Kioto y que generan reducciones de emisiones o fijación de carbono verificables. Este apoyo se proporcionó mediante asistencia técnica y a través del financiamiento de la cuantificación y certificación de reducción en emisiones.
- Se estructuró un plan de manejo integral de cuencas hidrográficas incorporando las comunidades.

CAPÍTULO IV: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo experimental de esta investigación, así como las deducciones a las que se llegaron luego del análisis de dichos resultados.

IV.1. Principales fuentes y cuantificación de gases

Las Tabla IV.1 y IV.2 indican los sitios seleccionados dentro y fuera de la Refinería. Se ubicaron los posibles puntos diseño de la red de monitoreo de calidad del aire que se observan en la Figura IV.1.



Figura IV.1.- Ubicación de posibles puntos.

La concentración máxima se calculó promediado las tres concentraciones más altas de las Tablas IV.1 y IV.2. Se puede decir que los puntos seleccionados dentro de la Refinería fueron: B, M y N (B, en los tanques de crudo; M, en el área de proyecto de expansión y N, área del club social) y los puntos fuera de la Refinería fueron: K y O (K; edificio administrativo al lado de la autopista y O; área sur, lugar de almacenamiento de desechos).

Tabla IV.1.- Criterios de Selección dentro de Refinería

Estaciones de monitoreo dentro de Refinería					
Sitios potenciales	Criterio de Selección				Selección del sitio
	Nivel de contaminación	Disponibilidad del sitio	Interferencia ambiental	Población	
A	A	M	B	B	NO
B	A	M	A	B	SI
C	A	B	A	B	NO
D	A	M	M	B	NO
E	A	B	A	B	NO
G	A	B	A	B	NO
H	M	M	A	B	NO
I	A	B	A	B	NO
J	A	B	A	B	NO
M	M	A	M	A	SI
N	M	A	A	A	SI
P	B	M	A	B	NO
Q	B	M	A	B	NO

Bajo-B, Medio-M, Alta-A si-aprobado NO-rechazado

Tabla IV.2.- Criterios de Selección fuera de Refinería

Estaciones de monitoreo fuera de Refinería					
Sitios potenciales	Criterio de Selección				Selección del sitio
	Nivel de contaminación	Disponibilidad del sitio	Interferencia ambiental	Población	
F	A	B	M	B	NO
K	A	A	M	B	SI
L	A	B	A	B	NO
O	M	B	A	A	SI
P	B	M	M	B	NO
Q	B	M	M	B	NO

Bajo-B, Medio-M, Alta-A si-aprobado NO-rechazado

En los puntos seleccionados se realizó un estudio de la calidad de aire en las adyacencias de Refinería El Palito, como se observan en la tabla IV.3, IV.4 y IV.5. Los valores presentados son promedios de 20 muestras captadas mensualmente comprendidos en el periodo 2010-2014. Se presentan los datos correspondientes a los siguientes parámetros: Dióxido de nitrógeno, Dióxido de azufre y Sulfuro de hidrogeno. Comparando los valores con el Decreto N° 638, artículo 3 “Normas sobre calidad del aire y el control de la contaminación atmosférica” de fecha 19 de mayo de 1995, publicada en Gaceta oficial N° 4899. Además se presentan las curvas de calibración de los equipos de muestreo y métodos analíticos utilizados en el estudio (Anexo B).

Los resultados mostrados en la Tabla IV.3 permiten observar que la norma de 75 ug/m^3 se excede en todos los puntos, y en el punto K, se exceden en todas las concentraciones se presume que es por el aporte de la autopista.

Los resultados presentados en la tabla IV.4 demuestran que no supera ninguno de los puntos de muestreos los porcentajes de excedencia especificada en el Decreto N° 638. Se registraron valores por debajo del límite de detección del método 9 ug/m^3

En la tabla IV.5 se observa que para el dióxido de azufre no supera ninguno de los puntos de muestreos el porcentaje de excedencia especificado en el Decreto N° 638. Se registraron valores por debajo del límite de detección del método 25 ug/m^3

Tabla VI.3.- Resultados de estudio de partículas totales suspendidas, en las adyacencias de Refinería. Periodo desde 2010 hasta 2014

Año	Decreto N° 638		B	M	N	K	O
	Concentraciones (ug/m ³)	% de excedencia	Tanques de crudo	Área de proyecto de expansión	Área del club social	Edificio administrativo al lado de la autopista	Área sur
1	75	50	100	95	95	100	95
	150	5	0	0	0	85	0
	200	2	0	0	0	40	0
	260	0,5	0	0	0	10	0
2	75	50	105	90	90	90	105
	150	5	0	0	0	90	0
	200	2	0	0	0	45	0
	260	0,5	0	0	0	15	0
3	75	50	95	93	93	95	93
	150	5	0	0	0	80	0
	200	2	0	0	0	35	0
	260	0,5	0	0	0	5	0
4	75	50	102	97	97	102	97
	150	5	0	0	0	80	0
	200	2	0	0	0	87	0
	260	0,5	0	0	0	12	0
5	75	50	100	95	95	100	95
	150	5	0	0	0	85	0
	200	2	0	0	0	40	0
	260	0,5	0	0	0	10	0

Tabla VI.4.- Resultados de estudio de Dióxido de nitrógeno (NO_x) forma de NO₂, en las adyacencias de Refinería. Periodo desde 2010 hasta 2014

Año	Decreto N° 638		B	M	N	K	O
	Concentraciones (ug/m ³)	% de excedencia	Tanques de crudo	Área de proyecto de expansión	Área del club social	Edificio administrativo al lado de la autopista	Área sur
1	100	50	0	0	0	0	
	300	5	0	0	0	0	0
2	100	50	0	0	0	0	0
	300	5	0	0	0	0	0
3	100	50	0	0	0	0	0
	300	5	0	0	0	0	0
4	100	50	0	0	0	0	0
	300	5	0	0	0	0	0
5	100	50	0	0	0	0	0
	300	5	0	0	0	0	0

Tabla VI.5.- Resultados de estudio de Dióxido de azufre (SO₂), en las adyacencias de Refinería. Periodo desde 2010 hasta 2014

Año	Decreto N° 638		B	M	N	K	O
	Concentraciones (ug/m ³)	% de excedencia	Tanques de crudo	Área de proyecto de expansión	Área del club social	Edificio administrativo al lado de la autopista	Área sur
1	80	50	0	0	0	0	0
	200	5	0	0	0	0	0
	250	2	0	0	0	0	0
	265	0,5	0	0	0	0	0
2	80	50	0	0	0	0	0
	200	5	0	0	0	0	0
	250	2	0	0	0	0	0
	265	0,5	0	0	0	0	0
3	80	50	0	0	0	0	0
	200	5	0	0	0	0	0
	250	2	0	0	0	0	0
	265	0,5	0	0	0	0	0
4	80	50	0	0	0	0	0
	200	5	0	0	0	0	0
	250	2	0	0	0	0	0
	265	0,5	0	0	0	0	0
5	80	50	0	0	0	0	0
	200	5	0	0	0	0	0
	250	2	0	0	0	0	0
	265	0,5	0	0	0	0	0

En la tabla IV.6 se observa que ninguno de los puntos de muestreos supera los porcentajes de excedencia especificados en el Decreto N° 638. Las concentraciones medias están por debajo del límite de detección del método: 1 ppm.

Tabla IV.6. Resultados de estudio de Sulfuro de hidrogeno (H₂S), en las adyacencias de Refinería. Periodo desde 2010 hasta 2014

Año	Decreto N° 638		B	M	N	K	O
	Concentraciones (ug/m ³)	% de excedencia	Tanques de crudo	Área de proyecto de expansión	Área del club social	Edificio administrativo al lado de la autopista	Área sur
1	20	0,5	0	0	0	0	0
2	20	0,5	0	0	0	0	0
3	20	0,5	0	0	0	0	0
4	20	0,5	0	0	0	0	0
5	20	0,5	0	0	0	0	0

Para la caracterización de emisiones tales como monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Óxido de nitrógeno (NO_x, expresado como NO₂), y Dióxido de azufre (SO₂) la industria petrolera cuenta con tres tipos de procesos que se constituyen en fuentes de emisión: combustión, evaporativa y fugitiva, como se pueden observar en la Figura IV.2.

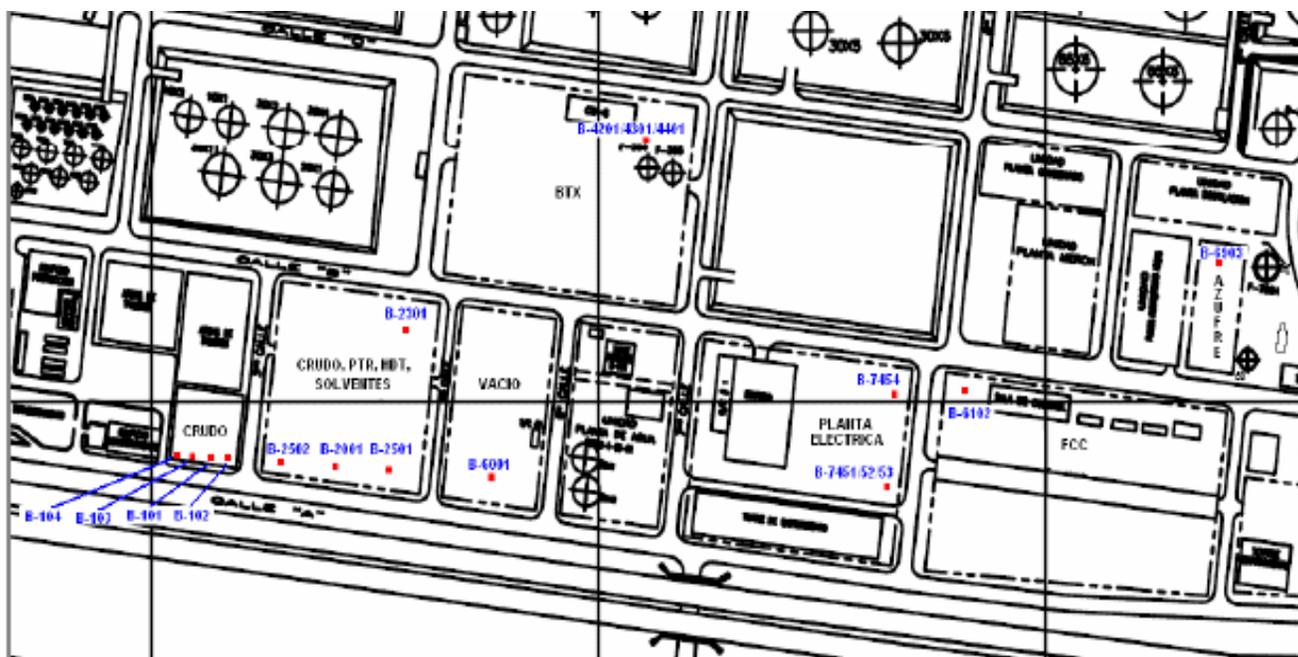


Figura IV.2. Ubicación de los puntos donde se realizó el muestreo en la Refinería El Palito

Para una mejor comprensión se colocó el nombre que poseen los equipos dentro de la distribución por diseño original de la planta:

- Destilación atmosféricas (DA) B-101, B-102 y B103
- Destilación a Vacío (DV) B-6001
- Reformación Catalítica: B-2001, B-2501 y B-2503
- Planta de BTX: B-4301 y B-4302
- Eléctrica: B-7451, B-7452, B-7453 y B-7454

De las muestras tomadas en los puntos indicados se obtuvo la concentración de CO indicada en la Tabla IV.8

Tabla IV.7. Concentraciones promedio anuales de CO emitidas. Periodo desde 2010 hasta 2014

PLANTA	1er Año			2do Año			3er Año			4to Año			5to Año		
	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	Ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³
Destilación Atmosférica															
B-101	16	51	22	18	65	23	16	51	22	18	65	23	18	65	23
B-102	9	23	12	10	25	14	9	23	12	10	25	14	10	25	14
B-103	640	1152	850	650	1400	860	640	1152	850	650	1400	860	650	1400	860
TOTALES			295			298			295			298			298
Destilación al vacío															
B-6001	85	85	125	90	90	124	85	85	125	90	90	124	90	90	124
Reformación catalítica															
B-2001	11	43	14	11	47	15	11	43	14	11	47	15	11	47	15
B-2501	4	18	6	4	20	7	4	18	6	4	20	7	4	20	7
B-2501	11	25	14	14	28	15	11	25	14	14	28	15	14	28	15
TOTALES			11			12			11			12			12
Planta de BTX															
B-4301	31	54	42	37	60	44	31	54	42	37	60	44	37	60	44
B-4401	4000	4500	4559	4000	4600	4659	4000	4500	4559	4000	4600	4659	4000	4600	4659
TOTALES			2350			2390			2350			2390			2390
Servicios Electricidad															
B-7451	47	58	62	50	59	62	47	58	62	50	59	62	50	59	62
B-7452	45	71	55	56	79	58	45	71	55	56	79	58	56	79	58
B-7453	54	73	71	60	80	72	54	73	71	60	80	72	60	80	72
B-7454	24	30	35	30	40	37	24	30	35	30	40	37	30	40	37
TOTALES			56			58			56			58			58

**** Promedio mensual.**

Tabla IV.8. Concentraciones promedio anuales de NOx (en forma de NO₂) emitidas. Periodo desde 2010 hasta 2014

PLANTA	1er Año			2do Año			3er Año			4to Año			5to Año		
	Ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³	ppm medidos	ppm 3% O ₂	mg/m ³
Destilación Atmosférica															
B-101	24	76	94	25	80	95	25	80	95	24	76	94	24	76	94
B-102	15	39	59	15	39	61	15	39	61	15	39	59	15	39	59
B-103	26	47	100	26	47	102	26	47	102	26	47	100	26	47	100
TOTALES			84			85			85			84			84
Destilación al vacío															
B-6001	22	20	92	23	19	92							22	20	92
Reformación catalítica															
B-2001	15	59	61	17	66	62	17	66	62	15	59	61	15	59	61
B-2501	7	32	30	8	41	32	8	41	32	7	32	30	7	32	30
B-2501	22	49	86	22	68	88	22	68	88	22	49	86	22	49	86
TOTALES			59			61			61			59			59
Planta de BTX															
B-4301	61	103	237	63	124	243	63	124	243	61	103	237	61	103	237
B-4401	27	30	103	28	39	42	28	39	42	27	30	103	27	30	103
TOTALES			170			175			175			170			170
Servicios Electricidad															
B-7451	69	84	268	70	89	270	70	89	270	69	84	268	69	84	268
B-7452	58	91	226	58	91	227	58	91	227	58	91	226	58	91	226
B-7453	84	110	323	84	110	320	84	110	320	84	110	323	84	110	323
B-7454	47	59	186	47	59	190	47	59	190	47	59	186	47	59	186
TOTALES			251			276			276			251			251

**** Promedio mensual.**

Tabla IV.9. Concentraciones promedio anuales de SOx (en forma de SO₂) emitidas. Periodo desde 2010 hasta 2014

PLANTA	1er Año		2do Año		3er Año		4to Año		5to Año	
	Lb/MMBtu	tons/año								
Destilación Atmosférica										
B-101	0,23	5504	0,25	5806	0,25	5806	0,23	5504	0,23	5504
B-102	0,11	527	0,12	540	0,12	540	0,11	527	0,11	527
B-103	0,14	2372	0,15	2590	0,15	2590	0,14	2372	0,14	2372
TOTALES		8403		8600		8600		8403		8403
Destilación al vacío										
B-6001	0,07	1604							0,07	1604
Reformación catalítica										
B-2001	0,16	2028	0,16	2028	0,16	2028	0,16	2028	0,16	2028
B-2501	0,1	174	0,15	195	0,15	195	0,1	174	0,1	174
B-2501	0,14	252	0,16	290	0,16	290	0,14	252	0,14	252
TOTALES		2454		2513		2513		2454		2454
Planta de BTX										
B-4301	0,31	373	0,32	398	0,32	398	0,31	373	0,31	373
B-4401	0,1	1120	0,13	1220	0,13	1220	0,1	1120	0,1	1120
TOTALES		1492		1618		1618		1492		1492
Servicios Electricidad										
B-7451	0,26	5282	0,27	5463	0,27	5463	0,26	5282	0,26	5282
B-7452	0,28	3558	0,28	3700	0,28	3700	0,28	3558	0,28	3558
B-7453	0,34	6348	0,35	6745	0,35	6745	0,34	6348	0,34	6348
B-7454	0,18	3554	0,2	4100	0,2	4100	0,18	3554	0,18	3554
TOTALES		18742		20008		20008		18742		18742

**** Promedio mensual.**

De acuerdo con los resultados mostrados en las Tabla IV.7, IV.8 Y IV.9, tomando como base el Decreto N° 638, Gaceta Oficial N° 4899 "Normas sobre la calidad de Aire y Control de la Contaminación Atmosférica", se puede indicar que:

1. Con respecto a los resultados obtenidos para gases de combustión, específicamente para el **Monóxido de Carbono (CO)**, se determinó que cumplen con el valor límite reglamentado establecido en el Decreto N° 638, de 400 ppm. El resto de los gases de combustión se pueden observar por equipo en cada una de sus corridas en el Anexo B.
2. En relación a los resultados obtenidos de Óxido de Nitrógeno (NO_x), expresados en NO₂, presentan concentraciones por debajo del límite permitido por el Decreto N° 638, que indica que no debe superar los 300 ppm para "Actividades sin Normas específicas", por lo cual cumplen con dicho Decreto.
3. Acerca del Dióxido de Azufre (SO₂) en las fuentes fijas analizadas, todas las concentraciones de las chimeneas están por debajo del límite de detección del equipo utilizado, por lo que las concentraciones son inferiores al límite de 5000 mg/m³ establecido para las actividades de refinación de Petróleo, cumpliendo con dicho Decreto.

En el anexo B se presentan los datos correspondientes a los parámetros siguientes: Volúmenes de aire aspirado, Concentraciones de Partículas Totales Suspendidas, Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre y sulfuro de hidrogeno; también se presentan los datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento). Se realizaron los gráficos correspondientes, comparado los valores obtenidos con los presentados en el decreto N 638 artículo 3. Además se presentan las curvas de calibración de los equipos de muestreo y métodos utilizados en el estudio. La Tabla IV.13 muestra un ejemplo de los cálculos realizados por equipo, los cuales se presentan en el Anexo B

IV.2. Evaluación conceptual de riesgos ambientales con respecto a los gases, estableciendo distintos escenarios del sistema.

IV.2.1. Análisis de peligros ambientales no catastróficos

En la tabla IV.10 se presentan los resultados del escenario 1 para peligros ambientales no catastróficos.

Tabla IV.10. Resultados escenario N° 1

Escenario	Contaminante de Aire	Tiempo Promedio	Concentración (mg/m ³)				
			Dentro de la Refinería	Fuera de la Refinería	Áreas Residenciales	Regulaciones Venezolanas (Decreto 368 art.10)	Estándares USEPA (40 CFR parte 50)
1	SO ₂	Anual	36	327	4	n/a	79
	PM ₁₀	Anual	7	33	1	n/a	50
	NO ₂	Anual	107	244	7	n/a	100
2	SO ₂	1-Hora	564000	742000	303000	n/a	n/a
		24-Horas	203000	308000	74500	80	367
	PM ₁₀	1-Hora	50	614	54	n/a	n/a
		24-Horas	28	289	15	75	150
	NO ₂	1-Hora	3160	11200	2610	n/a	n/a
		24-Horas	1100	4090	962	100	n/a
3	SO ₂	1-Hora	1050	742000	303000	n/a	n/a
		24-Horas	366	308000	74500	80	367
		Anual	36	327	4	n/a	79
	PM ₁₀	1-Hora	50	614	54	n/a	n/a
		24-Horas	28	289	15	75	150
		Anual	7	33	1	n/a	50
	NO ₂	1-Hora	740	3360	768	n/a	n/a
		24-Horas	399	1480	182	100	n/a
		Anual	105	239	7	n/a	100
Escenario Único	SO ₂	1-Hora	215	283	115	n/a	n/a
		24-Horas	77	117	28	0.03	0.14
		Anual	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	H ₂ S	1-Hora	215	283	115	n/a	n/a
		24-Horas	77	117	28	0.01	n/a
	Anual	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	

Se observa que el SO_2 en el aire excedería los estándares de USEPA en una localización fuera de la Refinería (es decir, en la colina inmediatamente al sur). Además, los resultados del modelo señalan que las concentraciones ambientales de NO_2 en el aire excederían los estándares de USEPA en una localización dentro y fuera del lugar de estudio. Sin embargo, ninguno de los estándares de USEPA sería excedido dentro de áreas de receptores sensitivos; es decir, dentro las áreas pobladas (residenciales). Como se observa en la tabla IV.11.

Tabla IV.11. Concentraciones obtenidas con escenario N° 1 para tres contaminantes

Contaminante de Aire	Tiempo Promedio	Concentración (mg/m^3)				
		Dentro de la Refinería	Fuera de la Refinería	Áreas Residenciales	Regulaciones Venezolanas (Decreto 368 art.10)	Estándares USEPA (40 CFR parte 50)
SO_2	Anual	36	327	4	n/a	79
PM_{10}	Anual	7	33	1	n/a	50
NO_2	Anual	107	244	7	n/a	100

Los resultados del escenario 2 se muestran en la Tabla IV.12, donde se observa que los estándares ambientales venezolanos de calidad de aire para PM serían excedidos en una localización fuera de la Refinería (es decir en las colinas inmediatas al sur). Además los resultados modelados señalaron que las concentraciones de SO_2 y NO_2 , en el aire ambiental exceden los estándares ambientales venezolanos de calidad de aire en localizaciones dentro, fuera del lugar de estudio y dentro de áreas residenciales.

Como puede verse en la Tabla IV.13 (Escenario 3) los estándares ambientales venezolanos de calidad de aire para PM, SO_2 y NO_2 serían excedidos para un tiempo de 24-horas según

los estándares venezolanos y los de la USEPA, en los otros rangos de tiempo no existe regulación.

Tabla IV.12.- Resultados escenario N° 2

Contaminante de Aire	Tiempo Promedio	Concentración (mg/m ³)				
		Dentro de la Refinería	Fuera de la Refinería	Áreas Residenciales	Regulaciones Venezolanas (Decreto 368 art.10)	Estándares USEPA (40 CFR parte 50)
SO ₂	1-Hora	564000	742000	303000	n/a	n/a
	24-Horas	203000	308000	74500	80	367
PM ₁₀	1-Hora	50	614	54	n/a	n/a
	24-Horas	28	289	15	75	150
NO ₂	1-Hora	3160	11200	2610	n/a	n/a
	24-Horas	1100	4090	962	100	n/a

Tabla IV.13. Resultados escenario N° 3

Contaminante de Aire	Tiempo Promedio	Concentración (mg/m ³)				
		Dentro de la Refinería	Fuera de la Refinería	Áreas Residenciales	Regulaciones Venezolanas (Decreto 368 art.10)	Estándares USEPA (40 CFR parte 50)
SO ₂	1-Hora	1050	742000	303000	n/a	n/a
	24-Horas	366	308000	74500	80	367
	Anual	36	327	4	n/a	79
PM ₁₀	1-Hora	50	614	54	n/a	n/a
	24-Horas	28	289	15	75	150

	Anual	7	33	1	n/a	50
	1-Hora	740	3360	768	n/a	n/a
NO ₂	24-Horas	399	1480	182	100	n/a
	Anual	105	239	7	n/a	100

En la tabla IV.14 se muestran los resultados obtenidos para el escenario único analizado para peligros ambientales catastróficos, se puede observar que las concentraciones determinadas por H₂S o SO₂ que podrían ocurrir dentro de la Refinería, en la colina inmediatamente al sur de la Refinería, o aun en áreas residenciales cercanas, son superiores a las permitidas por las regulaciones venezolanas para el tiempo promedio de duración del escenario catastrófico de 24-horas. No existe regulación en otros tiempos, por tal motivo no se pudo realizar comparación.

Tabla IV.14.- Resultados escenario único, Peligros Ambientales Catastróficos

Contaminante de Aire	Tiempo Promedio	Concentración (partes por millón en volumen, ppmv)				
		Dentro de la Refinería	Fuera de la Refinería	Áreas Residenciales	Regulaciones Venezolanas (Decreto 368 art.10)	Estándares USEPA (40 CFR parte 50)
SO ₂	1-Hora	215	283	115	n/a	n/a
	24-Horas	77	117	28	0.03	0.14
	Anual	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
H ₂ S	1-Hora	215	283	115	n/a	n/a
	24-Horas	77	117	28	0.01	n/a
	Anual	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

IV.3. Viabilidad de captación, almacenamiento de los gases

Captura del CO₂ en forma natural

La zona esta vinculada a un entorno geográfico peculiar que se corresponde con diversos tipos de hábitats, relacionados con el desarrollo industrial; con un acceso a través de cuatro vías de penetración: una interna correspondiente a la Refinería el Palito, otra a través de la carretera Puerto Cabello - Morón, otra por la vía de acceso a Planta Centro y finalmente a través del tramo costero del litoral marino.

La cobertura vegetal del área es compleja en su estructuración con bosques de galería que bordean al río Sanchón, conectados a tramos de bosques inundables a ambos lados, manglares bien desarrollados asociados a lagunas en el sector Oeste del río Sanchón, cerca del Limite de Planta Centro, Bosques tropofilos, cercanos a la carretera Puerto Cabello-Morón, herbazales psammofilos relacionados con lagunas y áreas inundadas y parches de vegetación xerofíticas y secundaria. La zona indica está escasamente intervenida en sus componentes bióticos.

La distribución del bosque de galería es altamente significativa en este espacio geográfico, ya que cubre alrededor del 20% de la región, ocupando grandes superficies en las vertientes Este y Oeste del río Sanchón. Las condiciones de humedad y precipitación de estas áreas, favorecen el crecimiento de las especies concentradas en estas zonas. Las plantas presentan una altura media entre 25 y 30 metros con dos o tres estratos arbóreos y un sotobosque bien desarrollado; las epífitas son abundantes en las ramas superiores y copas de los árboles, también están presentes especies de lianas. Se encuentran bien desarrolladas en dirección Norte-Sur a ambos lados del río y en algunas áreas de bajo declive conforman bosques inundables que forman pequeñas lagunas.

Dentro de las especies de arbóreas características del estrato superior se encuentran: *Hura crepitans* L. (Jabillo), *ceiba pentandra* L. (Ceiba), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Guacimo), *Cecropia peltata* L. (Yagrumo), *Phitecellobium saman* (Jacq) Benth. (Saman), *Cordia alba* (Jacq) Roem & Shult., entre otras. En el estrato inferior (sotobosque) son notable especies arbustivas y herbáceas, trepadoras heliofitas de varias familias: Biognoniaceae y Fabaceae

También hay presencia de herbazales acuáticos en la región, íntimamente ligada al proceso de inundación y sequía estacional que se hace notoria en los alrededores de las áreas cercanas al río, lo cual no permite el restablecimiento de la cobertura vegetal.

Los herbazales acuáticos están situados en zonas alejadas de la costa donde permanece retenida el agua de lluvia o la proveniente de las crecidas del río Sanchón. Estos cuerpos de aguas en su mayoría temporales permiten el asentamiento de hidrófilas vasculares entre las que destacan: *Typha domingensis* Pers., *Cyperus articulatus* L., *Cyperus ligularis* Los herbazales psammófilos, se distribuyen cerca de dunas arenosas lejos del impacto del oleaje y desprotegida de la sombra de la vegetación leñosa, entre las especies mas conspicuas destacan: *Cannaivalia maritima* (Aubl.), *Ipomoea pescaprae* (L) R.Br., *Tephrosia* sp., *Sporobolus indicus* (L) R.Br Existen arbustales xerófilos que se encuentran limitadas a áreas de alto relieve asociadas a bosque tropofilos en la cercanía de la carretera que conduce a Planta Centro y en parches de ambas zonas. Son formaciones vegetales arbustivas de fisonomía achaparrada compuestas de especies frecuentemente armadas de hojas pequeñas y de tres a ocho metros de altura. Los factores climáticos son las principales condicionantes de la distribución de los espinares en la región.

En la zona, existen manglares constituidos por un bosque mixto con un estrato arbóreo dominado por el mangle negro (*Avicennia germinans* (L.) L.) y en menor proporción el mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f.) y Botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), y con un estrato herbáceo pobre pero bien definido de *Batis marítima* L. (hierba salada). Sin embargo existe zonas en donde la complejidad florística es notoria, tanto en el número de especies como en biotipos, debido a las mezcla de manglar en la periferia y bosques tropofilos hacia la parte mas interna del gradiente edáfico, probablemente esto se deba a que en la época de lluvia las constantes crecidas del río Sanchón, arrastren sedimentos causando la desalinización parcial del sustrato, creando ambientes idóneos para la colonización de especies de los bosques vecinos. En relación a la diversidad florística del área Este-Oeste del río Sanchón, se reportan 58 familias, 128 géneros y 164 especies de angiospermas. Del total de especies identificadas 137 (83,53%) son dicotiledóneas y 27 (16, 47%) son monocotiledóneas.

En lo referente a los mamíferos, la mayor presencia es la de los murciélagos de las familias *Phyllostomidae* y *Mollosidae*. Las primeras son en su mayoría de hábitos frugívoros y comunes en todas las cuencas costeras de Venezuela, mientras que los de la familia *Mollosidae*, son especies que frecuentan los estratos aéreos de alto dosel. Otro orden de abundancia en riqueza de especie lo constituyen los Rodentia (roedores). Estos pequeños mamíferos son en forma general de hábitos arborícola. Existe presencia de Lapa (*Agouti paca*) en la mayoría de las formaciones vegetales, así como el picure (*Dhasypsecta aguti*) que son de hábitat terrestres y en cierta abundancia. Otros roedores de porte más pequeños como el curipiño (*Proechimys guaridae*) y la rata mochilera (*Heteromys anomalus*) predominan en los boques tropofíticos y áreas de vegetación secundaria. También existen ardillas (*Sciurus granatensis*) en las áreas de bosques de galería. El ratón casero (*Mus musculus*) y la rata común (*Rattus rattus*) se detectaron en áreas de vegetación secundaria cerca de la carretera.

El orden Carnívora ocupa un lugar de importancia la mastofauna del área, con 4 especies, siendo las mas comunes el zorro común *Cerdocyon thous* un predador importante de ratones en el área y el zorro cangrejero (*Procyon cancrivorous*); este último con cierta abundancia en áreas de manglares a ambos lados del río Sanchón.

Dentro del grupo de los carnívoros superiores es importante resaltar la presencia del puma (*Felis concolor*) y el cunaguaro (*Felis Pardalis*), los cuales presentan abundantes huellas en la caminería principal del sector Sanchón-oeste.

Las aves pueden ser un indicador confiable del grado de afectación que presenta en los diferentes pisos altitudinales que abarca su cuenca, siendo un paso previo indispensable a la hora de diseñar planes de manejo ecológico de esta área.

En las observaciones en el sector río Sanchón Este y Oeste, se avistaron un total de 62 especies diferentes de aves, repitiéndose algunas en determinados ambientes, repartidas de la siguiente manera:

En el área Oeste del río Sanchón, sector planta centro, con predominio de un área de vegetación secundaria, se observaron un total de 26 familias de aves distribuidas en 38 especies. En el área correspondiente a la laguna (margen Izquierda) ubicada a (10° 29 33''

N 68° 08 54" O), en un ambiente de Manglar, se observaron 8 familias distribuidas en 12 especies. En el área correspondiente a la laguna (margen Derecho) ubicada a (10° 19 12" N 68° 08 47" O), en un ambiente de Manglar, se observaron 5 familias distribuidas en 6 especies. En el área Este del río Sanchón, sector La Ceiba, ubicado a los (10° 28 48" N 68° 08 36" O), con una vegetación del tipo Bosque de Galería, se observaron un total de 18 familias de aves distribuidas en 28 especies.

Se debe señalar que se presentaron diferentes gremios alimentarios como por ejemplo: Granívoros (e.j. *Sporophilla bouvronides*, *Sporophilla nigricolis*, *Columbina passerina*, *C. talpacoti*). Frugívoros (e.j. *Thraupis episcopus*, *Ramphocelus carbo*, *Tachyphonus rufus*), Folívoro (e.j. *Saltator coerulencens*), Insectívoros (e.j. *Hypnellus ruficollis*, *Campylorynchus nucalis*, *Galbula ruficauda*), Piscívoros (e.j. *Chloroceryle amazona*, *Fregata magnificiens*, *Ardea alba*, *Vanellus chilensis*), Necrófagos (e.j. *Coragys atrataus*, *Milvago chimachima*), Nectarívoros (e.j. *Coereba flaveola*), Herpetofagos (e.j. *Buteogallus urubitinga*, *B. anthracinus*, *Buteo magnirostris*).

Existe la presencia de especies migratorias Australes tales como: *Tyrannus savanna*, *Progne tapera*, *P. chalybea*, *Elaenia* sp.) y también Neárticas: *Tringa flavipes*, *Actitis macularia*, *Calidris pusilla*), las cuales comienzan a arribar a las costas a finales de Agosto hasta finales de Octubre, cuando se visualizan el mayor número de especies en los espejos de aguas y bosques.

Entre los principales reptiles de la zona están la baba (*Caiman cocodrylus*) que habitan la zona señalan como común en áreas cercanas a la desembocadura, siendo observable en horas nocturnas. La especie es de talla moderada y de hábitos estrictamente acuáticos, alimentándose principalmente de peces. La baba es considerada por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza como amenazada, término, categoría relacionada con las especies ubicadas en las categorías de peligro de extinción, vulnerable, rara o insuficientemente conocida.

Algunos pescadores señalan la presencia del caimán de la costa (*Cocodrylus acotus*) en una laguna interna, lo cual no ha sido comprobado. Las poblaciones de esta especie están muy

reducidas en áreas costeras del norte de Venezuela por diversos factores (modificaciones de habitats, contaminación, cacería indiscriminada, etc.).

En la Cuenca según Figura IV.3 se tiene que el río Sanchón se forma en la vertiente norte de la Cordillera de la Costa, sigue rumbo hacia el Norte hasta su desembocadura en el mar Caribe. Específicamente nace en las cumbres montañosas de "María Teresa" a una altura sobre el nivel del mar de 1.679 m. Su cuenca tributaria es de 86 Km² aproximadamente. Posee muchos afluentes en su cauce superior.

La zona bajo estudio tiene una temperatura promedio entre 18 y 24°C y 15° en las partes más altas. La zona tiene una precipitación promedio anual de 2.000 mm, Predomina el relieve quebrado con pendientes, entre 20 y 30%. La red hidrográfica, discurre desde los 1.600 msnm, en la Cumbre de Chirgua de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, hasta el nivel del mar, en el sector Golfo Triste del Mar Caribe.

A pesar que dentro de la cuenca del Río Sanchón coexisten diversos tipos de bosques que van desde los matorrales xerofitos, hasta los bosques siempreverde, pasando por comunidades de tipo transicional, bosques deciduos y semideciduos, se hizo un pequeño paréntesis sobre el bosque siempreverde asociado a la cuenca alta (Bosque nublado), por su importancia como primera reserva de agua de la cuenca, así como banco importante de germoplasma, razón por la cual se describirán algunos aspectos fisionómicos, florísticos y estructurales del mismo.

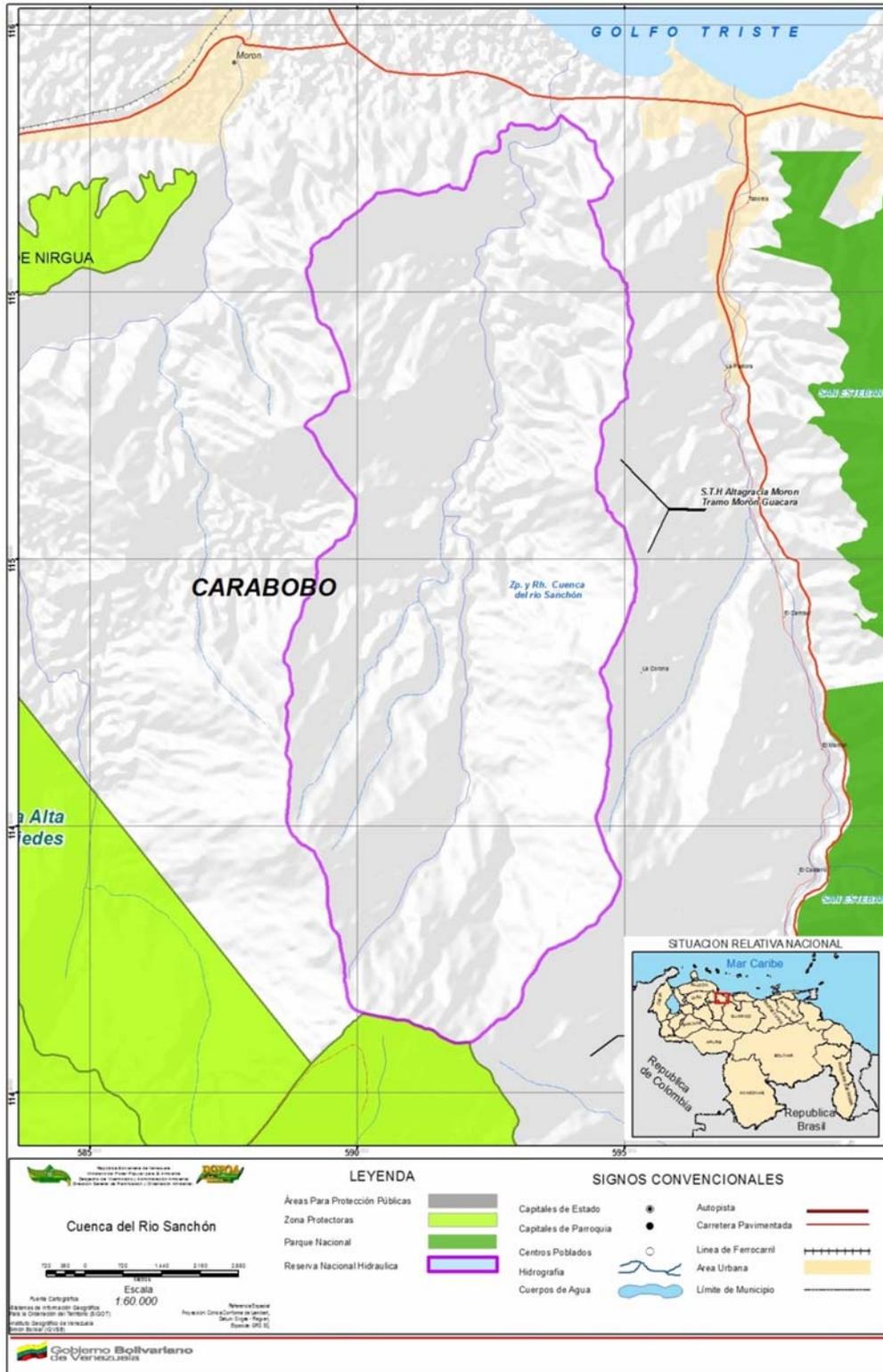


Fig. IV.3. Límites de la Cuenca Río Sanchón. (MINEA/PDVSA, 2015)

Los bosques nublados de la Cordillera de la Costa se pueden diferenciar en bosques de zonas altas (desde aprox. 1.700 hasta 2.200 (2.400) msnm) y bosques de zonas bajas (600 - 1.700 msnm).

Las especies típicas de los bosques nublados como *Chrysophyllum scalare* pueden descender mucho en quebradas como en el Parque Nacional Henri Pittier (Cardozo y Conde, 2007). Debido a perturbaciones antrópicas, algunas especies propias del subpáramo (*Monochaetum humboldtianum*, *Gaylussacia buxifolia*) pueden encontrarse también en zonas de bosque nublado.

En las zonas altas llama la atención la casi ausencia de representantes de la familia Annonaceae, también son ausentes o muy raros Sapindaceae y Bignoniaceae. Taxa característicos son algunas especies de las Podocarpaceae (*Podocarpus salicifolius*, *P. oleifolius* var. *macrostachyus*, *Prumnopitys harmsianus*).

En base a levantamientos florísticos y fisionómico - estructurales entre los 1.000 y 1.850 msnm, Huber (1976; 1986) describió la vegetación de bosques nublados del Parque Nacional Henri Pittier, distinguiendo tres tipos de bosque nublados: el bosque nublado de transición, el bosque nublado propiamente dicho y el bosque nublado superior.

El bosque nublado de transición (entre el bosque nublado y el bosque semidecídulo) se ubica entre 950 y 1.300 / 1.400 msnm. Este autor fundamenta este nombre por la alta presencia de nubes y sus efectos sobre la vegetación (sin atenuar totalmente los efectos de la estación de sequía), la composición florística y estructura entre un bosque decídulo y un bosque nublado.

En la cuenca del río Sanchón, el bosque posee tres estratos arbóreos; uno superior, conformado por un piso irregular de árboles emergentes de *Gynerthera caribensis* (cándelo) que alcanza alturas entre 30 y 50 m, cuyas raíces tabulares pueden alcanzar alturas de hasta 8 m.

El segundo estrato forma el dosel propiamente dicho, con una altura entre 10 - 20 / 25 m. El tercer estrato se encuentra entre 3 - 7 / 8 m de altura y está constituido principalmente por la regeneración de palmas. Entre 0,5 hasta 2 / 3 m existe estrato de hierbas y arbustos y

abundan las palmas *Geonoma simplicifrons*, *Bactris setulosa* (macanilla) y *Chamaedorea pinnatifrons*. Lianas y trepadoras pueden abundar localmente. *G. caribensis* posee características de una especie sucesional tardía, se encuentra en pequeños grupos indicando perturbaciones más grandes.

Smith & Field (2001) reportan estructuras poligonales de agrupaciones de *Gyneranthera* y lo interpretan como antiguos conucos de los indígenas. Los mismos autores indican que *G. caribensis* (cándelo) no se desarrolla en áreas sobre suelos ácidos con pluviometría superiores a 1.500 mm anuales, razones por la cual este taxón es un indicativo del límite inferior de esta formación vegetal.

El bosque nublado propiamente dicho se distribuye entre los 1.100 y 1.600 (1.800) msnm. Se han registraron 500 árboles por hectárea y casi 50 especies, en estos bosques, distinguiéndose dos estratos arbóreos. El primero, muy irregular y abierto, con árboles emergentes, cuyas copas generalmente alcanzan entre 20 y 30 m de altura, y en pocos casos una altura máxima de 35 / 40 m. Los árboles más altos son *Chrysophyllum scalare* (nombrado en este trabajo *Ecclinusa abbreviata*), *Sloanea spp.* (majaguillo), *Guapira olfersiana* (casabito) y *Chimarrhis microcarpa*, esta última especie en algunos casos forma raíces tabulares de grandes tamaños.

Las hojas en su mayoría son simples, de tamaño mediano hasta grandes (entre 10 - 25 cm de largo) de consistencia coriácea. Las epifitas muestran aquí su desarrollo máximo (Medina & Huber, 1998), especialmente las Bromeliaceae, Orchidaceae y las Hymenophyllaceae. Se estima que 1 - 2% de la biomasa de este bosque está constituida por epifitas.

El segundo estrato arbóreo se encuentra entre 8 y 15 m. El tamaño foliar generalmente está entre los 5 - 30 cm de largo, la consistencia foliar es herbácea, las hojas coriáceas parecen ser mucho más escasas y la caducifolia no es frecuente. El estrato arbustivo y herbáceo generalmente son muy densos, abundan los helechos arborescentes. El elemento florístico más importante para el bosque nublado propiamente dicho, es el gran número (hasta 10 especies) de palmas en todos los estratos del bosque, destacando *Dictyocaryum fuscum*,

Socratea sp. (palma araque), *Hyospathe elegans* y *Geonoma simplicifrons*, característica también registrada por Vareschi (1986; 1992).

Sin embargo, Cardozo (1999; 2006) diferencia dos tipos de bosque nublado en el Parque Nacional Henri Pittier: un bosque nublado estructuralmente bajo (inferior), incluyendo el bosque nublado transicional y bosque nublado propiamente dicho en el sentido de Huber, y el bosque nublado superior. Este autor registra para el bosque nublado bajo 1.040 especies en 108 familias y 370 especies en 78 familias para la selva nublada superior.

El bosque nublado superior se encuentra entre los (1.480) 1.600 y 1.850 (2.400?) msnm, el estrato arbóreo está constituido solamente por un piso bastante irregular, cuyo dosel se desarrolla entre los 8 y 20 m., se encuentran individuos de *Pseudolmedia rigida* (laurel), *Drypetes standleyi*, *Tetrorchidium rubrivenium*, *Alchornea triplinervia*, *Elaeagia karstenii*, *Ternstroemia camelliifolia*, *Aspidosperma fendleri*, *Croton domatifer* y la palma *Wettinia praemorsa*. El número de individuos arbóreos es extremadamente alto (980/ha), característica también observada por Rodríguez et al. (1997) en el Cerro Picacho (1.400 msnm), sector en el cual registraron 100 especies en una parcela de 1.250 m².

Las raíces tabulares están ausentes, las hojas presentan en su gran mayoría un tamaño de mediano hasta pequeño (5 a 10 cm de largo) y casi únicamente de consistencia coriácea. El sotobosque está dominado por *Geonoma undata*, los helechos arborescentes son escasos, las lianas y trepadoras están ausentes y las epífitas parecen ser mucho menos abundantes. Dos tercios de los árboles están comprendidos en las clases de 10 a 15 y de 15 a 20 m de altura. Los diámetros muestran mayores valores en dos clases diamétricas: uno en la clase de 10 - 15 cm y otro en la clase mayor de 30 cm. En general son muy escasos los árboles con más de 40 cm diámetro, mientras que en los otros dos tipos de selva los fustes con diámetros entre 50 y 100 cm son más frecuentes

Levantamiento Fisionómico- Estructural

La información levantada en las tres transectas corresponden fisionómicamente y estructuralmente a un Bosque Siempreverde de alto a medio denso. En base a perfiles de altura (no se muestran para este trabajo), este se encuentra estructurado en 3 estratos; un

estrato emergente compuesto por elementos arbóreos como *Gyranthera caribensis*, *Socratea exorrhiza*, *Pouteria sp* entre otros, con alturas que oscilan entre los 30 a 45 m. El dosel se encuentra establecido entre los 18 a 25 m compuesto por individuos de las especies mencionadas, como por otras especies pertenecientes a otras familias como Lecitidáceae, Combretáceae, Lauráceae, Arecaceae y Sapotaceae. Un estrato inferior que varía entre los 12 a 15 m establecidos por individuos pertenecientes a especies pertenecientes a familias como Clusiaceae, Melastomatacea, Myrtaceae y Arecaceae. Cabe destacar que las tres transectas pueden que se localicen entre lo que en la literatura se establece como Bosque nublado propiamente dicho, y Bosque Nublado de Transición (Huber, 1986).

Este último se corrobora con la presencia de *G. caribensis*, la cual ha sido considerada por algunos autores (Huber, 1986; Miere, 2011) como especie indicadora del Bosque Nublado de Transición, el cual correspondería para el caso de las transectas 3 y 2. Otro punto a considerar, es que ambas transectas tienden a disminuir en altitud, y por lo tanto, en ellas el punto final de estas se encuentra a altitudes menores de los 1.000 msnm, el cual se corresponde con el rango altitudinal reportado para *G. caribensis*.

En lo que respecta a la Transecta 1, esta puede estar establecida en lo que se denomina Bosque nublado propiamente dicho. Llama la atención la ausencia (para este caso, hay que realizar un levantamiento mas) de elementos arbóreos pertenecientes a *G. caribensis*.

La Transecta 4, puede considerarse como parte de la transición bosque nublado a semidecuidos. En esta sección de la cuenca ya los bosques cambian tanto florísticamente, como en su fisionomía y estructura. Estructuralmente son bosques bajos, el dosel se encuentra entre los 12 y 15 m, y poseen dos estratos; emergentes entre los 20 - 25 m y el dosel ya descrito. Este a su vez puede ser descrito fisionómicamente como bosque semidecuidos transicional de medio a bajo denso.

Las Transectas 5 y 6, corresponden a la descripción fisionómica de bosque semidecuido propiamente dicho. En este la estructura permanece similar a la Transecta anterior, pero se evidencia un cambio en la composición florística de este, en especial en las especies que son codominantes con *Psidium sp2* (guayabo). En las tres Transecta, la especie que domina

sobre las demás es una Myrtaceae (*Psidium sp2*), la cual domina tanto en densidad, como en frecuencia de aparición.

Esta dominancia de esta familia en la composición de los bosques semidecíduos llama mucho la atención, lo cual podría sugerir alguna relación de carácter edáfico entre la vegetación y el suelo (calcáreos), o que el establecimiento de estas especies ha sido promovido por actividad antrópica en el pasado, o ambas. Aparentemente la zona fue habitada por indígenas y también el área perteneció al Fundo Sanchón.

Mediante en las Transectas se pudo comprobar la presencia de un bosque decídúo medio con una altura promedio de 14,5 m, con una desviación de $\pm 4,5$ m, presente sobre suelo de relativa alta fertilidad donde se observó dos estratos arbóreos constituidos por una riqueza arbórea de 36 especies, donde uno es relativamente continuo con la altura promedio antes mencionada y otro estrato arbóreo con alturas que alcanzan los 20 m y más (emergentes), representado por las especies de *Astronium graveolens*, *Pterocarpus sp.*, *Capparis sp.*, *Ceiba pentandra*, *Bursera simaruba*, *Lonchocarpus sp.*, *Zanthoxylum sp.*, *Sterculia sp.*, *Machaerium sp.* Esto se debe a las condiciones favorables de humedad, y de su exposición en una vertiente montañosa, donde se reducen el número de horas diarias recibidas de irradiación solar, que condiciona la formación de dos estratos en este tipo de comunidad vegetal, que normalmente en otros ambientes geomorfológicos del país sólo se presenta un estrato arbóreo.

Con respecto al Índice de Valor de Importancia para esta comunidad se pudo constatar que las especies que tienen mayor índice están representadas por *Coccoloba sp.*, *Pterocarpus sp.*, *Machaerium sp.1*, *Machaerium sp.2*, *Astronium graveolens*, *Hura crepitans*, *Bursera simaruba*, *Sterculia sp.*, *Bahuinia sp.*, *Lonchocarpus sp.* y *Simira sp.* Asimismo, referente a la abundancia relativa se tiene que las especies con mayor número son *Pterocarpus sp.*, *Sterculia sp.*, *Machaerium sp.1*, *Astronium graveolens*, *Hura crepitans*, *Pachira sp.* y *Bahuinia sp.*

Del inventario florístico realizado en las tres comunidades estudiadas, se encontró:

- Bosque Nublado: 300 individuos con altura promedio de 17 m, distribuidas en 44 especies forestales, siendo los de mayor índice de valor de importancia la *Socratea exorrhiza* (palma araque) 91%, *Prestoea acuminata* (palmiche) 20%, *Garcinia* sp (tovomita) 17%, desconocido y *Ocotea* sp (aguacatillo) 15% c/u y *Muntingia* sp (majaguillo) y *Lecitidáceae* (chupón copito) 13% c/u.
- Bosque Semidecuido: 320 individuos con altura promedio de 14 m, distribuida en 49 especies forestales, siendo los de mayor índice de importancia el *Psidium* sp2 (guayabo) 70%, *Vitex* sp (totumillo) 36%, *Lecitidáceae* (Chupón churro) 23%, *Acasia* sp (Tiamo carbonero) 16% y desconocido (15%).
- Bosque Deciduo: 92 individuos con altura promedio de 14 m, distribuida en 24 especies forestales, siendo los de mayor índice de valor importancia *Pterocarpus* sp (sangre drago) 33%, *Pachira* sp o *Sterculia* sp (cacaguillo) 26%, *Pithecelobium* sp o *Machaerium* sp (naure) 21%, (mecoco) 13% y *Coccoloba* sp (tamare) y *Bursera simaruba* (indio desnudo) 12% c/u.

Para las determinaciones botánicas, se utilizó la literatura actualizada, comparación con material de herbarios. Se utilizaron claves de familias y géneros de Aristeguieta (2003).

Las clases obtenidas de clasificación supervisada se observan en la Tabla IV.15.

Tabla IV.15. Clases Obtenidas en la Clasificación Supervisada aplicada en la Imagen Miranda para la cuenca del río Sanchón, Carabobo

Vegetación 1	Verde claro
Vegetación 2	Verde oscuro
Clases Obtenidas	Color
Vegetación 3	Verde + oscuro
Vegetación 4	Verde + claro
Vegetación 5	Rojo coral
Suelo desnudo	Amarillo
Área intervenida	Blanco

Mapa de vegetación y verificación futura.

Se obtuvo un mapa de vegetación con tres (3) tipos de cobertura, en donde el Bosque siempreverde (Bosque Nublado) es la cobertura que está mejor delimitada Figura IV.4 y Tabla IV.16. Esta cubre todo lo que es la cuenca alta del río Sanchón, una porción al Norte de la cuenca, y pequeñas áreas que bordean a la misma, cuyas alturas permite el establecimiento de cobertura de nubes permanentes (sobre todo en época de lluvia), lo que permite posiblemente, el establecimiento de parches boscosos de tipo siempreverde o transicionales.

Estas áreas son puntos que se requieren chequear en salidas de campo futuras para determinar correctamente el tipo de cobertura al que corresponden. En este sentido la cobertura Bosque siempreverde posee una combinación de clases que corresponden en orden decrecientes en el porcentaje de pixeles asociados a determinada clase, que es la siguiente; 4>1>2 .

El otro tipo de cobertura, se extiende desde la transición, hasta la cuenca baja, sobre todo abarcando el área asociada a la vertiente oriental de la misma. La composición de clases asociada a esta cobertura es; 5>1>3>2. Esta combinación abarca Bosques deciduos, Bosques semidecuido, Bosques ribereños y áreas de transición entre estos tres tipos de bosques. Las áreas que se piensan están ocupadas por bosques deciduos, poseen una mayor cantidad de pixels asociados a la clase 3.

Basado en la información obtenida con el inventario anterior, se realizaron salidas (7) de campo de siete (7) días (5 días de trabajo efectivos) por un año al área y sobre todo durante la época de sequía, donde se verifico :

- El área correspondiente a La Corona y sector de la cuenca baja (vertiente oriental) a modo de delimitar mejor la zona de transición de Bosque nublado a Bosque semidecuidos, y la transición a Bosque deciduo.

- La vertiente occidental cuenca alta (Bosque nublado), y otras áreas asociadas a la divisoria de agua (zona de transición y cuenca baja).

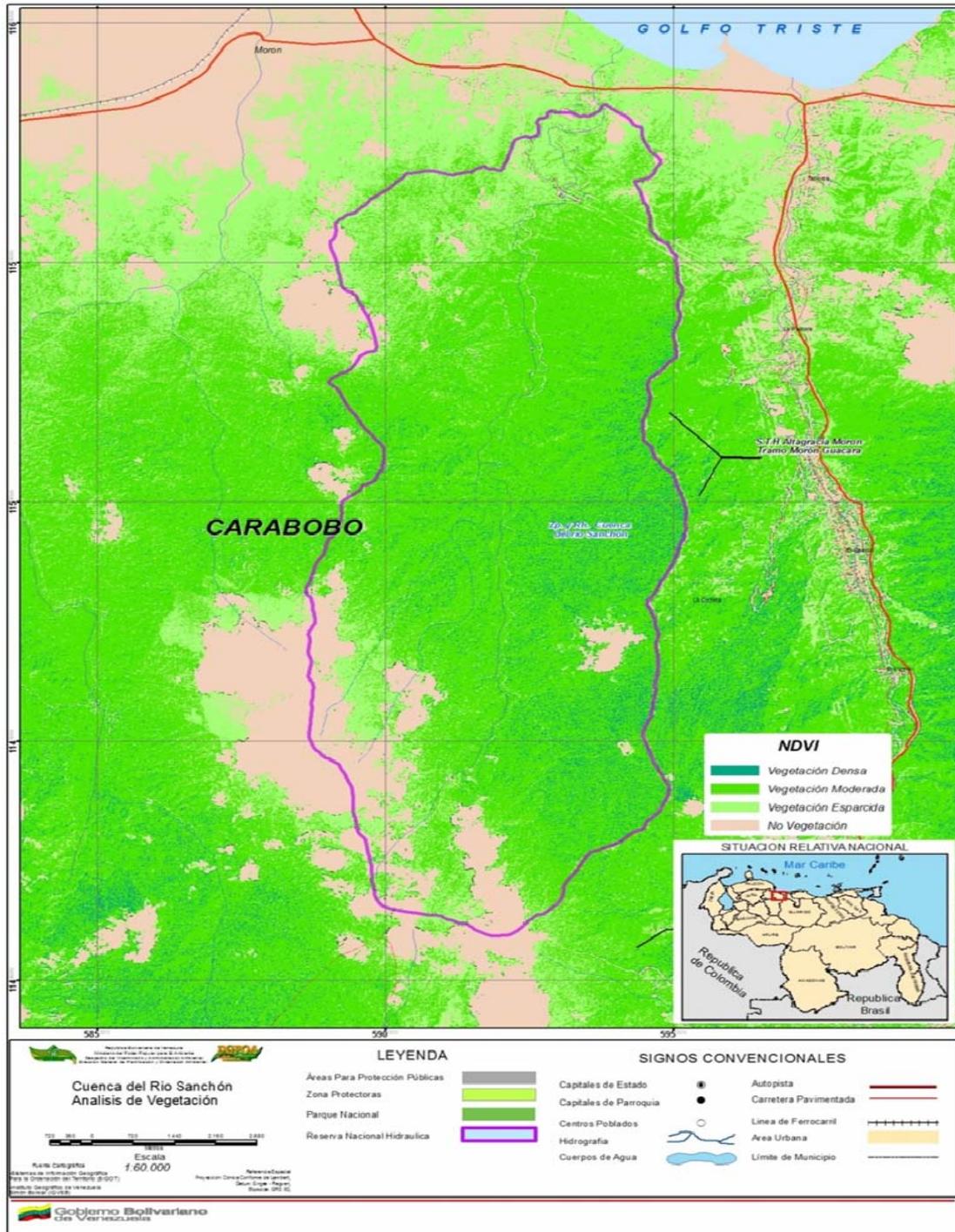


Figura IV.4. Mapa preliminar de vegetación de la cuenca del río Sanchón, estado Carabobo utilizando el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI). (MINEA/PDVSA, 2015)

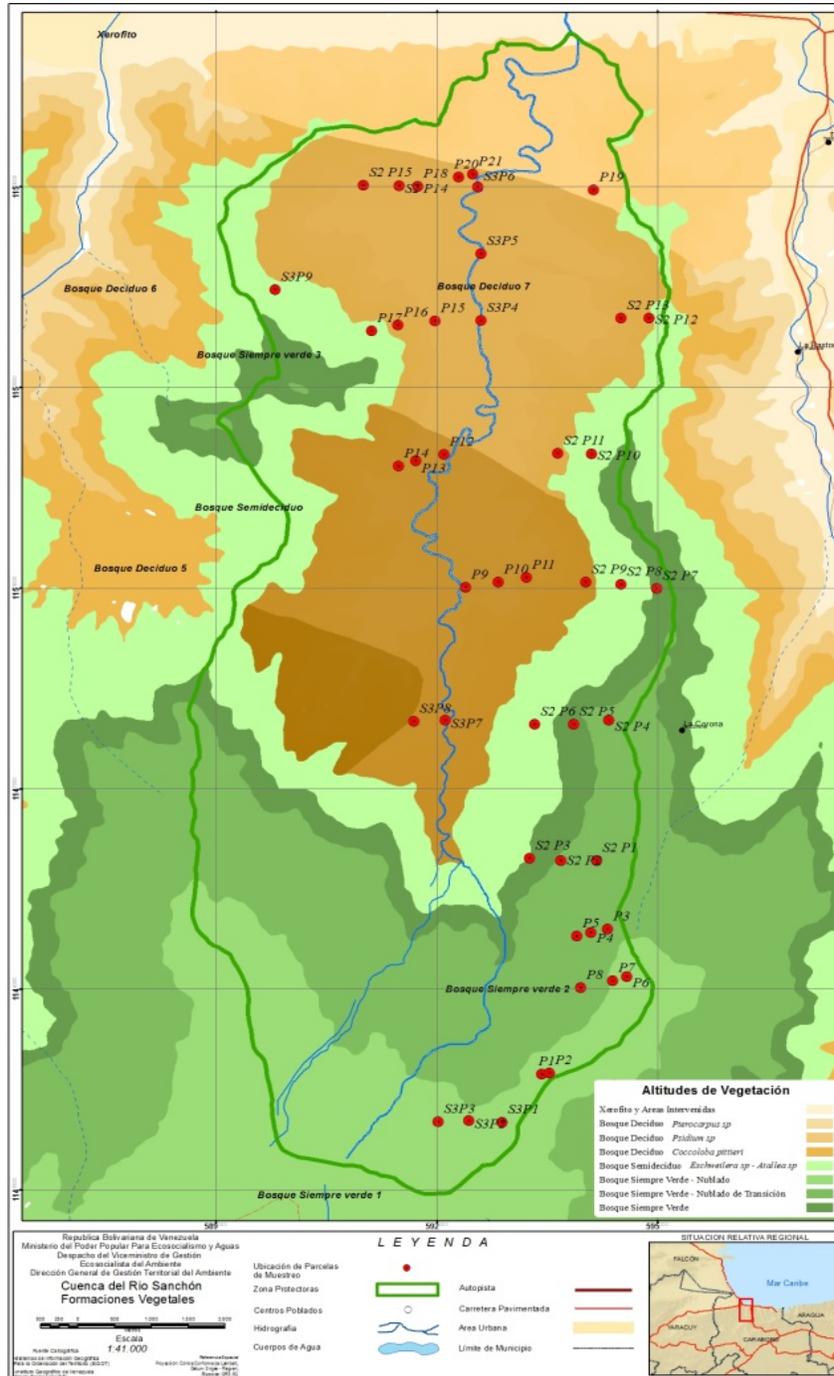


Figura IV.5. Mapa de vegetación. (MINEA/PDVSA, 2015)

Tabla.IV.16. Explicación del Mapa de vegetación.

Piso altitudinal	Tipo fisionómico	caducifolia	estructura	Especies _{dom}	relieve	leyenda
1700 – 1200	Bosque (bosque nublado)	siempreverde	alto - denso	<i>Socratea exorrhiza</i> , <i>Prestoea acuminata</i> , <i>Sloanea sp</i> , Clusaceae (<i>Clusia sp4</i> – <i>Garzinea sp</i>)	ladera	SPVD 1
1200 – 900	Bosque (bosque nublado transición)	siempreverde	alto - denso	<i>Socratea exorrhiza</i> , <i>Gyranthera caribensis</i> , <i>Prestoea acuminata</i> , Lecitidáceae ("copito" - <i>Lecythis sp</i>), <i>Protium tovarensis</i>	ladera	SPVD 2
835 – 614	Bosque	siempreverde	alto - medio	<i>Eschweilera sp</i> / <i>Lecythis sp</i> , <i>Trema sp</i> / <i>Sloanea sp</i> , <i>Pouteria sp2</i> , Lecitidáceae ("copito" - <i>Lecythis sp</i>)	ladera	SPVD 3
653 – 395	Bosque	semideciduo	medio-medio	<i>Eschweilera sp</i> / <i>Lecythis sp</i> , <i>Lecythis sp2</i> , <i>Atallea sp</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Protium tovarensis</i>	ladera	SMD
400 – 208	Bosque	deciduo	medio-medio	<i>Psidium sp2</i> , <i>Psidium sp</i> , <i>Vitex divaricata</i> , <i>Jacacaranda sp</i> , <i>Acasia sp2</i> , <i>Siagrus sancona</i>	colina	DECD 1
260 - 200	Bosque	deciduo	medio-medio	<i>Psidium sp2</i> , <i>Cocolloba pittieri</i> , <i>Pithecelobium divaricatum</i> , <i>Eschweilera sp</i> / <i>Lecythis sp</i>	colina	DECD 2
190 - 50	Bosque	deciduo	Bajo - medio	<i>Pterocarpus sp</i> , <i>Astronium sp</i> , <i>Piptadenia sp</i> , <i>Machaerium sterophyllum</i> , <i>Hura crepitans</i>	colina	DECD 3

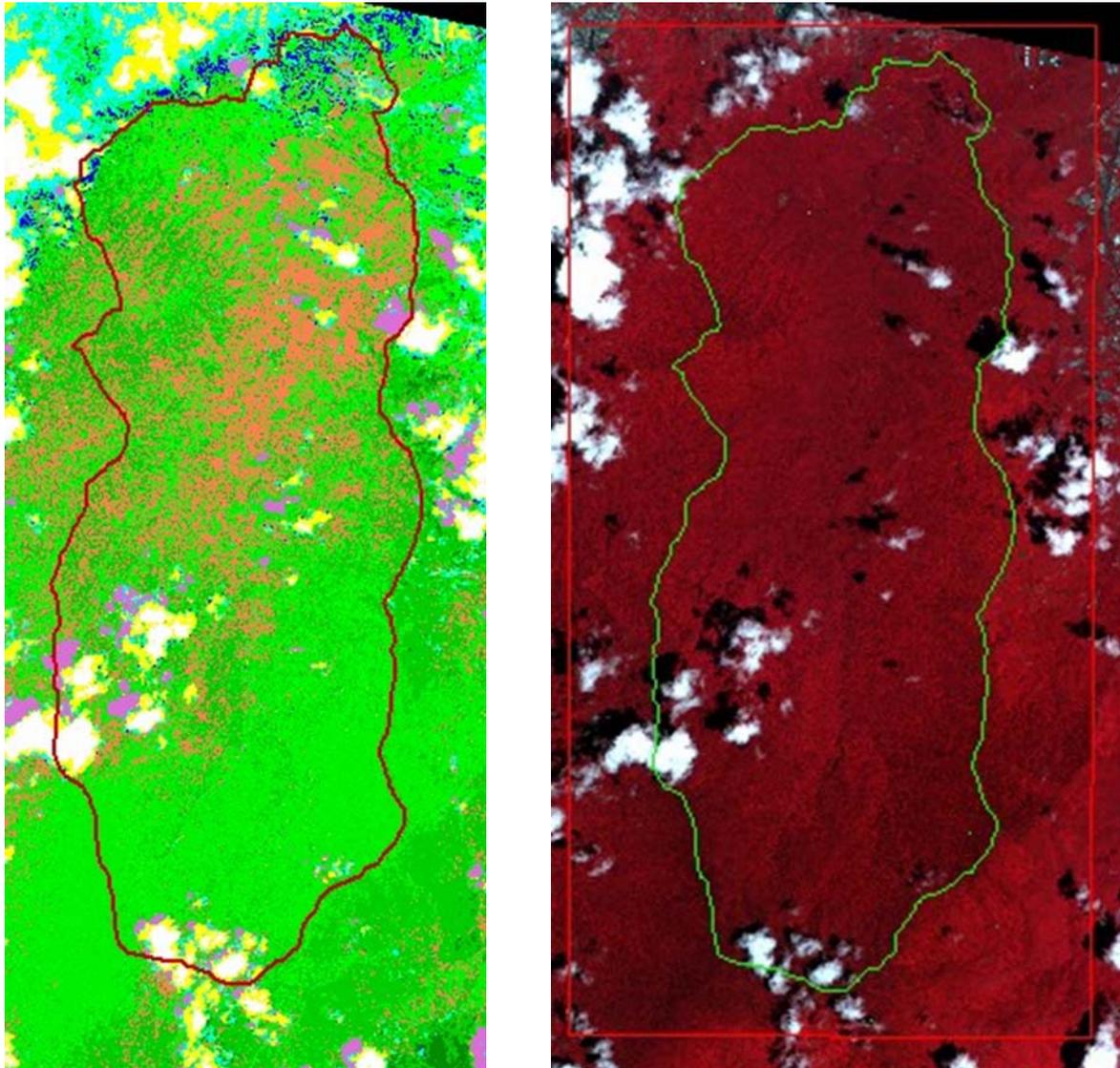
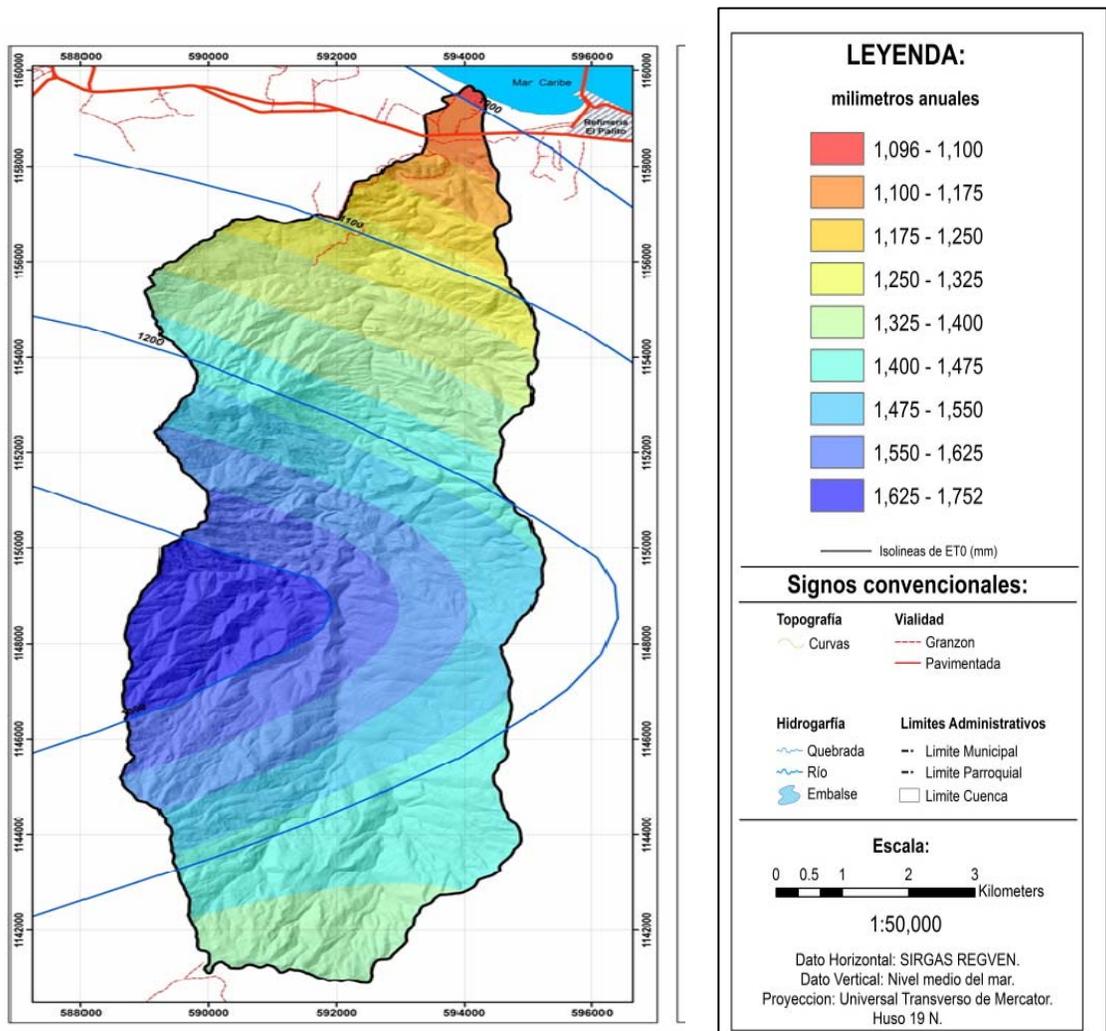


Figura IV.6. Imágenes Multiespectrales del Satélite Miranda. La imagen de la izquierda corresponde a la clasificación supervisada, obteniendo la vegetación por acumulación. La imagen de la derecha corresponde a una composición hecha con las bandas 4 y 3, donde se observa la existencia de vegetación en toda el área. Cuenca del río Sanchón, estado Carabobo. (MINEA/PDVSA, 2015)

Características de precipitación:

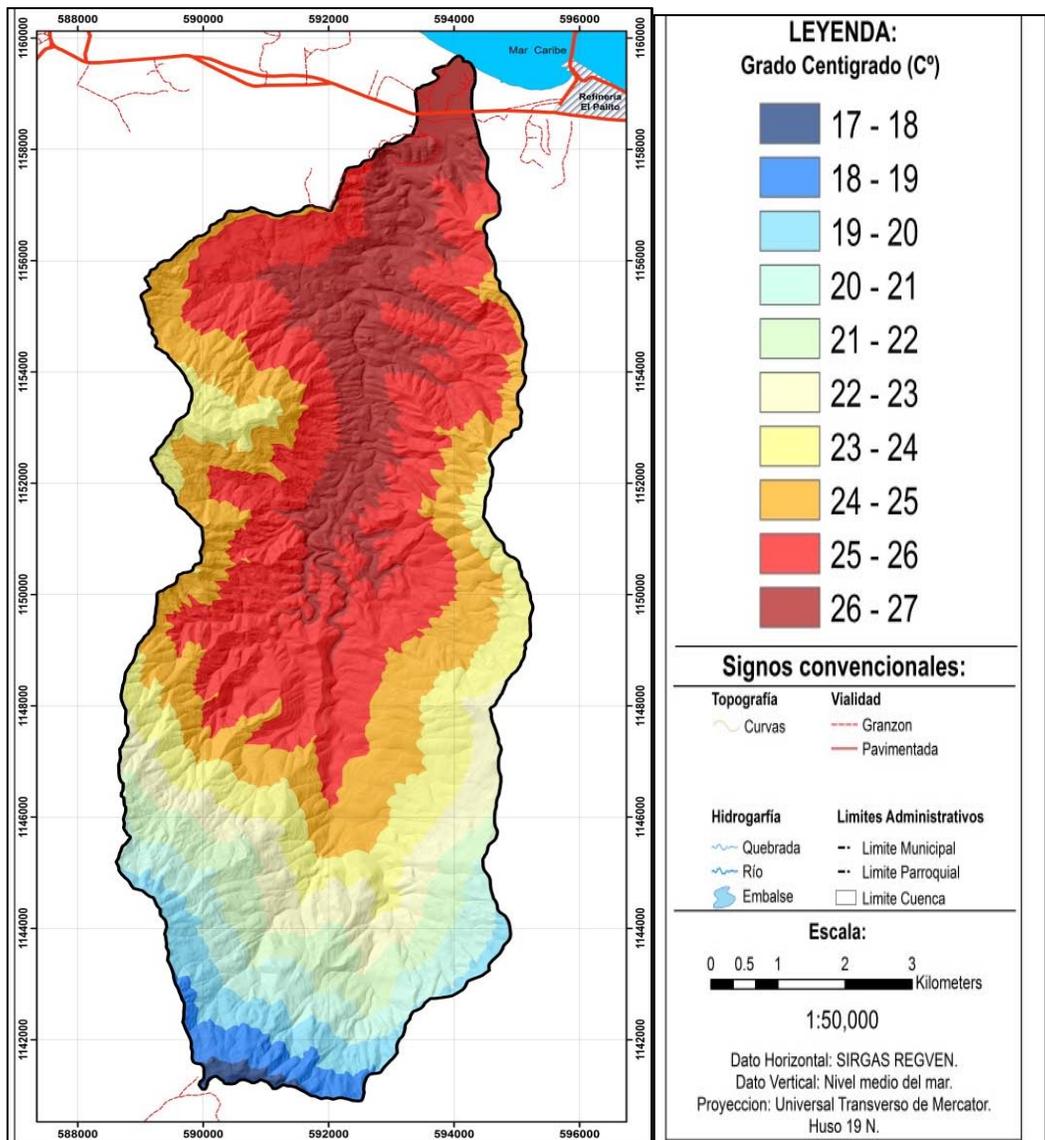
- Entre 900 y 1300 mm de lluvia
- La lluvia aumenta de Norte a Sur y mas hacia el Oeste
- Hay dos patrones.
- En la zona norte el mínimo es de febrero a Marzo, se estabiliza hasta noviembre y descende hasta febrero.
- En la zona sur es más estacional. Aumenta desde Abril hasta octubre y luego descende hasta enero-febrero. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.7



**Figura IV.7. Precipitación media anual en la cuenca del río Sanchón.
(PDVSA/PALMICHAL, 2015)**

Características de temperatura:

- La media anual va desde 26.3 °C a 80 msnm hasta 18.5 a 1600m
- Las temperaturas máximas varían entre 20.5 y 31 °C y las mínimas entre 16.5 y 21.9
- Las temperaturas mínimas ocurren entre enero y febrero mientras las máximas ocurren en Septiembre. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.8



**Figura IV.8. Modelo digital de temperatura en la cuenca del río Sanchón.
(PDVSA/PALMICHAL, 2015)**

Características de Evapotranspiración (ETP):

- La ETP varía en la cuenca entre 1200 y 1700 mm. Los valores mas altos corresponden a la zona mas baja, con mayores temperaturas, radiación y viento. Los más bajos a la zona más alta con menores temperaturas y mayor humedad relativa.
- Cerca del 50% de la superficie tiene ETP entre 1600 y 1700 mm en altitudes menores a los 500 msnm y en distancia de cerca de 8000 m.
- En distancias menores a 5000m, al aumentar en altitud, hay una disminución de la ETP entre 1600 y 1700 mm. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.9.

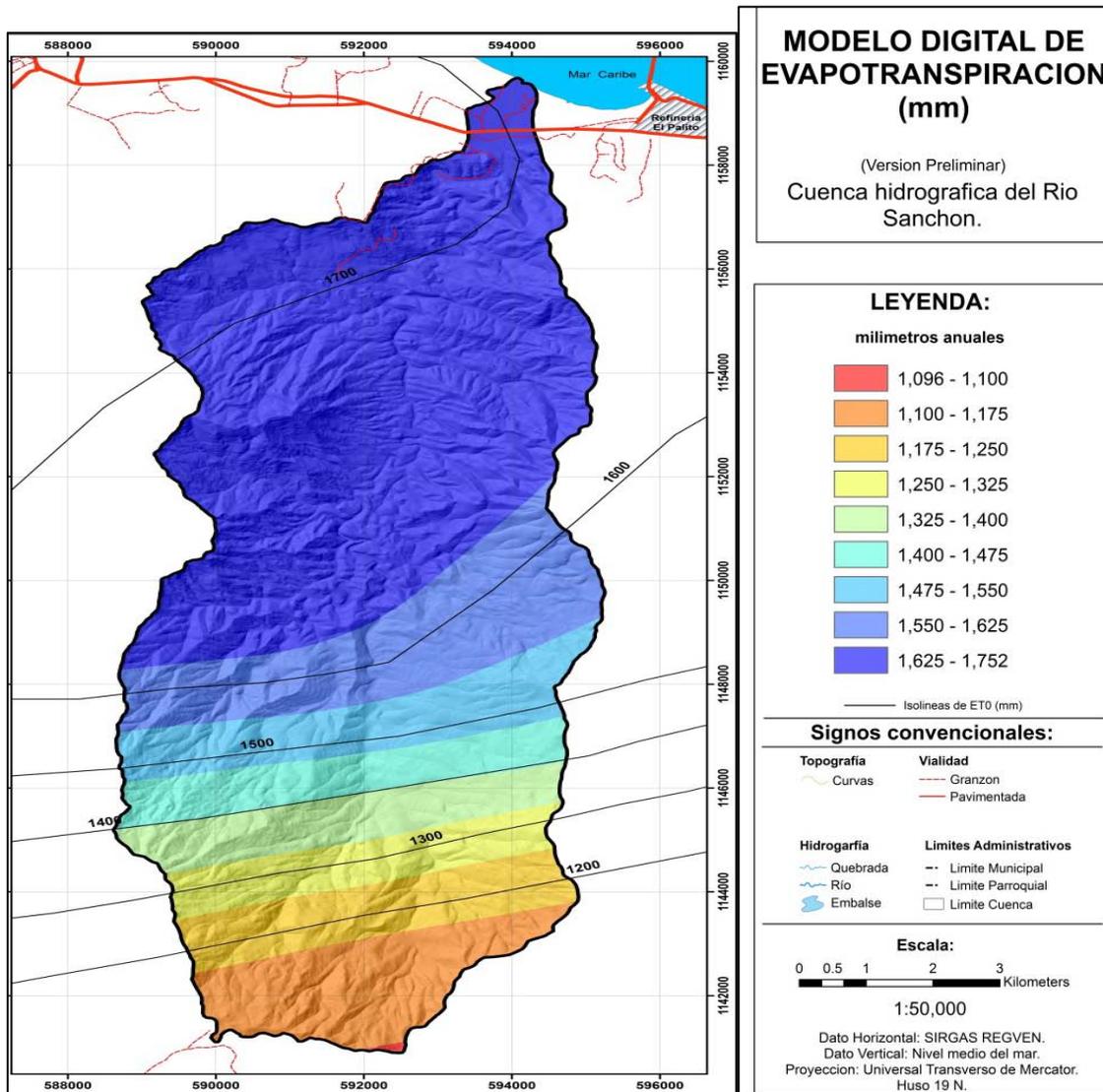


Figura IV.9. Modelo digital de evapotranspiración en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de las zonas de vida:

- Solo hay limite entre el piso basal y el premontano a 24°C lo cual corresponde a 530 msnm
- Al combinar esos pisos con la precipitación se obtiene el Bosque seco Tropical, (63%) el seco Premontano (24%) y el húmedo Premontano (13%).
- El Bosque seco Tropical esta por debajo de los 530 m con una media de lluvia de 1000 a 1300 mm.

- El Bosque seco Premontano tiene su límite inferior a 530 m y 1200 mm pero el límite superior es una combinación de hasta 1500m con una precipitación de algo mas de 1300mm
- El Bosque húmedo premontano va desde algo mas de 700 m con 1300 mm hasta mas de 1600 m con alrededor de 1200 mm. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.10

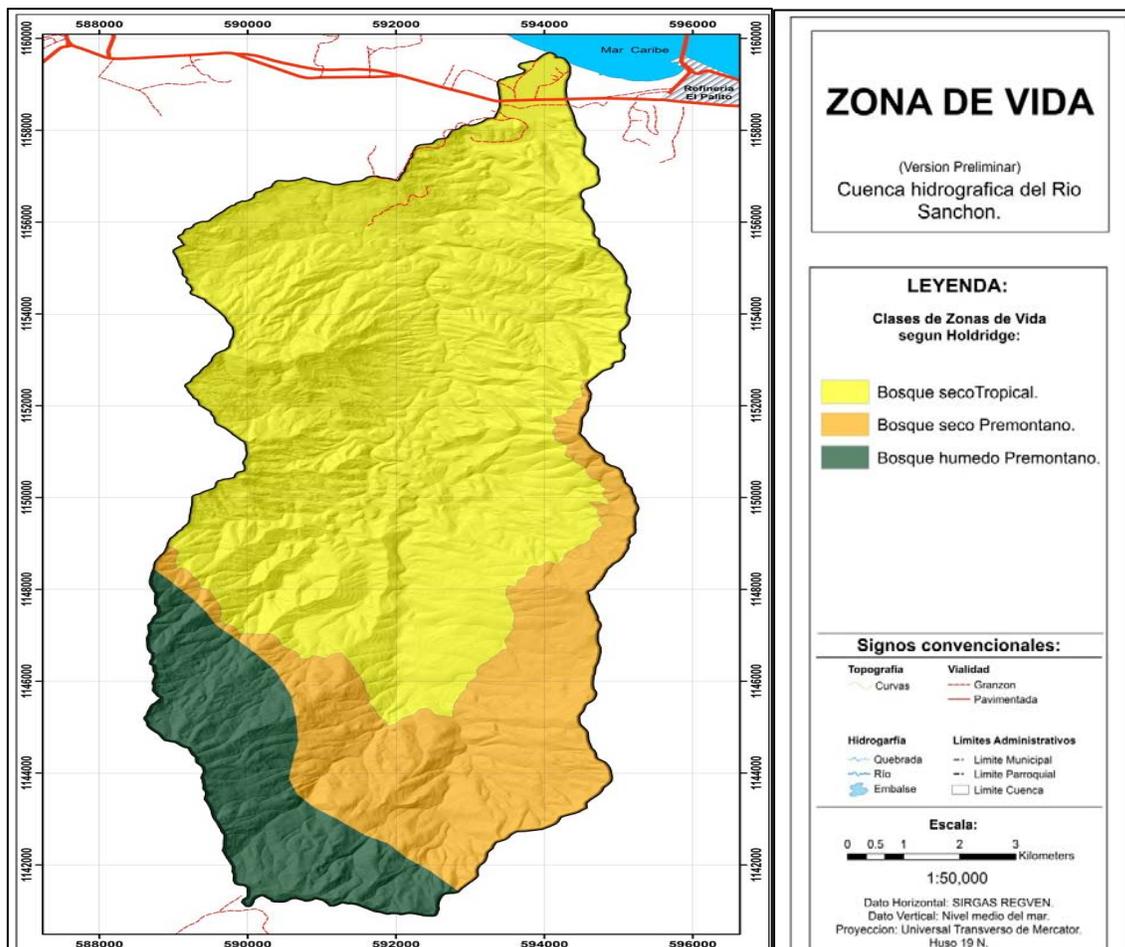


Figura IV.10. Zonas de vida en la cuenca del río Sanchón.
(PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de meses húmedos:

- El número de meses húmedos varía entre dos, en la zona mas baja, hasta más de 5 en la parte alta.

- Hay una cierta correspondencia entre las zonas de vida y los meses húmedos. Así, con alrededor de 3 meses predomina el Bosque seco Tropical, con cuatro meses también ocurre en el bosque tropical pero también ocurre en el seco Premontano. Mas de 5 meses húmedos predominan el Bosque húmedo Premontano pero también cubre parte del seco Premontano.
- Es de hacer notar que los meses húmedos pueden aumentar con el aporte del rocío, que es especialmente importante en la zona más alta, ya dentro del Bosque nublado.
- También es de hacer notar que los meses húmedos son atmosféricos y no han considerado la retención del suelo. Por ello este concepto aplicado a los suelos considera que la retención de humedad en parte de una sección del suelo puede dar origen a mayor número de meses húmedos para el régimen de humedad del suelo. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.11

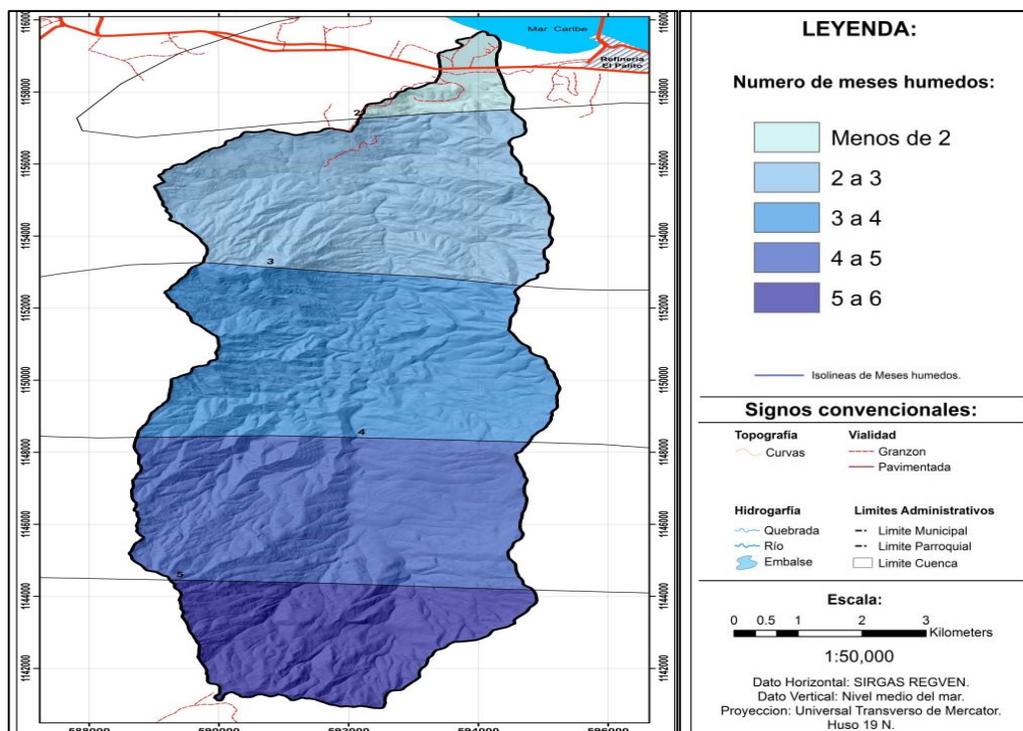


Figura IV.11. Modelo digital de meses húmedos en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características Geología:

- Se elaboró un modelo digital de elevación a partir de curvas de nivel, la red hidrográfica y puntos de altimetría. A partir de ese modelo, se derivó un mapa de pendientes.
- Así mismo, se desarrolló un mapa Fisiográfico utilizando el modelo digital e imágenes de satélite, de la cual se derivan varios parámetros de relieve, como las pendientes, tipos de laderas y el grado de cobertura de la vegetación.
- También se delimitaron los tipos de vertientes según la complejidad de las pendientes. En síntesis se produjeron dos mapas geomorfológicos, el de vertientes y el de pendientes predominantes.
- De la compilación del Mapa de Urbani se concluye que la gran mayoría de la cuenca, sobre todo la parte alta y media, están conformados por formaciones antiguas dominadas por Gneis de Peña de Mora y Esquistos del Complejo San Julian. Ambos son rocas metamórficas dominadas por cuarzo, feldspatos y mica. Dan como resultado productos ácidos.
- En la zona mas baja, hay rocas también metamórficas mas jóvenes, pero del Complejo Nirgua y Tacagua, con una litología mas básica dando como resultado suelos de mayores valores de pH. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.12.

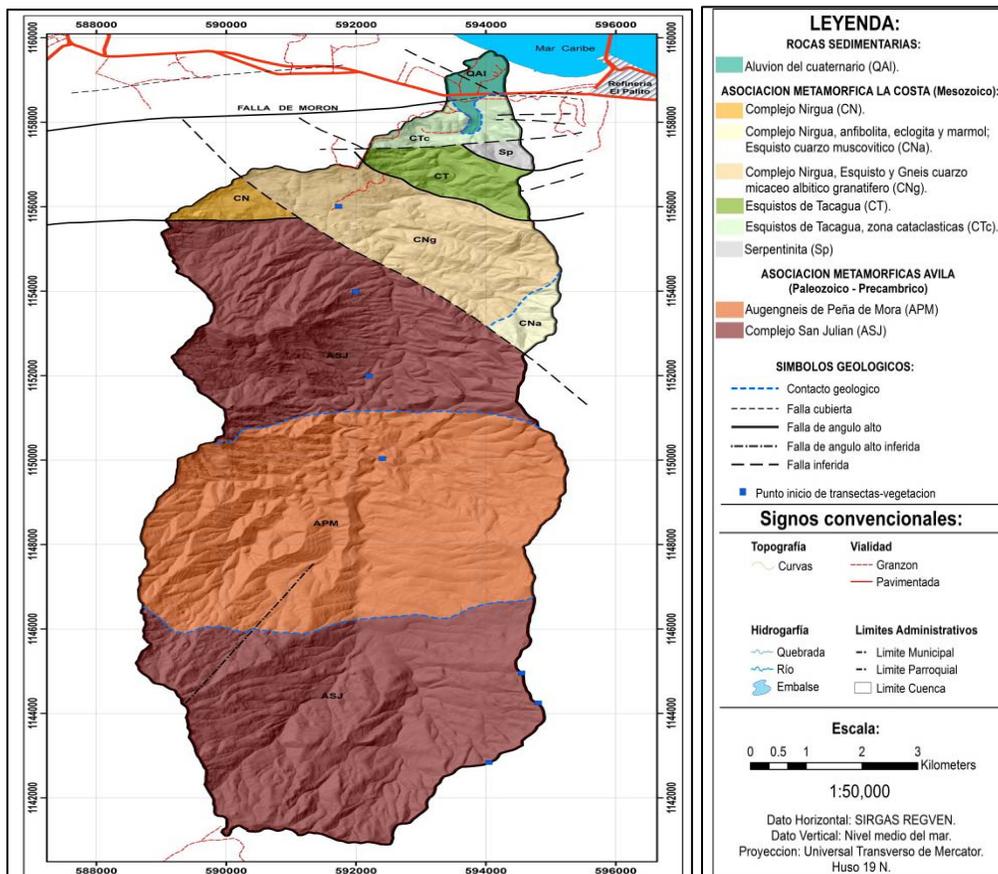


Figura IV.12. Mapa de geología en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de clases de pendientes:

- La clase de pendiente de mayor frecuencia (44%) es la de 20 a 45% la cual se denomina como de fuertes limitaciones
- Mas de 45 y hasta 60 % y mas de 60% corresponden a severas y muy severas limitaciones y cada una cubre el 22 % o un total de 44% de la cuenca.
- Esto deja 12% para moderadas limitaciones o entre 8 y 20 % de pendiente y muy pequeñas áreas mas planas
- En el mapa son visibles las zonas amarillas, entre 20 y 45% que corresponden a zonas un poco más planas rodeadas de áreas montañosas más pendientes. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.13.

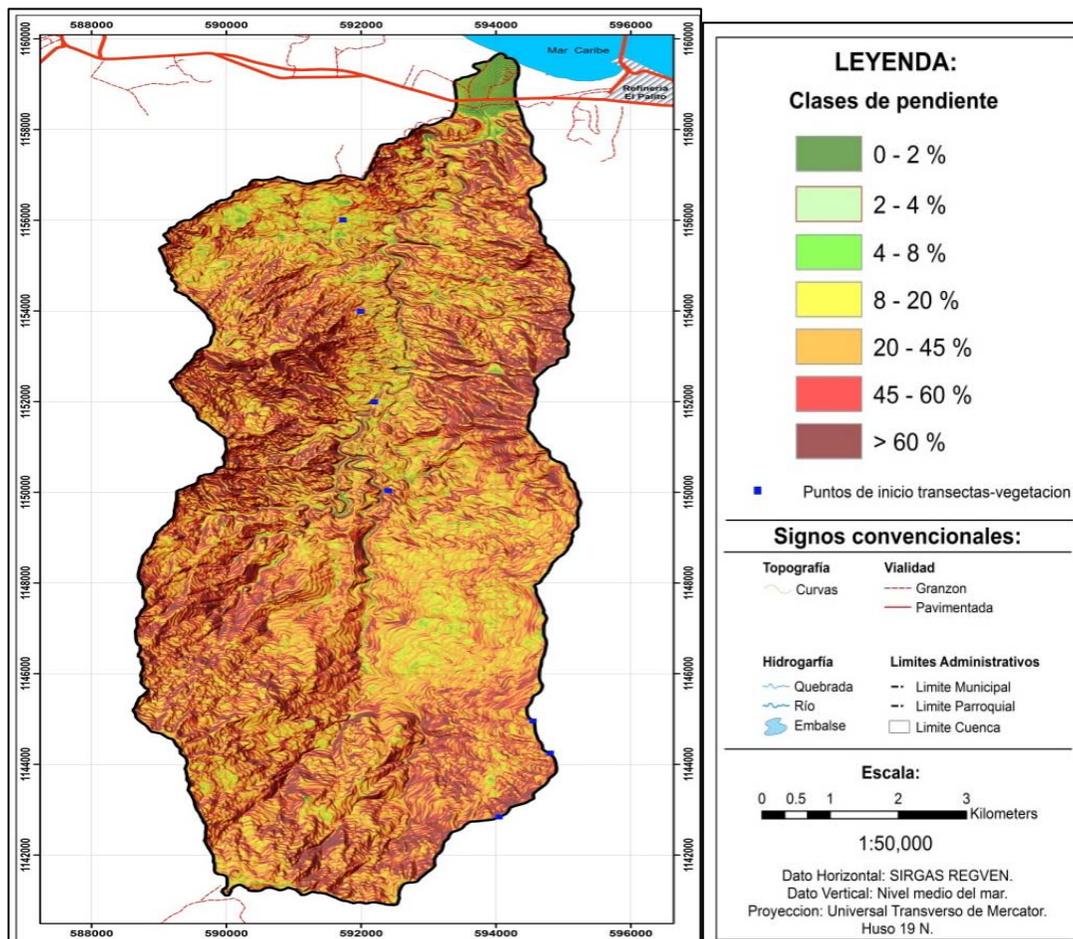


Figura IV.13. Modelo de clases de pendientes en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de Geomorfológicos por pendientes:

- Este mapa refleja solo dos grandes clases de pendiente, las de menos de 45% y de más de 45%.
- Cerca de la mitad de las pendientes en la cuenca tienen más de 45% y ello se considera que representa severas limitaciones al uso y altos riesgos de erosión.
- Ese límite de 45% representa también uno de los criterios para las clases de capacidad de uso y por ello al usarse como criterio en la leyenda de suelos obtendremos coincidencias con los mapas de capacidad de uso. Se obtuvo el mapa representado en la Figura IV.14.

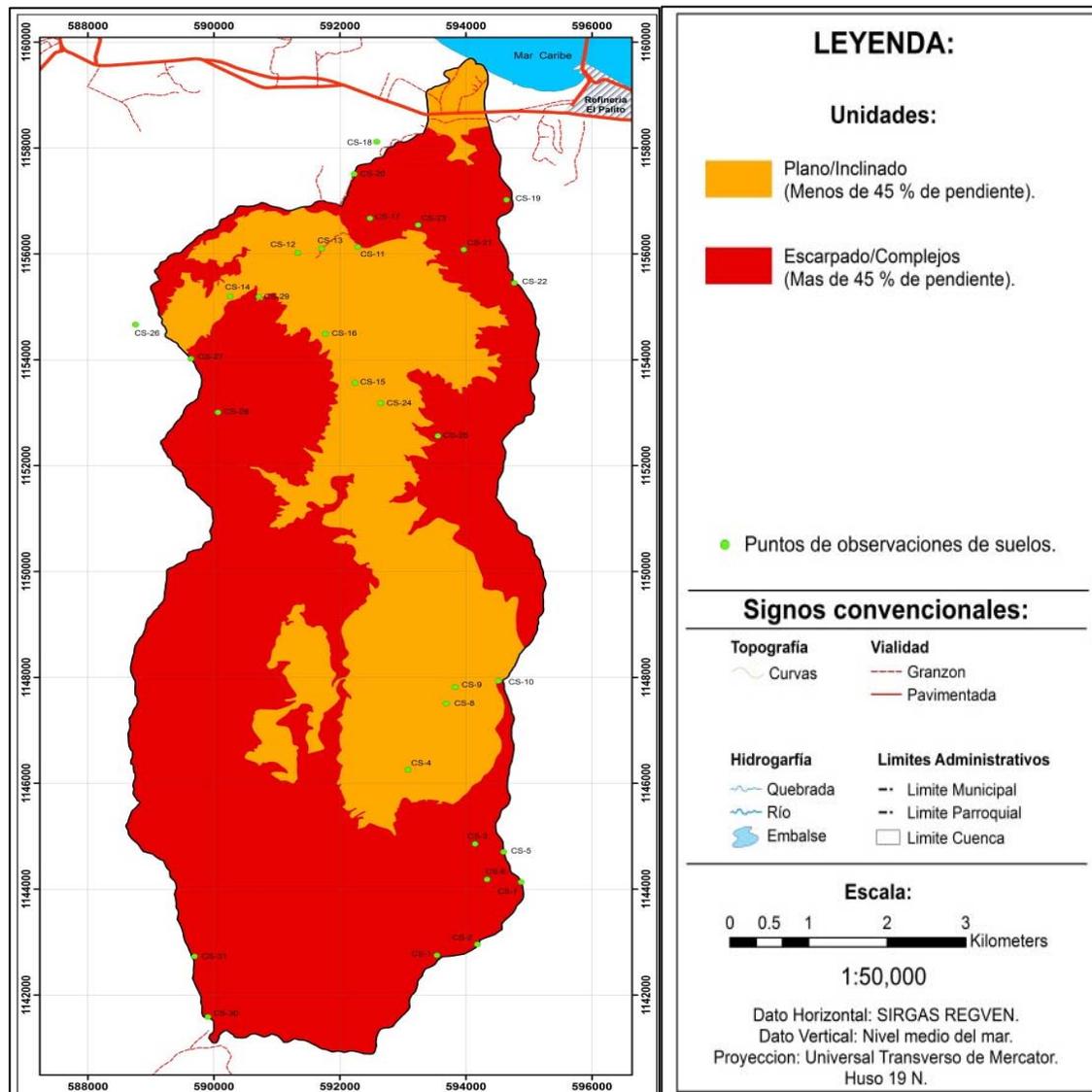


Figura IV.14. Unidades geomorfológicas por pendientes en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de Geomorfológicos por vertientes:

- Diferentes formas de vertientes, dominando la convexidad, la concavidad o siendo rectilínea
- La vertiente dominante en la parte mas alta es la cóncava –convexa, acompañada de un sector de rectilínea cóncava. Los procesos dominantes fueron los movimientos en masa con pendientes entre 20 y 60%

- La parte central de la cuenca esta dominada por vertientes rectilíneas y un pequeño sector de irregular y sus pendientes varían entre 8 y 60 % de pendiente.
- La zona norte o más baja esta dominada por una vertiente rectilínea convexa con pendientes predominantes entre 8 y 45 %. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.15.

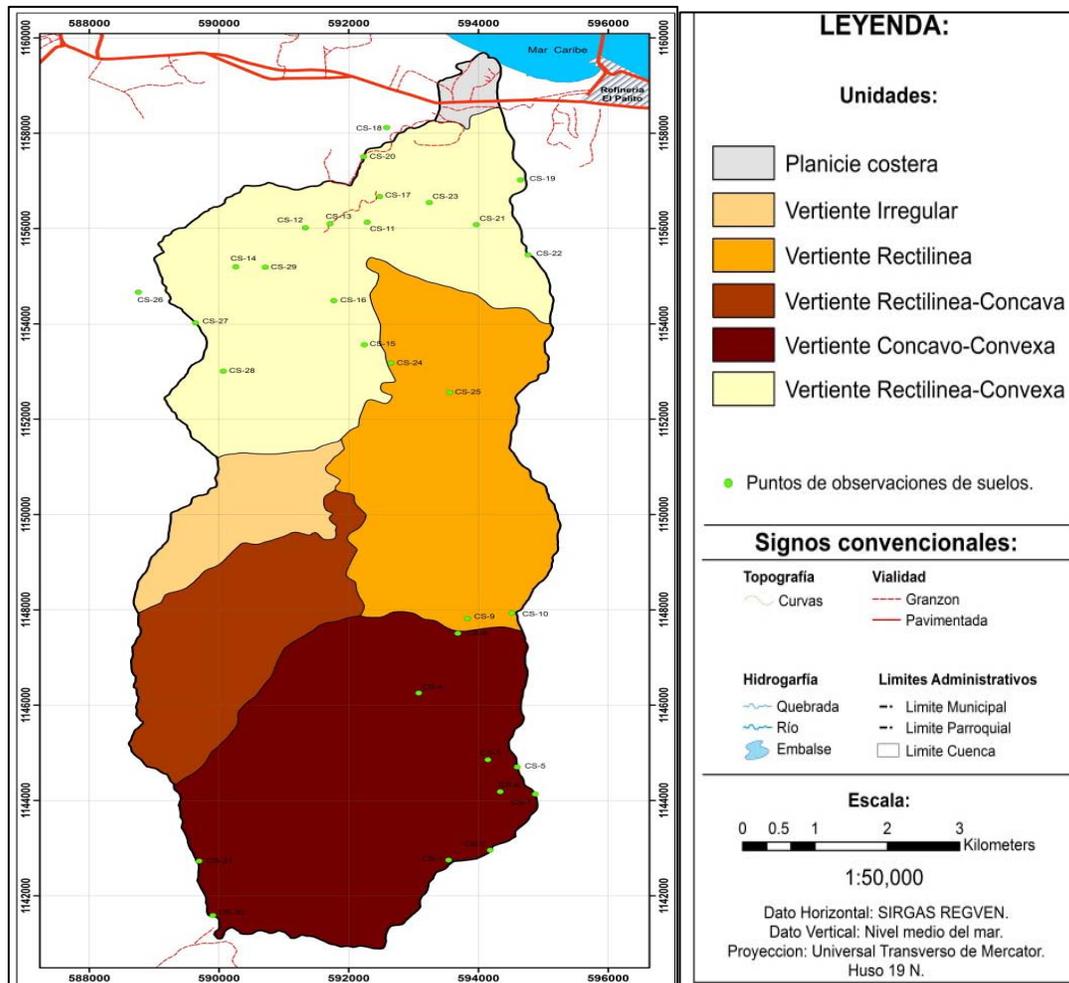


Figura. IV.15. Unidades geomorfológicas por vertientes en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características de los suelos: Tomando en especial consideración las pendientes, la geología, las zonas de vida y la fisiografía, se seleccionaron 31 sitios de muestreo de los suelos. En cada localidad se describió una calicata hasta cerca de 2 m, se describió el entorno topográfico, de erosión y de tipo de cobertura. Se muestrearon los suelos por horizontes, se analizaron en el laboratorio y se clasificaron

genéticamente por la taxonomía 2014 y por su capacidad de uso. Se obtuvo el mapa representado en la Figura IV.16.

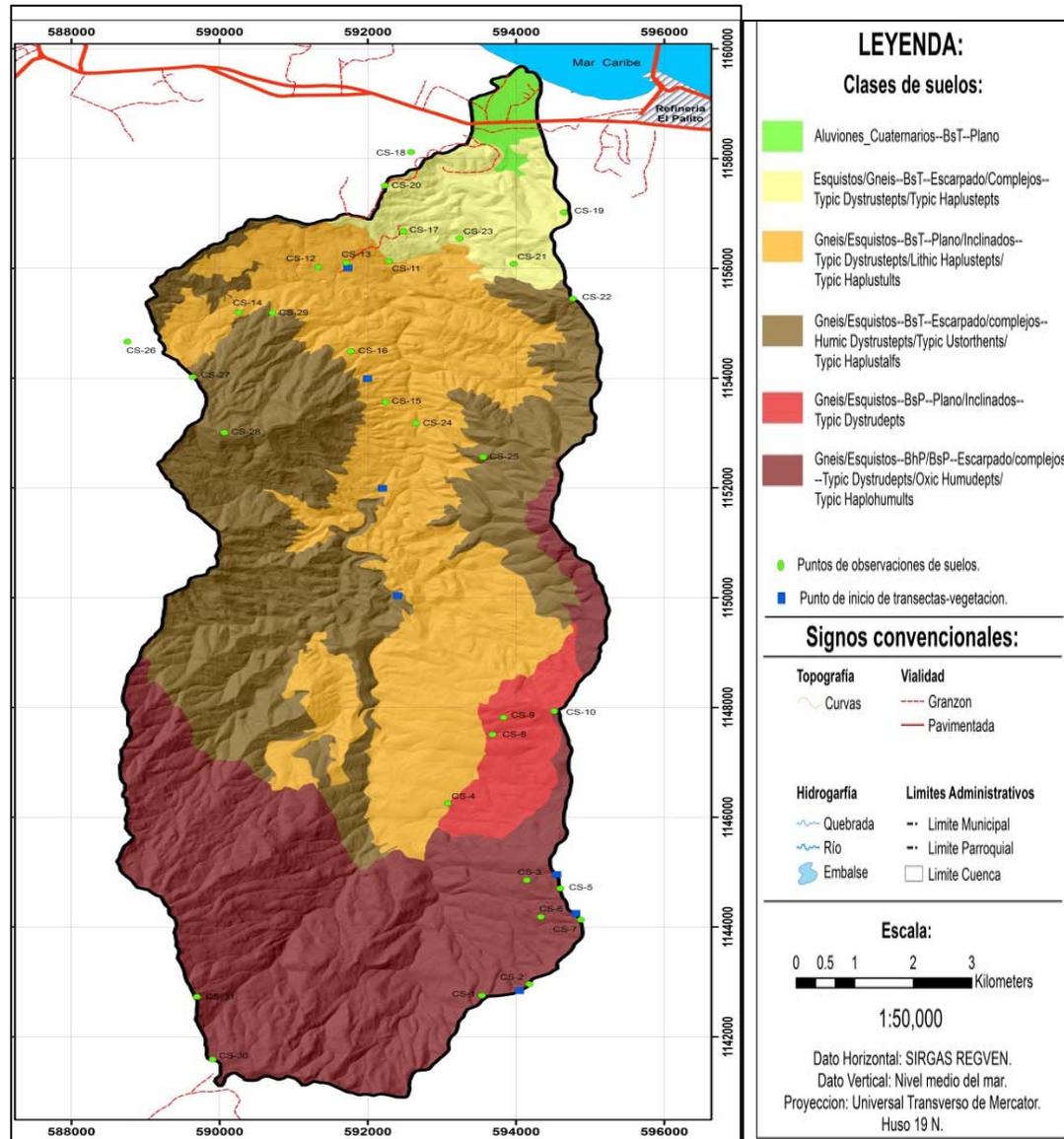


Figura IV.16. Mapa de suelo en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Características por capacidad de uso: Para ello cada sitio muestreado fue clasificado en el sistema de capacidad de uso de las tierras de Venezuela, hasta nivel de subclases específica, para denotar el tipo y grado de limitaciones que afectan cada localidad para su potencial de uso agrícola, pastizal, forestal o conservacionista. Resultando:

- En todas las unidades cartográficas de capacidad de uso está presente la clase VI. En todos los casos su principal limitante es la pendiente.
- La zona sur y más alta de la cuenca (35%) esta dominada adicionalmente por las clases VII y VIII, cuya principal limitante es la pendiente y la muy baja fertilidad.
- La zona central (30%), relacionada con la zona de plano inclinado, esta dominada por la clase VI y algo de VII, en ambos casos con problemas de pendiente, pero también de fertilidad, profundidad efectiva y algo de rocosidad.
- Las zonas de vertientes laterales, tanto occidental como oriental (30%), también domina la Clase VI y algo de VII con pendiente , fertilidad rocosidad y bastante de profundidad
- La zona más baja (6%), combina la Clase VI con la IV siendo las limitantes la pendiente, la rocosidad y la profundidad. Se obtuvo el siguiente mapa representado en la Figura IV.17.

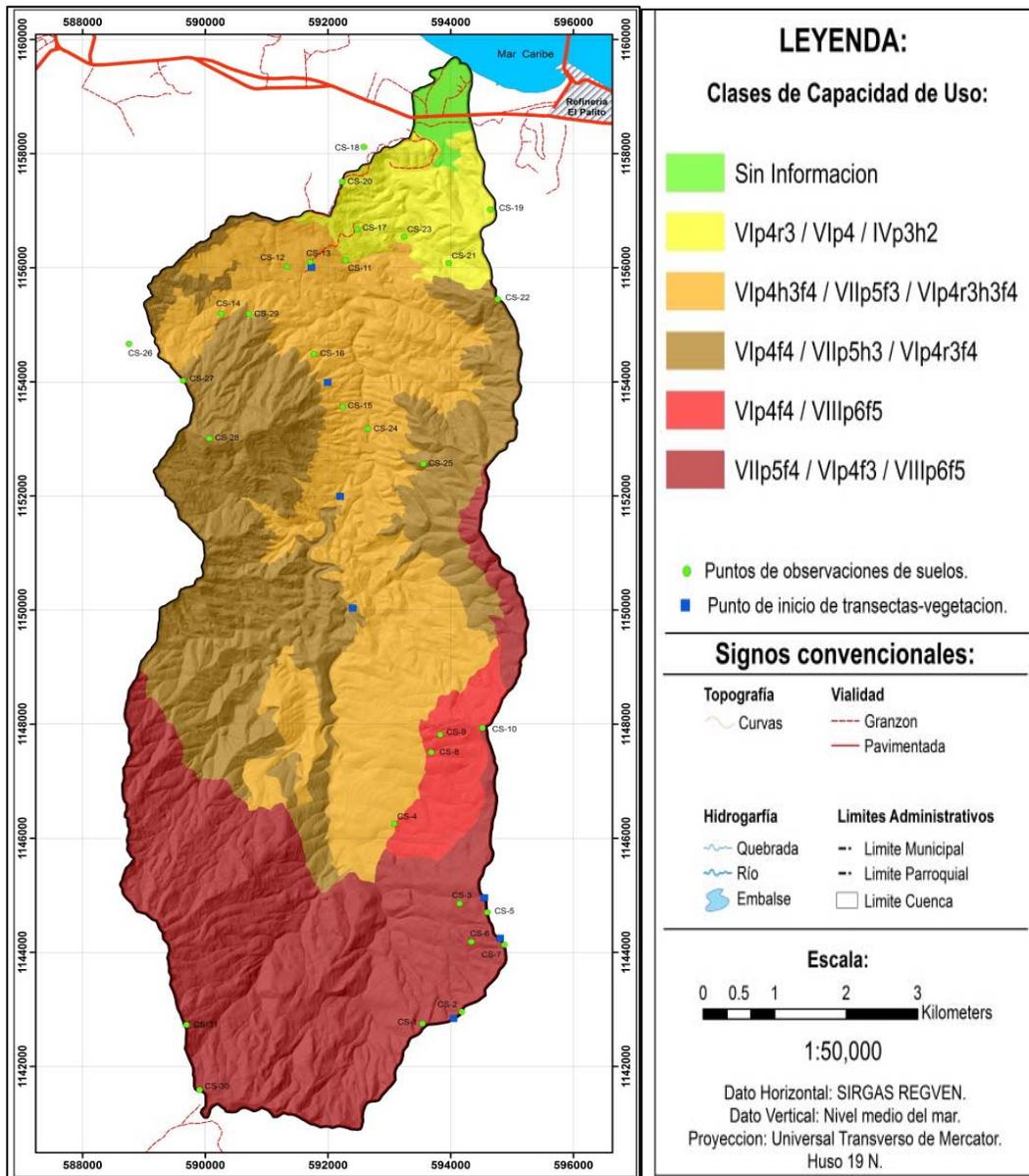


Figura IV.17. Mapa capacidad de uso en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Caracterización de la erosión: Para su caracterización se realizó un mapa de la erosión actual basado en las observaciones de campo. Así mismo, se elaboró un mapa del riesgo de erosión actual, usando la ecuación de la USLE con sus parámetros estimados para a la zona (R, K, S, L y C). Con la misma ecuación, pero con el escenario de eliminación de la cobertura vegetal, se elaboró el mapa de riesgo potencial de erosión. La diferencia entre los dos riesgos, o delta de erosión, se usó para reflejar el impacto de la eliminación de la vegetación sobre la erosión de la cuenca. En general, el potencial de erosión es alto en toda la cuenca debido a las fuertes pendientes. No obstante, se estiman bajas tasas de erosión actual en razón de la cobertura de bosques. Las áreas de mayor tasa de erosión actual corresponden con aquellas donde la vegetación ha sido intervenida. De las observaciones de campo se sintetizó:

- El bajo grado de erosión en que se encuentran sus suelos. En general no se observa rastros de erosión laminar, en surco y menos en cárcavas.
- Fue posible notar que en las escalas de erosión que se usan en evaluación de tierras, el grado imperceptible es el más generalizado para la cuenca alta y media. Para la cuenca baja, en las descripciones se encuentran mas valores de erosión ligera lo cual implica cierta remoción del horizonte superficial.
- Solo en pequeñas áreas relacionadas con la actividad antrópica, como vialidad y otras infraestructuras se puede llegar a denominar el grado de erosión moderada. La erosión actual se puede observar en la Tabla IV.17 y se obtuvo el mapa representado en la Figura IV.18:

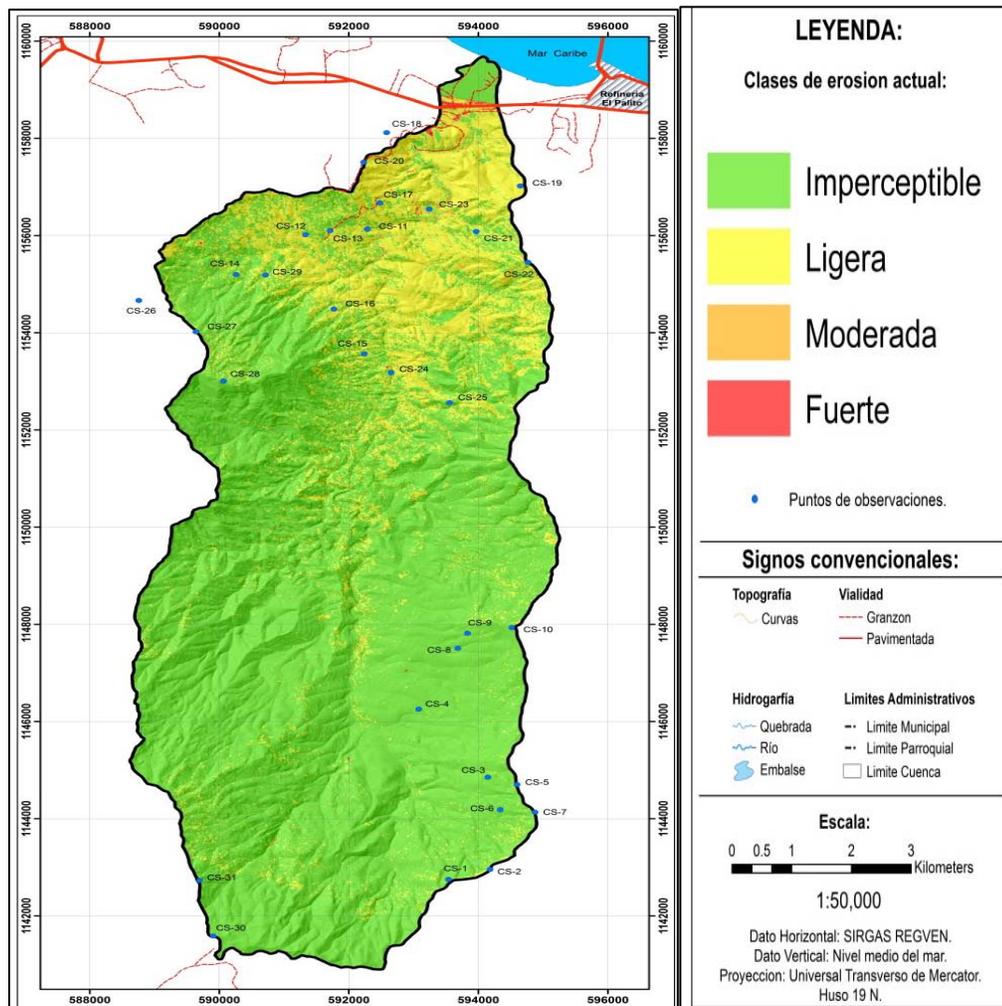


Figura IV.18. Mapa de erosión en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Tabla IV.17. Clases erosión actual.

Clases erosión actual	ha	%
Imperceptible	6890	79.1
Ligera	1815	20.5
Moderada	27	0.3
Fuerte	13	0.1
Total	8745	100

Caracterización de los riesgos de erosión actual:

- Dado el alto grado de cobertura de la vegetación actual de casi toda la cuenca se obtiene que el 83.5 % de la misma cae en clase muy débil. Hay un 13.6% adicional que es de clase débil. Todos ellos predominan en la zona alta e intermedia de la cuenca reflejada por su densa cobertura vegetal reduciendo al mínimo el riesgo de erosión actual.
- La clase de riesgo moderada que abarca cerca del 3% esta en la zona baja de la cuenca donde hay mas actividad antrópica, como vialidad y otras infraestructuras, además de ser la zona mas seca y que posiblemente sufrió mas deforestación en el pasado.
- El riesgo de erosión potencial se manifiesta bajo el escenario de eliminar la vegetación actual. Bajo ese escenario, las fuertes pendientes que ocurren en la cuenca juegan el rol principal en causar erosión. Así, el 52 % pasan a clase fuerte, 15% muy fuerte y 30% severa.
- Las pocas zonas más planas están dominadas entonces por un 3% de clase de riesgo potencial débil. Esas cifras denotan el desastre que ocurriría de dejar que la cobertura actual sea eliminada. Se obtuvo el mapa representado en la Figura IV.19.

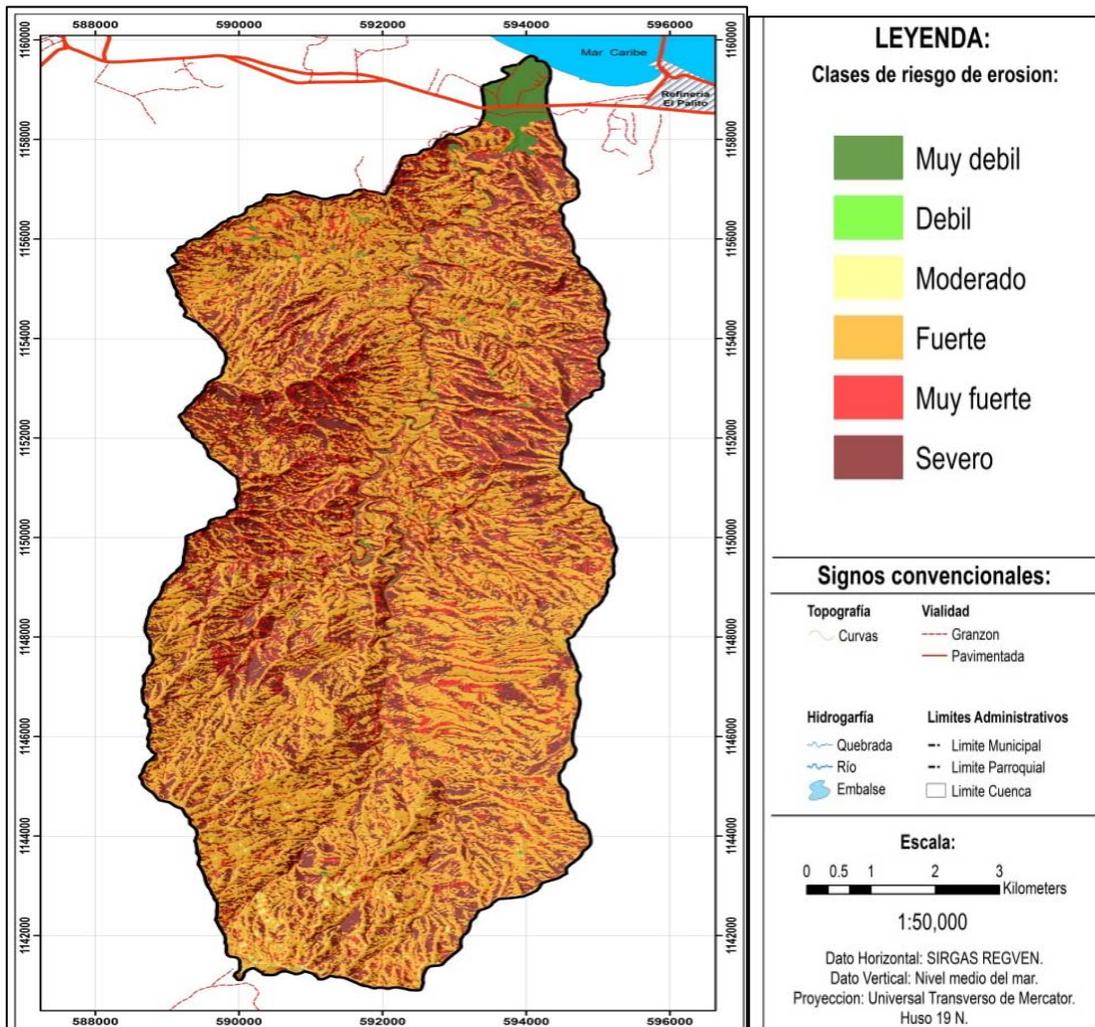
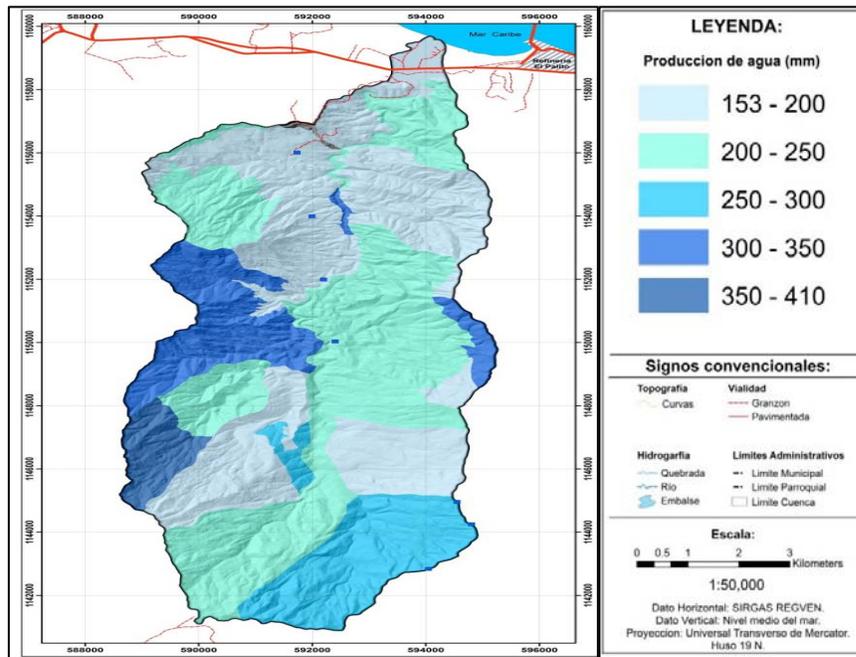


Figura IV.19. Mapa de riesgo de erosión actual en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

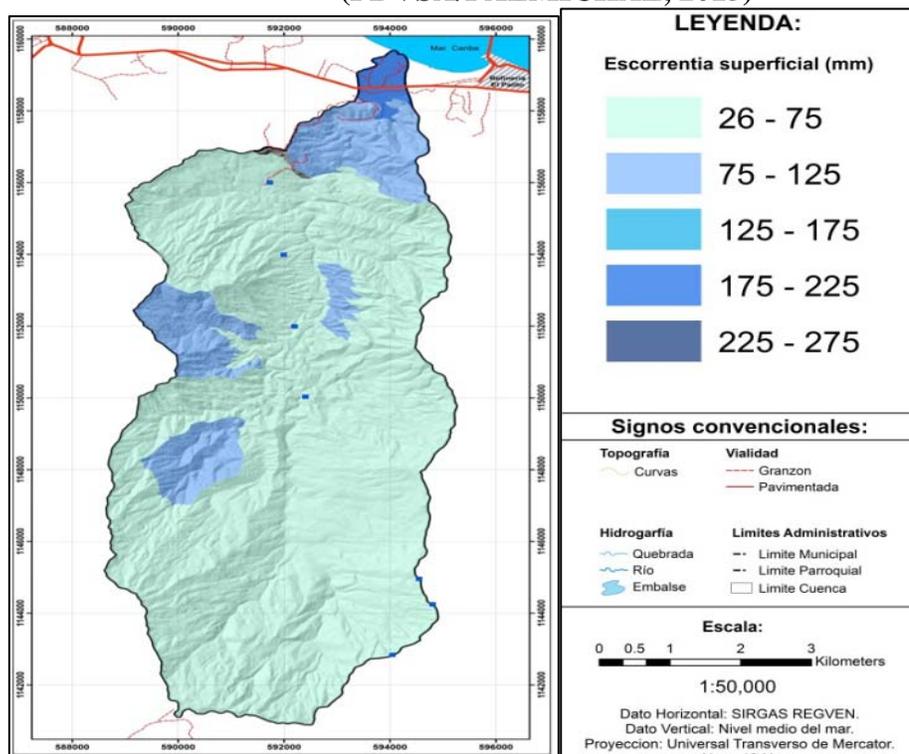
Caracterización de la producción de agua: Se empleó el modelo SWAT calibrado según los registros de aforo de 22 meses. La cuenca se representó con 46 HRU (Unidades de Respuesta Hidrológica) delineadas según hidrografía y suelo. A cada HRU se le asignó la formación vegetal predominante. Se asignaron variaciones en el coeficiente de potencial de escorrentía (Número de Curva) en correspondencia con el grado de intervención. Se empleó la precipitación diaria de tres estaciones vecinas (Enero 2009 a Mayo de 2015).

En general, la producción de agua se compone de una menor proporción de escorrentía superficial y mayor de flujo base, lo cual es considerado adecuado. En áreas de mayor intervención, tiende a ser mayor, e inconveniente, la fracción de escorrentía superficial. Las mayores magnitudes de producción de agua se presentan en el área media-alta oeste de la cuenca (mayor precipitación). En las áreas más altas la magnitud de la producción de agua no es la mayor debido a la menor precipitación que en el extremo medio-alto oeste, y vegetación más densa (más retención, infiltración y evapotranspiración).

En la mayor parte de la cuenca la fracción de flujo base es alta. En sectores bajos e intervenidos de la cuenca, esta fracción es menor. Igualmente, el potencial de recarga de los acuíferos en estas áreas. Se obtuvieron los mapas representados en las Figuras IV.20, IV.21, IV.22, IV.23 y IV.24.



IV.20. Producción de agua en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)



IV.21. Escurrentia superficial en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

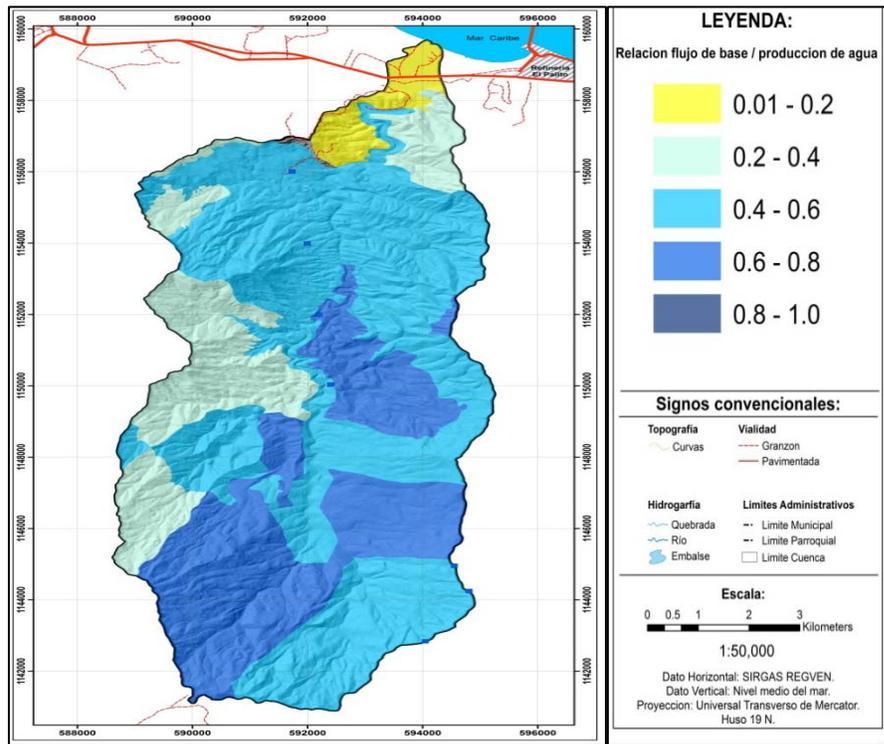


Figura IV.22. Relación Flujo de base / producción de agua en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

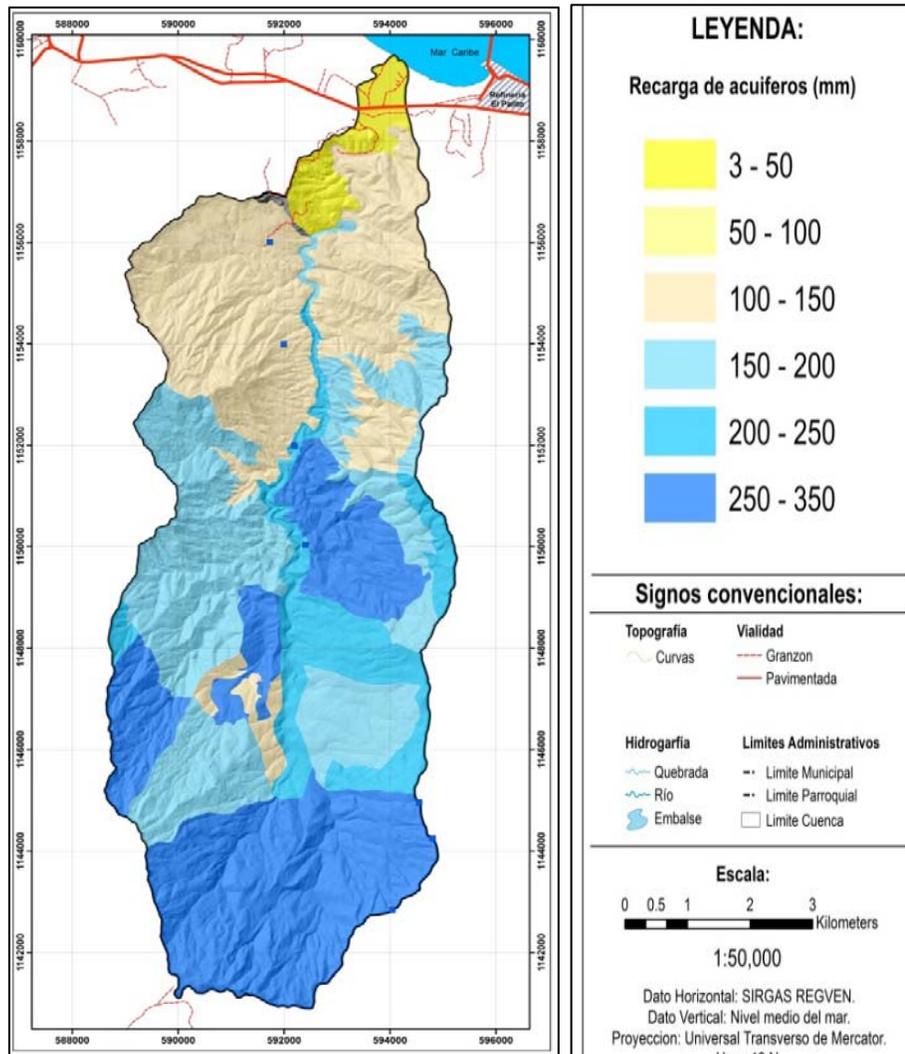


Figura IV.23. Recarga de acuíferos en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA/PALMICHAL, 2015)

Caracterización de los riesgos de incendios: Se tomó como base el mapa de vegetación, estimando diferentes valores de combustibilidad para cada tipo de vegetación, y los mapas de precipitación y de temperatura, los cuales representan la vulnerabilidad, confrontado ellos con la amenaza de ignición, la cual queda reflejada en las vías de comunicación y otros elementos antrópicos que pudieran ser disparadores del fuego.

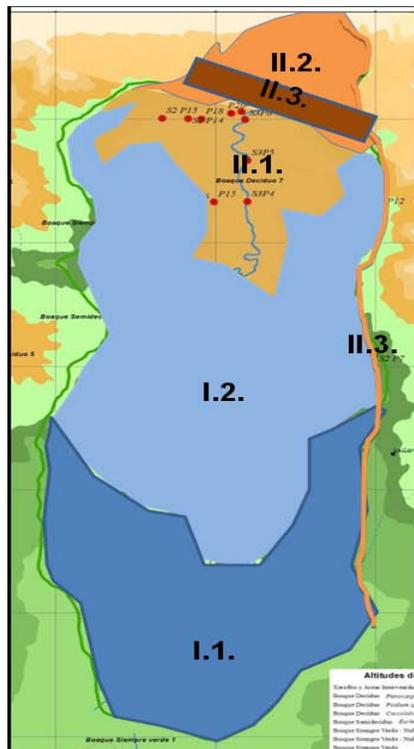
Caracterización de la fragilidad ambiental: Por ello se entiende la susceptibilidad del medio ante fenómenos naturales (lluvias, deslizamientos, incendios, etc.). Se analizó la vegetación como receptor, el daño manifestado por la erosión y la capacidad de

recuperación por la vegetación y el suelo. Se logró una calificación de los diferentes sectores de la cuenca en alta, moderada y baja fragilidad.

Caracterización de las áreas críticas ambientales: En una cuenca cuya misión fundamental es la producción de agua, los puntos críticos son la producción de sedimentos (negativo) y la producción de agua (positivo) de las diferentes subcuencas. Para lograr su aplicación se superponen los mapas de fragilidad, producción de agua y riesgo de erosión potencial.

Caracterización de la zonificación: Basados en la determinación de la fragilidad y de las áreas críticas de la cuenca, se recomienda una zonificación, por criterio de expertos, hacia usos y manejos que permitan la sostenibilidad y cumplir los objetivos de los servicios ambientales que debe prestar la cuenca (producción de agua, biodiversidad, captura de C, investigación, etc.). Entre otras categorías se contempla: preservación, recuperación y áreas con posibilidades de usos.

Con los resultados anteriores se pudo obtener las Tablas IV.19 y IV.18 y la Figura IV.24.



Nombre de las Unidades de Ordenamiento	Nombre de las Subunidades de Ordenamiento
Unidad I. Preservación para producción de agua	✓ Subunidad I.1. Bosque Nublado y nublado de transición
	✓ Subunidad I.2. Bosque siempre verde y semidecíduo
Unidad II. Manejo.	✓ Subunidad II.1 Protección del Bosque decíduo
	✓ Subunidad II.2. Ambiente Natural Manejada
	✓ Subunidad II.3. Protección de obras públicas
	✓ Subunidad II.4. Servicios
	✓ Subunidad II.5. Protección Cultural

Figura IV.24. Distribución de las unidades en la cuenca del río Sanchón. (PDVSA, 2015)

Tabla IV.18. Criterios de ordenamiento para aplicación de investigación, monitoreo y control.

Nombre de las Unidades de Ordenamiento	Nombre de las Subunidades de Ordenamiento	Criterio Ordenamiento
Unidad I. Preservación.	✓ Subunidad I.1. Productora de Agua.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bosques nublados, bosque nublados de transición y bosque siempre verde. ▪ Zonas escarpadas. ▪ Mayor recargas de acuíferos. ▪ Mayor producción de agua. ▪ Bosque deciduo ▪ mayor riesgo de erosión potencial.
	✓ Subunidad I.2. Suelos y Bosques.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zonas escarpadas con planos inclinados. ▪ Mediana recargas de acuíferos. ▪ Mediana producción de agua. ▪ Mediana precipitación. (mayor zona) ▪ Mediana escorrentía superficial. ▪ Bosque deciduo.
Unidad II. Protección.	✓ Subunidad II.1. Bosque Deciduo sobre Planos Inclinados de Media - Alta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mediana recargas de acuíferos. ▪ Mediana escorrentía superficial. ▪ Mediana a baja producción de agua. ▪ Moderada a fuerte erosión potencial. ▪ Planos inclinados. ▪ Bosque deciduo.
	✓ SUBUNIDAD II.2. Bosque Deciduo sobre Planos Inclinados Pendientes de Media - Baja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja recargas de acuíferos. ▪ Mediana escorrentía superficial. ▪ Baja producción de agua. ▪ Moderada a fuerte erosión potencial. ▪ Ligera erosión actual. ▪ Planos inclinados. ▪ Área de transición de bosque deciduo a matorral xerofito intervenido.
Unidad III. Manejo	✓ Subunidad III.1.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja recargas de acuíferos. ▪ Alta escorrentía superficial. ▪ Mediana a baja producción de agua. ▪ fuerte a moderada erosión potencial. ▪ Ligera a moderada erosión actual. ▪ Capacidad de uso de la tierra 4 y 7. ▪ Zonas escarpadas. ▪ Infraestructura para guardería ambiental e investigación. (campamentos, caballerizas y potreros)
	✓ SUBUNIDAD III.2. Especial.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Área de protección de obras de públicas. (sistema de transmisión, presa, ferrocarril, autopista, gaseoducto STH Altagracia - Morón y pozos de agua). ▪ Bienes de Interés Cultural.

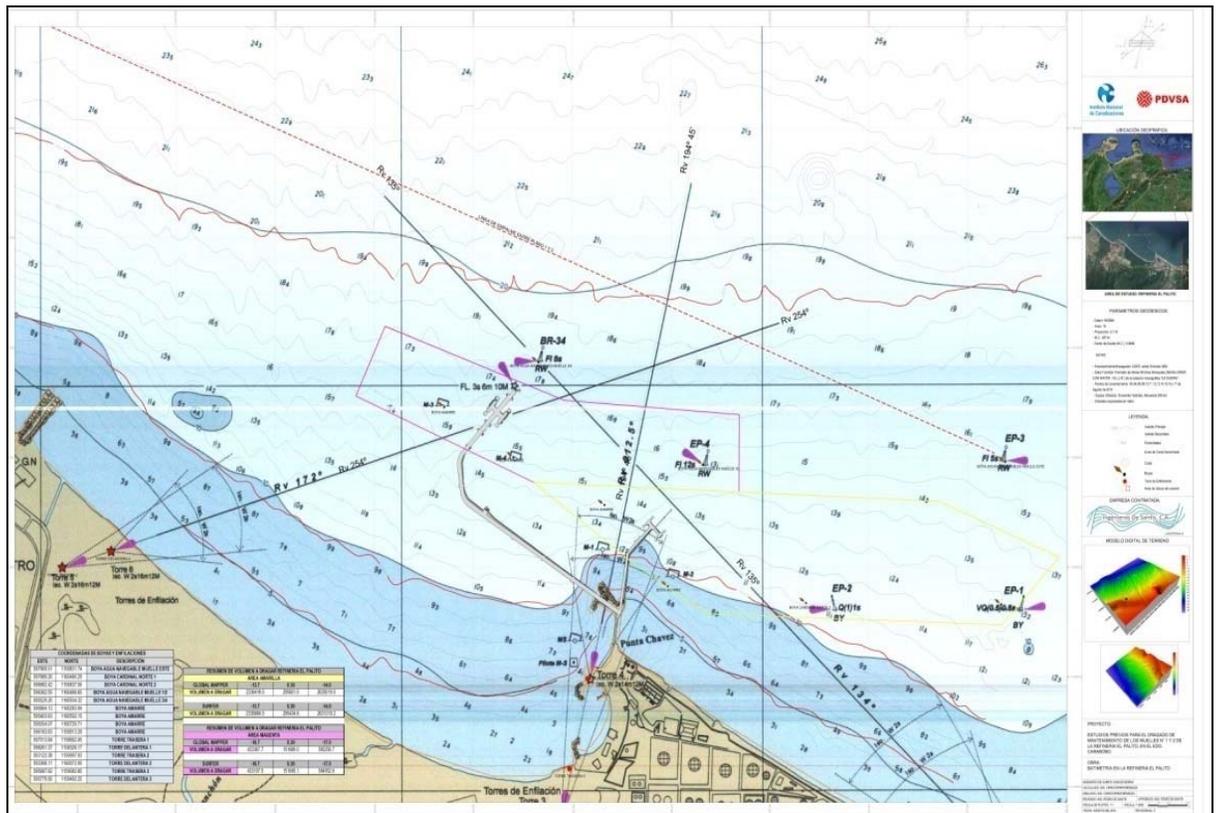
Tabla IV.19 Asignación de Usos y Actividades en las Unidades y Subunidades de Ordenamiento de la Zona Protectora y Reserva Nacional Hidráulica Cuenca del río Sanchón, Carabobo

USO	Unidades y Subunidades de Ordenamiento Actividad	Unidad I. Preservación. para producción de agua		Unidad II. Manejo.				
		Subunidad I.1. Bosque Nublado y nublado de transición	Subunidad I.2. Bosque siempre verde y semidecuido	Subunidad II.1 Protección del Bosque decuido	Subunidad II.2. Ambiente Natural Manejada	Subunidad II.3. Protección de obras públicas	Subunidad II.4. Servicios	Subunidad II.5. Protección Cultural
1. Recreacional	1.1. Recreación Activa	Pr	Pr	R	R	Pr	R	R
	1.2. Recreación Pasiva	Pr	Pr	R	R	Pr	R	R
2. Turístico	2.1. Turística - Hotelera	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
	2.2. Turística - Campamento y Posadas	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
	2.3. Agroturística	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
3. Residencial	3.1. Residencial	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
4. Comercial	4.1. Expendio de Alimentos y Bebidas	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
	4.2. Venta de Artículos	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
5. Agrícola	5.1. Agrícola Vegetal	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
	5.2. Explotación especies forestales.	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
	5.3. Agrícola Animal.	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
	5.4. Pesca y Acuicultura	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
6. Minería	6.1. Extracción o procesamiento de minerales	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
7. Conservación	7.1. Protección	P	P	P	P	P	P	P
	7.2. Extracción de flora con fines científicos y de recuperación .	R	R	R	R	R	R	R
	7.3. Extracción de flora.	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
	7.4. Introducción de especies exóticas.	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
	7.5.							
	7.6. Caza y Pesca con fines científicos	R	R	R	R	R	R	R
	7.7. Caza y Pesca	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
8. investigación y Monitoreo	8.1. Saneamiento y Recuperación	P	P	P	P	P	P	P
	8.2. Monitoreo Ambiental	P	P	P	P	P	P	P
	8.3. Investigación Arqueológica y Paleontológica	R	R	R	R	R	R	P
	8.4. Conocimiento e Investigación	R	R	R	R	R	R	R
9. Infraestructura y Equipamiento	9.1. Abastecimiento de Agua Potable	R	R	R	R	R	P	N
	9.2. Sistemas de Aguas Servidas y Drenajes	N	N	N	R	R	R	N
	9.3. Manejo de Desechos Sólidos	N	N	N	R	R	R	N
	9.4. Vialidad	N	N	N	R	R	R	N
	9.5. Vías de Servicio	R	R	R	R	R	R	R
	9.6. Caminerías	R	R	R	R	R	R	R
	9.7. Señalización	R	R	R	R	P	P	R
	9.8. Telecomunicaciones	R	PR	R	R	P	P	N
	9.9. Sistema de Suministro Eléctrico	R	R	R	R	P	P	N
	Helipunto	R	PR	R	R	PR	R	N
10. Educativo e Interpretativo	10.1. Educación Ambiental	R	R	R	P	N	P	P
11. Guardería Ambiental	11.1. Administrativo y Gubernamental	PR	PR	PR	PR	N	R	PR

11.2.	Guardería y Vigilancia Ambiental	P	P	P	P	P	P	P
11.3.	Caballerizas y Potreros	PR	PR	PR	R	PR	P	N

*Incluye Estaciones meteorológicas, hidrológicas, de calidad de aire, agua, parcelas de monitoreo de vegetación, tanque australiano .Leyenda de usos y actividades: P, permitidas; R, restringidas; N, no aplican; Pr, Prohibidas.

El estudio del mar se realizó siguiendo el plano del Portulano El Palito, de la Dirección de Hidrografía y Navegación de La Armada, Plano N° Dhn-319, escala 1:15.000. Como se observa en la Figura IV. 25.



**Figura IV.25 . Zona de estudio de mar y resultados de movimiento de agua.
(PDVSA, 2015)**

A continuación se describen las variables evaluadas, así como el resultado del análisis:

Condiciones Hidráulicas:

- **Oleaje:** El primer aspecto a verificar es la movilidad del material debido a la acción directa y constante del oleaje que puede generar movimiento del material de fondo (ya

descargado por la acción del dragado), es decir, que la zona de descarga puede ser inestable al grado que por la acción propia del oleaje el material pudiera retornar al sitio de dragado o hacia la zona costera. Este aspecto se verificó para dos condiciones: para un tipo de oleaje cotidiano o producido por la acción directa del viento o para un oleaje extremo producto de la acción de tormentas y huracanes. De esto, se estableció, que para profundidades mayores a los 30 a 40 metros no existe movimiento de sedimentos por efecto directo del oleaje. Dentro de estos parámetros o factores costeros no se consideró el efecto de las corrientes ya que su influencia es muy baja y la misma se relaciona directamente con la dispersión del material a ser descargado en una zona de bote específica.

- **Dispersión del material:** Con respecto a la dispersión, en primera instancia se evaluó a partir de los 10,00 metros ya que la draga no puede operar en profundidades menores a ésta. Observando los resultados se puede apreciar que para profundidades menores a los 40,00 metros la dispersión se incrementa debido al aumento de las corrientes cercanas a la costa y que aun cuando para profundidades mayores a los 50,00 metros las velocidades son muy bajas (por el orden de los 0,10 m/s a 0,05 m/s), la dispersión se incrementa debido a la profundidad (Columna de agua)
- **Morfología:** Este es otro aspecto de suma importancia debió a la forma de la costa y tiene relación directa con los patrones de corrientes y oleaje; por ello que se estima que para profundidades menores a los 30,00 metros, se puede generar perturbación a la costa debido a la influencia del oleaje y por la forma propia de la costa.

Condiciones Operativas:

- **Ciclo de Dragado / Tiempo de dragado / Viabilidad:** Inicialmente hay que mencionar que para profundidades menores a los 14,00 metros no tiene sentido evaluar este aspecto ya que es la profundidad de dragado. Así mismo, los tres parámetros sobre las condiciones operativas tienen relación directa. Por otra parte, entre mayor es la distancia desde la zona de dragado hasta la zona prevista para la descarga, genera una disminución del rendimiento de las dragas, por ente el volumen de dragado, incrementándose el tiempo de operación y permanencia de las dragas en el sitio. Por ejemplo se puede observar que para una profundidad de 45,00

metros (situada a una distancia desde la zona de dragado de aproximadamente 11,12 kilómetros), el tiempo de ejecución es de 16 meses y una draga de tolva requiere de un tiempo total (ciclo de dragado) de 2,54 horas y la de Clam Shell puede ejecutar 3 ciclos al días; sin embargo, al incrementar la distancia a 27,00 kilómetros, el tiempo de ejecución aumenta a 44,00 meses, un ciclo de la draga de tolva se incrementa a 5,43 horas y la draga tipo Clam Shell puede solamente hacer un ciclo por día; todo ello incrementa los costos, aunado a la presencia de las dragas en el sitio de operación.

Condiciones Ambientales:

- Condiciones Existentes en el Fondo: A partir de la línea costera hasta la profundidad de 40,00 metros, es la zona con mayor presencia de organismos coralinos blandos con esqueleto calcáreo, esponjas, además de diversas especies de crustáceos, decápodos, entre otros. A partir de los 40,00 metros hacia mayores profundidades se encuentran en menor cantidad organismos coralinos varios y esponja, ya que en esta zona se inicia el arrecife profundo y zonas abisales.
- Organismos Presentes en la Zona: A profundidades menores a los 30,00 metros se ubica la zona de mayor productividad biológica (Fitoplancton y Zooplancton), siendo la base de la cadena trófica. A partir de los 30,00 metros hacia aguas profundas, la productividad es menor ya que luminosidad disminuye y por tanto la base de la cadena trófica (Fitoplancton y Zooplancton) no puede realizar sus funciones reproductivas por la disminución lumínica en estas profundidades.
- Afectación a la Pesca: Desde la línea costera hasta una profundidad aproximada de 30,00 metros se ubica la zona de mayor producción pesquera, donde se puede encontrar las diversas especies de interés económico y paisajístico. A partir de los 30,00 metros hacia aguas profundas, esta producción disminuye con la profundidad debido a que los cardúmenes de peces, crustáceos, Fitoplancton y Zooplancton no se encuentran a profundidades mayores a esta en la zona.
- Limite Zona Pesquera Establecida: 14 millas náuticas: De acuerdo a Insopesca, la zona costera del Estado Carabobo para efectos de la actividad pesquera comienza desde la línea

costera hasta una distancia de 27,00 kilómetros; sin embargo, a esta distancia existen profundidades iguales o mayores a 216,50 pies (66,00 metros de profundidad). En la Tabla IV.20 se presenta en forma resumida las distancias y profundidades mínimas para el emplazamiento de la zona de descarga del material a ser dragado.

Tabla N° IV.20 Localización de la zona de descarga.

Parámetros	Profundad Mínima	Distancia mínima a la Costa
Hidráulicos	45,00	11,12 km (6 Millas Náuticas)
Operativos	20,00	1,70 Km (1 Milla Náutica)
Ambientales	65,00	27,00 Km (15 Millas Náuticas)
Conclusión	45,00	11,12 Km (6 Millas Náuticas)

Aun cuando, la única consideración ambiental restrictiva se relaciona con el límite de la zona pesquera de las 14,00 millas náuticas, que para nuestro caso tiene profundidades mayores a los 60,00 metros, efectuar el dragado en esta zona representaría altos costos y una mayor presencia de las maquinarias de dragado, generando un incremento en la perturbación al medio marino, por tener un tiempo de ejecución elevado.

Se tienen los siguientes aspectos hidráulicos y de sedimentación:

- Profundidad promedio de la zona de descarga de 46,00 metros (Batimetría existente).
- Las características del material a ser dragado, de acuerdo con el análisis de la composición granulométrica del fondo, está constituido por un 31,2% de arenas muy finas, 60% de limos y 8,8% de arcillas, con una velocidad de sedimentación de 0,40 cm/s a 1,00 cm/s; lo cual produce que la sedimentación en la descarga sea de forma casi vertical (al ser la velocidad de caída de los sedimentos mucho mayor que la velocidad horizontal de arrastre de las corrientes medias en la zona).
- Descarga localizada a 6,00 millas náuticas hacia el norte de la zona de dragado.
- Aguas profundas donde la influencia del oleaje es despreciable (oleaje cotidiano y mar de leva); lo cual no genera movilidad del material de fondo.
- Amplitud de la zona de descarga de aproximadamente 1.700,00 metros de largo y 320,00 metros de ancho.

- La velocidad promedio de la corriente en el sector es de 0,05 m/s con valores máximos en la columna de agua de 0,20 m/s.
- El Golfo Triste se caracteriza por ser una zona relativamente tranquila y protegida.
- La dispersión del material a ser dragado y bajo las condiciones antes descritas esta por el orden de los 500,00 a 750,00 metros, en sentido predominante de la corriente.

Caracterización físico natural y socioeconómica y sensibilidad ambiental de la zona de estudio.

Para la descripción Físico–Natural del área del proyecto, se utilizó como línea base la información levantada por PDVSA, Dirección Ambiental de la Refinería El Palito Puerto Cabello, referente a Estudio de Corrientes, Oleaje, Mareas, Batimetría, y el Estudio de línea base del Medio Marino Costero de la bahía de la refinería, basados en el Estudios Integrales de la zona de la refinería, ubicada en el estado Carabobo y el levantamiento de información de línea base del Municipio Puerto Cabello 1992 en el marco del Inventario Nacional de Tierras y de los diversos estudios actualizados de las zonas adyacentes como el proyecto de Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del Estado Carabobo.

Caracterización físico – natural. Se pueden identificar en la Figura III.26.

Clima: De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen el área del proyecto se presenta un clima de tipo costero, donde el periodo cálido es continuo, debido a que el mes más frío tiene una temperatura promedio mayor a 24.6°C.

Hidrológica e Hidrografía: El estado Carabobo cuenta con una gran hidrografía dividida en: Hoya Hidrográfica del Mar Caribe, Hoya Hidrográfica del Lago de Valencia y la del Sur. La Hoya hidrográfica del Mar Caribe cuenta con los ríos: Aguas Calientes, Borburata, Goaigoaza, Morón, Patanemo, Sanchón, y San Esteban este río nace en la cima llamada tetas de Hilaria, que pasa por la población de San Esteban y desemboca hacia el Este de Puerto Cabello, y por último el río Urama; este cuerpo de aguas nace en las montañas de Canoabo, el mismo tiene un recorrido de 62,00 km hasta su desembocadura. En general todos estos ríos tienen su origen en la vertiente norte de la cordillera de la costa central y vierten sus aguas en la fachada Caribeña o Mar Caribe.

Hoya Hidrográfica del Lago de Valencia compuesta por los Ríos Cabriales que atraviesa Valencia de norte a sur, Río Güigüe, que desemboca en la zona sur del lago de Valencia, Río Guacara, que desemboca en la zona norte del lago de Valencia, y por último el Río Los Guayos, que desemboca en la zona norte del lago de Valencia, en el caso de este cuerpo de aguas, presenta problemas y está en peligro de desaparecer; por otra parte el río Cabriales ha sido desviado hacia el Palito.

Hoya Hidrográfica del Sur esta vertiente de aguas, está compuesta por dos (2) ríos el Pao y el Manaure, estos cuerpos de aguas tributan los ríos Guárico y Portuguesa que forman parte de la cuenca hidrográfica del Orinoco.

Calidad de las aguas: De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación fisicoquímica del agua insitu se puede observar que el comportamiento de los parámetros como: Salinidad, Temperatura en las aguas de la playa el Palito fluctúan entre los siguientes rangos temperatura 30 °C y 31°C, la salinidad entre 35% y 36% g/l, lo que indica que las aguas tienen características de aguas marinas, en cuanto a Transparencia la misma varía entre 1.12 y 4.75 m de profundidad.

Vegetación: De acuerdo a los estudios realizados se observa que la vegetación en su mayor parte ha sido fraccionada, para la construcción de viviendas, establecimientos comerciales y complejos industriales como Petroquímico de Morón, Planta Termo Eléctrica Planta Centro y La Refinería El palito; en el área de estudio es escasa, dentro del área de la refinería y el área de muelles, la vegetación existente está constituida por diversas especies tales como palmas Cocoteros (Coco nucifera), así mismo en las zonas aledañas a la refinería se puede observar Uva de playa (C. uvifer), Almendrón (Terminalia catappa), Gramíneas de playas saladilla (S. virginicus), como también se puede observar algunas especies introducidas las cuales son utilizadas para el ornamento.

Fauna: En cuanto a la fauna silvestre está constituida por los diversos taxones de la fauna silvestre venezolana, siendo esta particularmente muy representativa; La fauna silvestre terrestre y acuática que habita en el sector objeto de estudio, presenta una multiplicidad de relaciones zoo geográfico, pues allí convergen elementos faunísticos de gran interés por tener influencia costera y cordillerana. Dentro de los taxones más representativos se

encuentran las aves siendo estas las mayor estudio en la zona por ser esta área zona de paso de migración, luego los mamíferos, los reptiles y anfibios.

Con la información anterior se obtuvo la figura III.26. Análisis de sensibilidad.

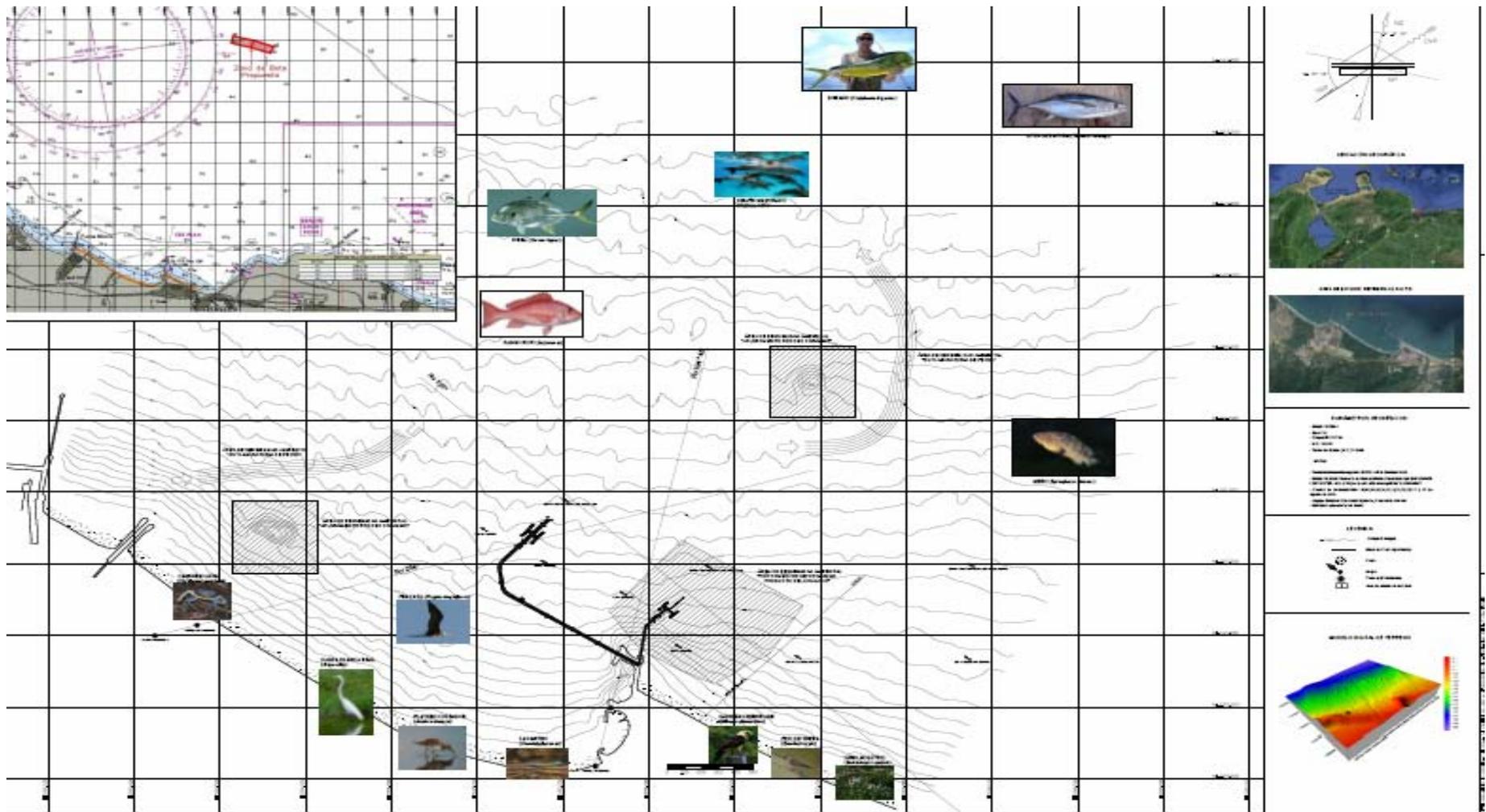


Figura IV.26. Análisis de sensibilidad de la zona del mar con respecto a especies marinas. (PDVSA, 2015)

Determinación de la Huella de Carbono

Para poder calcular de forma aproximada la capacidad de absorción de CO₂ de las distintas actividades se aplicaron los cálculos mencionados en la metodología y se estimó la absorción en TnCO₂ por hectárea y actividad para el año en estudio, teniendo como resultado los valores mostrados en la tabla IV. 21.

Tabla IV.21 Absorción por usos del suelo.

Actividad	Usos del suelo	Absorción grCO ₂ /m ² año	Absorción TnCO ₂ /ha-año	ha-en Refinería	Total de Absorción
Industrial	Zona industrial y comercio	148	1,48	10	14,8
Urbana	Urbanizaciones residenciales;				
	Infraestructura de comunicaciones (autovías, autopistas y enlaces varios, complejos ferroviarios, zonas portuarias, aeropuertos);	1313	13,13	4	
	Otras infraestructuras técnicas;				52,52
	Zonas verdes urbanas	1439	14,39	20	287,8
	Equipamiento deportivo y recreativo	720	7,20	6	43,2
Áreas con agua	Ríos y cauces naturales (otras formas riparias)	1144	11,44	4	45,76
	lagunas continentales	983	9,83	11	108,13
Otros	Pastizales con claros;	634	6,34	4	25,36
	Playas, dunas y arenales;	321	3,21	30	96,3
	Roquedos y suelos desnudos	121	1,21	6	7,26

Fuente: Elaboración Propia en base a Maria Garey (2010)

Las áreas con agua se destacan por ser las que mayores valores de absorción de CO₂ presentan, colocándose por encima de las actividades presentes, Por otro lado, la actividad “otros” posee un valor de absorción de CO₂ medio, esto se debe a que los usos de suelo playas, dunas, arenales, roquedo y suelos desnudos tienen muy baja absorción de este gas. La actividad urbana presenta un valor relativamente bajo de absorción, siendo los usos de suelo correspondientes a la actividad industrial peores en este sentido.

Resultando que la subhuella con un valor de 20MM tn de CO₂/año

Este resultado implica que los distintos usos de suelo y mar presentes, se estima que poseen la capacidad de absorber el 96% de las emisiones totales de CO₂ realizadas en Refinería.

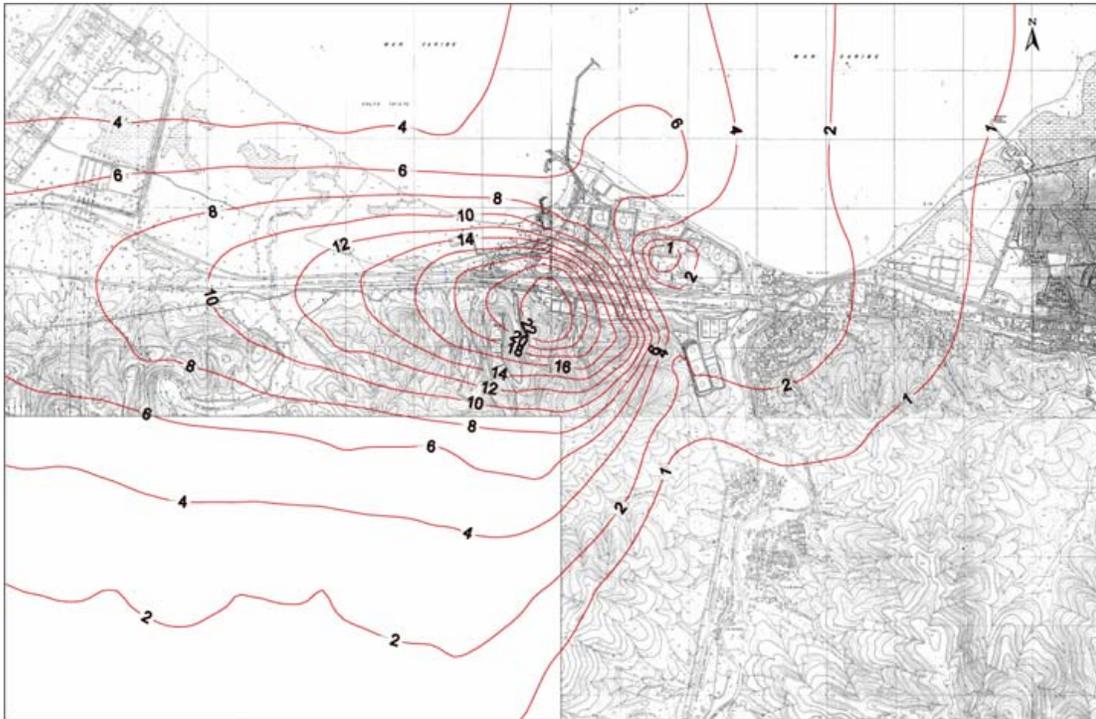


Figura V.27.- Absorción por usos del suelo. (PDVSA, 2015)

Según lo estimado la huella de carbono podría ser minimizada por la absorción natural donde se alcanzaría una absorción en un alto porcentaje.

Se consiguió la configuración de estaciones de trabajo Geocanaima con las herramientas de items anteriores. (Manual explicativo en el anexo C) Con esta metodología se programo y se obtuvieron los mapas anteriores y reposan en un SIG basados en software libre. (ver Anexo D). Se logró la conexión en WMS-SAPCO con Qgis sin red PDVSA como se muestran en las figuras IV.28, IV.29, IV.30, IV.31 y IV.32 y en SAPCO con red PDVSA figuras IV. 33 y IV.34

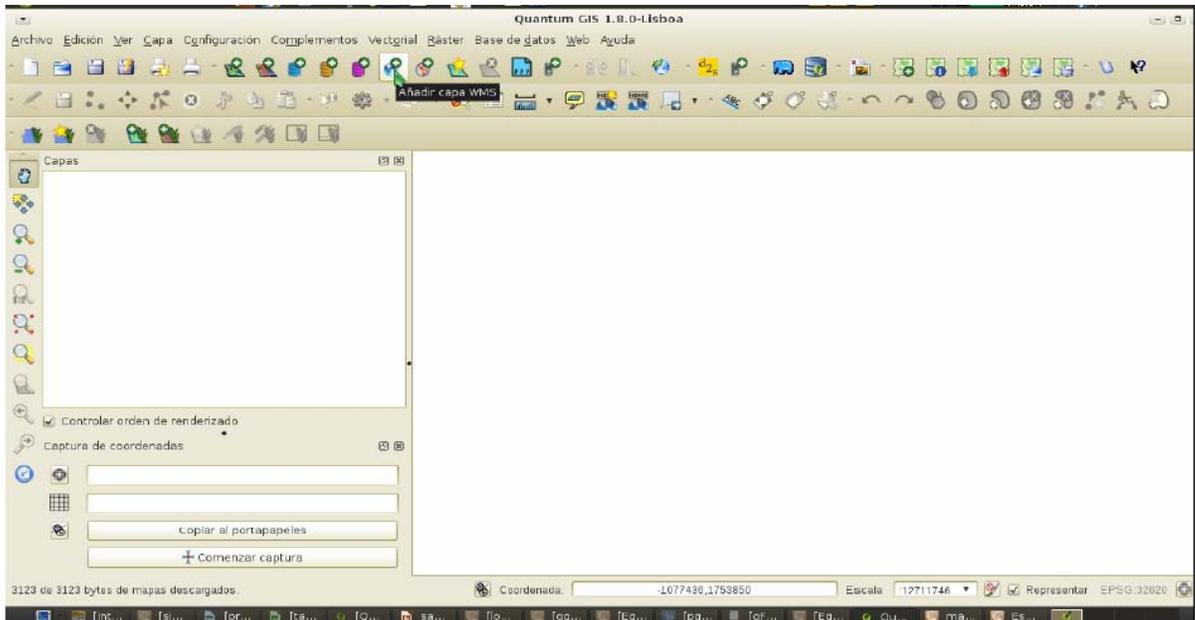


Figura IV.28. Click en el ikono “añadir capa WMS”

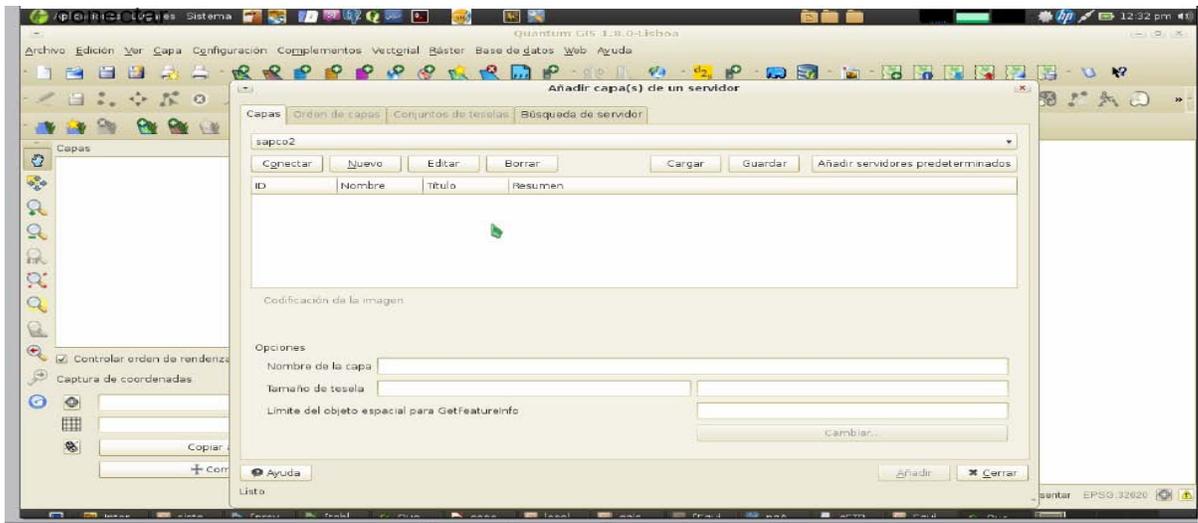


Figura IV.29. Click en el “nuevo”



Figura IV.30. Configuración la URL de la Conexión (Huso 19). **

****Huso 19: [http://matsed18.pdvsa.com/cgi-bin/mapserv?](http://matsed18.pdvsa.com/cgi-bin/mapserv?map=/var/data/documentos/geodata/regven/huso_19/proy_sig/mapserv/sig_sapco_h19_wgs84_simulaciones.map)**

[map=/var/data/documentos/geodata/regven/huso_19/proy_sig/mapserv/sig_sapco_h19_wgs84_simulaciones.map](http://matsed18.pdvsa.com/cgi-bin/mapserv?map=/var/data/documentos/geodata/regven/huso_19/proy_sig/mapserv/sig_sapco_h19_wgs84_simulaciones.map)

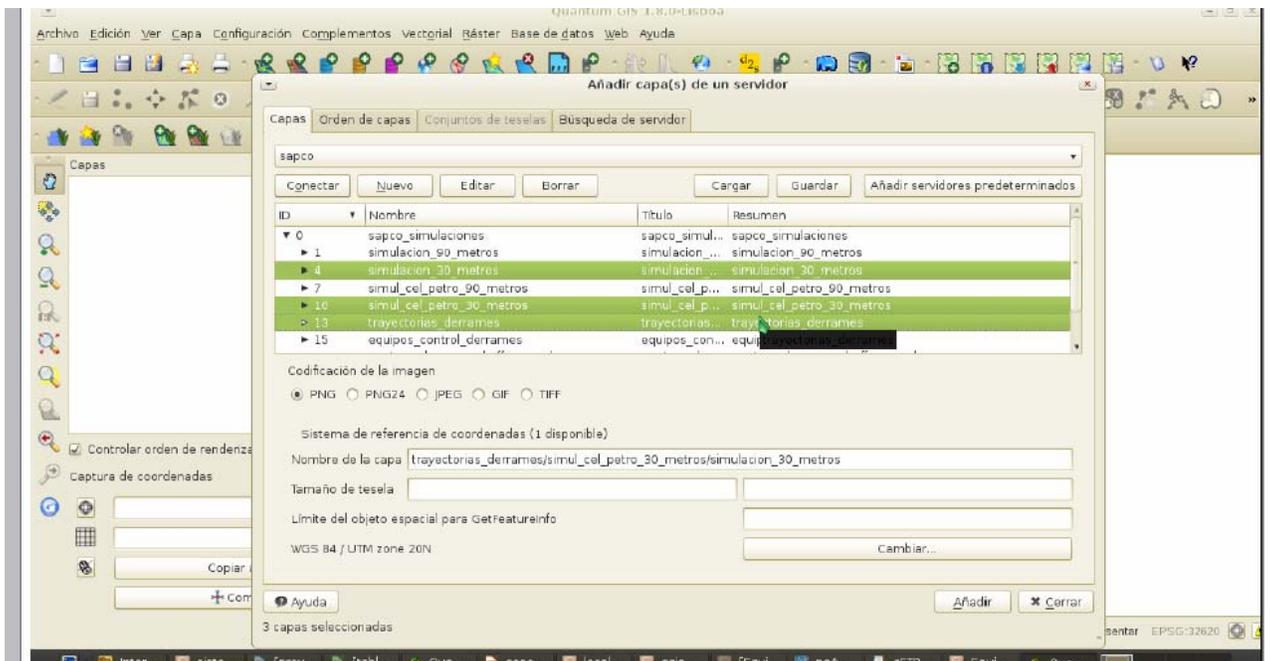


Figura IV.31. Simulaciones de 30 m y trayectorias

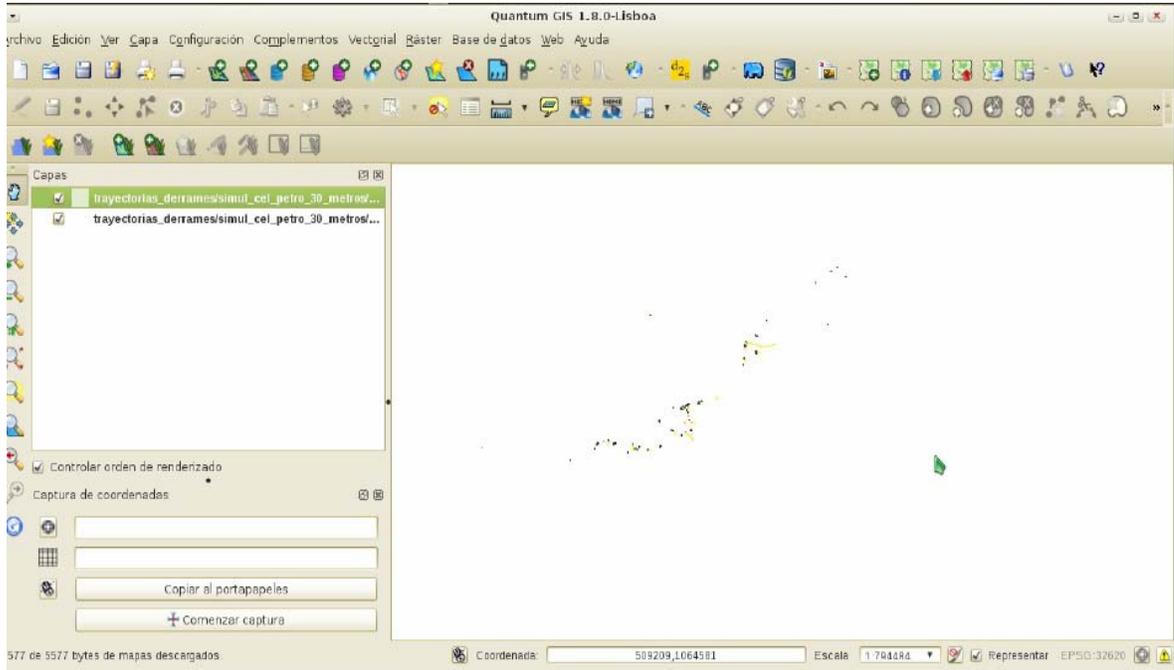


Figura IV.32. Visualización de capas en Qgis sin red PDVSA.

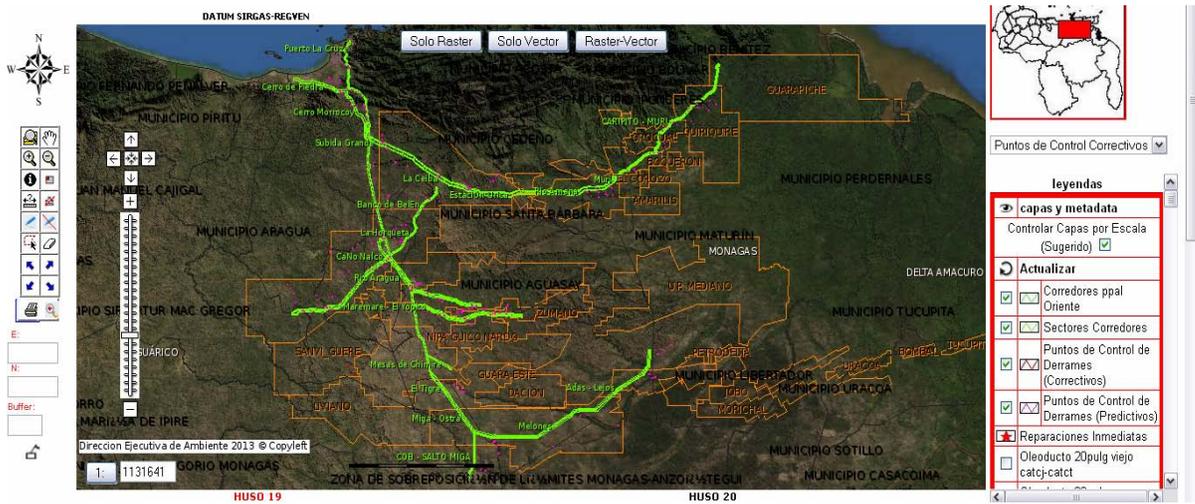


Figura IV.33. Visualización de capas en Sapco con red PDVSA.

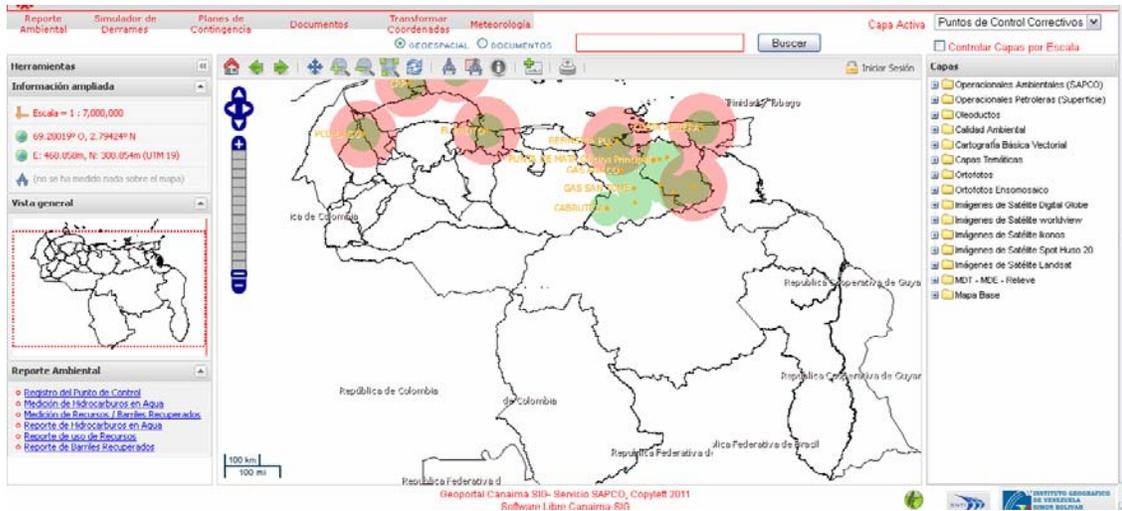


Figura IV.34. Visualización de capas en Sapco con red PDVSA.

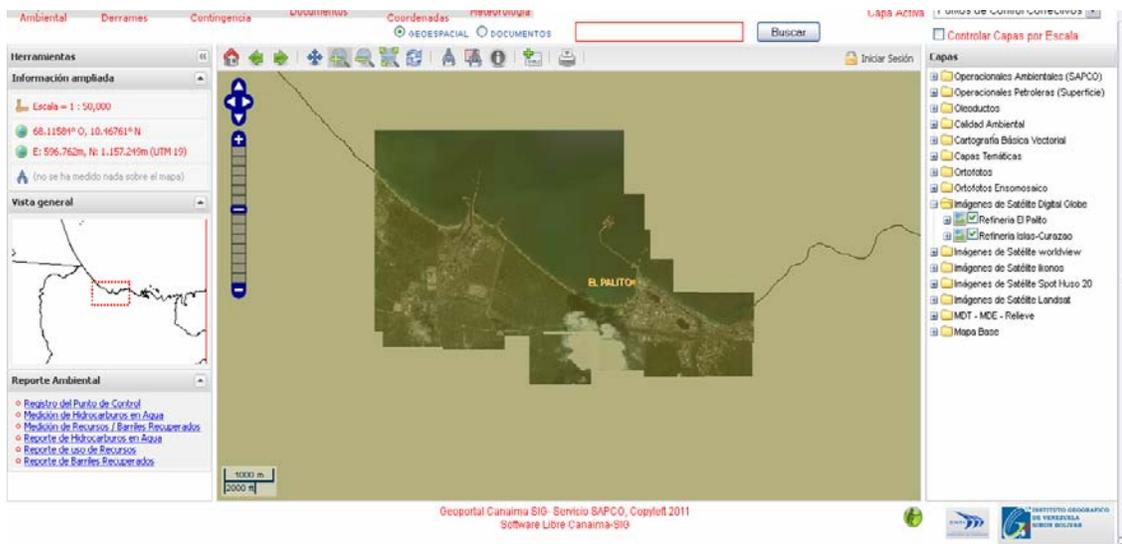


Figura IV.35. Ejemplo de Visualización de capas en Sapco y imágenes satelitales con red PDVSA.

IV.4. Cuantificación y validación de gases

En la Tabla IV.22 se presentan algunas propiedades, calculadas por el simulador, de la corriente mezcla gas natural-aire que entra a la cámara de combustión a 25 °C, y de los gases de combustión producidos a 300 °C.

Tabla V.22. Propiedades de mezcla gas natural-aire y de los gases de combustión

	Mezcla gaseosa	Gases de combustión
Peso Molecular	27,81	27,72
Densidad (kg/m ³)	1,138	0,5895
Capacidad Calorífica (kJ/kg °C)	1,077	1,195
Poder calorífico inferior (kJ/kg)	2736	2,424 x 10 ⁻⁵
Cp/Cv	1,391	1,338
Cv (kJ/kg °C)	0,7742	0,8929
Viscosidad (cP)	0,001784	0,002655
Conductividad calorífica (W/m K)	0,002644	0,004254

La Refinería El Palito posee 14 fuentes fijas de emisiones de gases de efecto invernadero proveniente de los hornos de combustión de las plantas de proceso cuya composición se describe en la tabla IV.23 y una fuente de emisión de material particulado proveniente de la unidad de FCC.

Tabla IV.23 Composición del gas combustible.

COMPONENTES	%MOLAR	COMPONENTES	%MOLAR
Hidrógeno	15,87	Iso-Butano	0,26
Nitrógeno	4,07	n-Butano	0,07
Monóxido de Carbono	0,29	Butenos	0,06
Metano	56,40	Iso-Buteno	0,07
Dióxido de Carbono	4,11	1-Buteno	0,06
Eteno	6,00	Trans-2-Buteno	0,04
Sulfuro de Hidrógeno	0,00	Cis-2-Buteno	0,03
Etano	10,56	Iso-Pentano	0,08
Propeno	1,39	n-Pentano	0,02
Propano	0,66	Olefinas C ₅	0,03
CARACTERÍSTICAS			
Peso Molecular	18,52 gr/mol		
Poder Calorífico Superior	975 BTU/pie ³		
Poder Calorífico Inferior	881 BTU/pie ³		

Las fracciones molares de los gases de combustión producidos en función del coeficiente de exceso del aire utilizado, n, y considerando una temperatura de entrada de aire de 25 °C.

Se trabajó variando el exceso de aire desde $n = 1$, mínimo o estequiométrico, hasta $n = 1,20$, rango de coeficientes de exceso normalmente utilizado para combustión de gas natural. El cálculo de los flujos de aire estequiométrico y el exceso se realizó utilizando un programa desarrollado en Planilla de Cálculo Excel 2000 (Villaflor et al., 2005; Pocoví et al., 2003). Se observa la disminución de las fracciones molares del agua y del dióxido de carbono con el exceso de aire utilizado, debido a que el exceso de aire diluye los gases de combustión.

El efecto de la temperatura de los gases de combustión sobre el calor extraído (calor entregado a la carga), tomando una temperatura del aire de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando distintos excesos de aire. Se observa que a medida que aumenta la temperatura de los gases de chimenea disminuye el calor extraído, porque aumenta el calor sensible perdido en los gases al aumentar la temperatura de los mismos. Se observa, también, que a temperatura de gases de chimenea constante el calor extraído disminuye con el exceso de aire. El precalentamiento del aire sobre el calor extraído, manteniendo constante la temperatura de gases de combustión ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$), utilizando distintos excesos de aire. Se observa el aumento del calor extraído con el incremento de la temperatura de precalentamiento del aire debido a la recuperación parcial del calor contenido en los gases de combustión y además la disminución del calor extraído con el aumento del exceso de aire.

Se presentan los efectos de los calores extraídos o entregados a la carga y perdidos con los gases de combustión en función del exceso de aire, manteniendo la temperatura de los gases de combustión constante ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Se observa que el calor perdido en los gases de combustión aumenta con el exceso de aire, porque aumenta el calor sensible al ser mayor la cantidad de gases de combustión, mientras que el calor extraído disminuye con el mismo porque se tiene que calentar mayor cantidad de aire sin que éste aporte calor.

Ejemplos de cálculos del Modelo A. En la tabla IV.24y IV.25

Tabla IV.24. Valores obtenidos para las principales unidades productoras de gas a partir del Modelo A.

Instalaciones	Destilación atmosférica			Des. vacío	Planta Azufre	Incinerador	Solv. industriales	Reformación catalítica		Servicios			Planta de BTX				Totales	
Unidad	B-101	B-102	B-103	0	B-6901	. B-6903	B-2301	B-2001	B-2501	B-7451	B-7452	B-7453	B-4401	B-4201	B-4301	B-2502	B-7454	
Consumo de gas	153,6	40,3	106,0	187	3,7	8,3	10,1	77	15,8	114,2	114,6	114,6	126,4	9,9	24,2	13,5	114,6	1234
Días trabajados	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
Valores CO ₂	3.987	1.046	4.854	97	215	262	1.999	410	2.963	2.975	2.975	2.975	3.280	257	627	350	2.975	32.022

Fuente: (Acevedo y Niño, 2014)

Tabla IV.25. Resultados totales de las emisiones de CO₂ a partir del Modelo A

Fuente Emisora CO ₂	Emisiones (tn/año)
Hornos y Calderas (H)	38.044
Compresores (C)	12.032
Motores (M)	8.157
Generadores (G)	650.000
Mechurrios y fosas (M)	28.315
Venteos (V)	6.320
Incinerador de Azufre (IA)	17.260
TOTAL DE CO₂	760.128

Fuente: (Acevedo y Niño, 2014)
Ver anexos C, D y E

Ejemplo de cálculos del Modelo B. En la tabla IV.26, IV.27 y IV.28 Resultados de CO₂. a partir del Modelo B basado en los balances globales de masa.

Tabla IV.26.- Cálculo de velocidades.

CALCULO DE LAS VELOCIDADES						
Area(Cilindro)	A=Pi*r^2		DENSIDAD		VELOCIDAD	
Equipo	Area (m^2)	klb/h	kg/h	kg/m^3	m/h	km/h
B-101	8,04	235,40	106.775,64	0,59	1.457.091,40	1.457,09

Tabla IV.27.- Datos utilizados en el cálculo de velocidades.

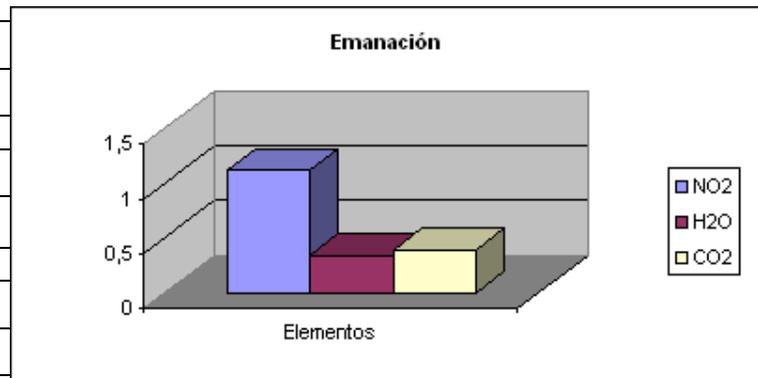
Equipo	Cantidad
B-101	
Flujo de entrada del combustible Sólido/Líquido/Gas:	156,24
Temperatura de entrada del combustible:	60
Presión a la entrada del combustible:	35,49
Flujo de aire de combustible:	228
Temperatura de entrada del aire de combustión:	86
Presión a la entrada del aire de combustible:	14,69
% de Oxígeno en exceso	10,83
Número de días de operación de la fuente fija:	98
Modo de operación de la fuente fija:	Continuo

Tabla IV.28.- Resultados obtenidos del Modelo B

Velocidad		Combustión			Postcombustion			
Area (m ²)	Flujo de Aire a la Salida (Kg/h)	Velocidad (km/h)	MOL DE CH ₄	MOL DE O ₂ entrada al proceso	MOLES DE AIRE de entrada al proceso	NO ₂ Tn/h	H ₂ O Tn/h	CO ₂ Tn/h
8,04	106.775,64	1.457,09	9522,8	21108,3485	100515,945	1,112238	0,343108	0,390532

Tabla IV.29.- Resumen de los datos utilizados Vs Calculos y Grafica.

Equipo	Cantidad	Velocidad		Combustión			Postcombustion			
		Area (m ²)	Flujo de Aire a la Salida (Kg/h)	Velocidad (km/h)	MOL DE CH ₄	MOL DE O ₂ entrada al proceso	MOLES DE AIRE de entrada al proceso	NO ₂ Tn/h	H ₂ O Tn/h	CO ₂ Tn/h
B-101		8,04	106.775,64	1.457,09	9522,8	21108,3485	100515,945	1,112238	0,343108	0,390532
Flujo de entrada del combustible Sólido/Líquido/Gas:	156,24									
Temperatura de entrada del combustible:	60									
Presión a la entrada del combustible:	35,49									
Flujo de aire de combustible:	228									
Temperatura de entrada del aire de combustión:	86									
Presión a la entrada del aire de combustible:	14,69									
% de Oxígeno en exceso	10,83									
Número de días de operación de la fuente fija:	98									
Modo de operación de la fuente fija:	Continuo									



La Refinería no contribuye al agravamiento de calentamiento global del planeta comparado con la investigación de Martin (2005) donde calculo en inventario de emisiones de CO₂ resultando un valor aproximado de 24 MMtn/año. Los valores obtenidos sirven en los desarrollos con miras a posibles cambios de tecnología y usos;

teniendo próximamente el proyecto de expansión de la Refinería 2012-2016 que aumentará la producción en un 100% (PDVSA, 2013), esto incluye una dieta de hidrocarburo menos amigable (proveniente del Orinoco) por tal motivo se mejoraron los procesos y la materia prima donde resultará desechos. Todo esto es aplicable a los nuevos desarrollos de la zona (PEQUIVEN, PDVSA, Planta Centro, Bolipuertos entre otros). Dentro de las medidas correctivas resultaron: mantenimiento del precipitador electrostático reduciendo así las emisiones. En la tabla IV.30 se incluye la comparación de valores reales y modelados.

Tabla IV. 30. Comparación Valores reales de CO₂ Vs Valores de Modelos

Unidades de proceso	Mpie ³ /hora MSCFH Flujo de entrada	Mediciones Reales	ton/año		% diferencia Reales Vs Modelos	
			Modelo A	Modelo B	Modelo A	Modelo B
Destilación Atmosférica						
B-101	225,60	3.408.061,00	140.536,99	3.421.060,87	95,88	0,38
B-102	44,10	666.516,00	27.471,99	668.744,61	95,88	0,33
B-103	163,50	2.478.564,00	101.851,94	2.479.359,27	95,89	0,03
Total	433,20	6.553.141,00	269.860,93	6.569.164,76	95,88	0,24
Destilación al Vacío						
B-6001	208,70	3.161.551,00	130.009,18	3.164.784,59	95,89	0,10
Total	208,70	3.161.551,00	130.009,18	3.164.784,59	95,89	0,10
Reformación Catalítica						
B-2001	117,60	1.765.885,00	73.258,65	1.783.318,96	95,85	0,99
B-2501	18,80	286.502,00	11.711,42	285.088,41	95,91	-0,49
B-2502	18,20	275.002,00	262,16	275.989,84	99,90	0,36
Total	154,60	2.327.389,00	85.232,22	2.344.397,21	96,34	0,73
Planta de BTX						
B-4301	11,30	169.931,00	627,36	171.356,33	99,63	0,84
B-4401	111,50	1.687.834,00	3.279,56	1.690.816,88	99,81	0,18
Total	122,80	1.857.765,00	3.906,92	1.862.173,20	99,79	0,24
Servicios Eléctrica						
B-7451	196,60	2.980.282,00	2.963,15	2.981.296,84	99,90	0,03
B-7452	123,90	1.860.517,00	2.974,58	1.878.853,91	99,84	0,99
B-7453	174,20	2.638.718,00	2.974,58	2.641.617,04	99,89	0,11
B-7454	182,00	2.745.993,00	2.974,58	2.759.898,40	99,89	0,51
Total	676,70	10.225.510,00	11.886,88	10.261.666,18	99,88	0,35
Total de Refinería	1.596,00	24.125.356,00	23.773,76	24.202.185,94	99,90	0,32

Se puede observar que el modelo B arroja menos del 1% de diferencia del los valores reales, es importante señalar que en el modelo B se consideran todos los valores propios de diseño (Velocidades de chimeneas, temperaturas, entre otros) que son parecidos a los valores tomados en las muestras, en cambio en el modelo A se toman valores ideales

(Capacidad horno diseño y calculadas, tipo de calentamiento, consumo de gas poder calorífico, densidad constante, entre otros).

Factor de Emisión en chimeneas pertenecientes a la REP.

En Venezuela no existe normativa pero se utilizará CORINAIR Metodología (SNAP 090.203, España. Instituto Europeo que estudia gases de efecto invernadero). Por lo tanto, el objetivo es el de mejorar el valor de los factores de emisión con el fin de transformarlos en otros más precisos. Se compara el factor el incluido en la referencia y el factor obtenido con la medición directa (análisis de los reflejos y de gas en la REP).

En este caso, se seleccionan las fuentes de emisión ya determinadas anteriormente. El análisis se centrara en la medida de la eficiencia de la combustión (combustión completa e incompleta). Considerados los contaminantes son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4).

La quema es inevitable proceso en la actividad de refino, tanto, por razones de seguridad (puesta en marcha, apagado y parar el sistema) y el momento de la gestión de la eliminación de los gases residuales en las rutina operaciones. Sin embargo, produce emisiones contaminantes demás debidos a la combustión. Los líquidos en los gases residuales generan quemas porque irregulares. Estos dos componentes son muy importantes con el fin de alcanzar una alta eficiencia de combustión. Tradicionalmente, el estudio de las emisiones de la quema se ha encontrado con dos problemas principales: 1) Conocer el composición exacta desde la quema de gas quemado no es un proceso de rutina y los gases son enviados a quemar muy variable en el tiempo y 2) para medir la composición del gas en el extremo de la chimenea. Por lo tanto, los factores de emisión para el cálculo de emisiones de la quema de ocasión son muy variables en función de la referencia.

Para estimar la composición media del gas enviado a los mechurrios con el fin de comparar los valores con la especificación recomendada es necesario comparar las emisiones de CO_2 de lo proyectado con el gas quemado y comparar las emisiones de CH_4 para ello obtenido a través de tres enfoques diferentes (8, 1, 10 respectivamente). Es significativo a tener en cuenta la mejora del factor de emisión. Dado que los resultados pueden ser utilizados para la reducción de emisiones. Esta parte del estudio es especialmente interesante para la industria petrolera.

Por Quema: El proceso de la quema puede producir diferentes contaminantes: SO₂, NO_x, CO, COVNM, CH₄ y CO₂. Dependen de dos agentes principales: la composición del gas residual y la combustión (eficiencia). Entonces el SO₂ es liberado puede aumentar si hay algún compuesto de azufre en los gases residuales, como el sulfuro de hidrogeno (H₂S). El NO_x es fuertemente dependiente de la temperatura y se forma por la unión de la molecular el nitrógeno del aire. El CO está presente en el vapor debido a la emisión de una combustión incompleta, dando como resultado falta de aire mezclándose a baja temperatura de la llama.

Centrando la atención en los Gases de Efecto Invernadero (GEI) procedentes de la quema con una baja contribución como se muestra en la Tabla IV.31, suponiendo un inventario total de la refinería (PDVSA, 2014), es significativo comprobar los factores de emisión para obtener inventarios justos y confiables.

Tabla IV.31. Emisiones de GEI de emisión para la quema en la REP

Año	CH ₄ (t)	CO ₂ (kt)
1	26,8 (6,8)	168,7 (1,7)
2	26,5 (6,6)	169,9 (1,5)
3	28,8 (6,8)	180,3 (1,5)
4	26,9 (6,4)	170,3 (1,5)
5	28,3 (8,7)	178,8 (1,3)
6	27,9 (5,7)	184,5 (1,3)
7	28,6 (5,7)	181,0 (1,3)
8	30,4 (6)	195,2 (1,4)
9	29,98 (5,9)	192,3 (1,4)
10	29,6 (5,8)	194 (1,3)

El CO₂ se forma como un producto de la combustión. La práctica general de la industria Acepta 98% de eficiencia de la combustión para la conversión de carbono en CO₂ para las quema en la REP. (PDVSA, 2012 y EPA, AP-42, 1991) Así que se evaluarán tres valores diferentes de eficiencia en la combustión tales como: 98, 99 y 99,5%

En lo que se refiere a CH₄, que está relacionado con el THC (Total de Hidrocarburos), y pueden ser emitidos por las quemas y reacciones de craqueo en el núcleo del proceso. Así que la emisión de THC es muy dependiente de la composición del gas.

Calculo: los dos primeros pasos para desarrollar un detallado inventario según la metodología de CORINAIR son: 1. Para medir la cantidad el gas quemado en cada mechurrio (medidores de flujo volumétricos, por lo que el volumen de gas quemado se conoce) 2. Para medir la composición promedio de gas quemado en chimeneas, se estudiaron 76 muestras de gas de desecho se analizaron para tres años y su composición promedio para ello obtenido.

Emisiones de CO₂

Aplicando la versión española de la guía CORINAIR se traduce del volumen a unidades de masa utilizando la densidad del petróleo crudo de 0,883 kg / l. No da CORINAIR Cualquier factor de emisión de CO₂ para el propósito Español

Expertos recomienda un factor basado en la cantidad de carbono crudo, finalmente se convierte en CO₂ (ver tabla IV.32).

Tabla IV.32. Factor de emisión de gases de efecto invernadero, por quemas.

CH ₄ g/t alim. en REP	CO ₂ Kg/t alim. en REP
0,5	3,14

Ref: Inventario Nacional de Emisiones CORINE AIRE de España 1997 -2000 Vol 2. 2002

El Factor de emisión de CO₂ debe Considerar la combustión (eficiencia) y la cantidad de gas quemado (eq 1). Estudios recientes (Selon, 16), la eficiencia de una refinería podría ser mayor de 98% (demasiado conservador). Por esta razón, las diferentes emisiones de CO₂ son evaluados en función de la combustión. Los factores de emisión correspondientes a la investigación de Selon (eficiencia de carbono) quemado se muestran en la tabla IV.35

$$E = V * C * f * CO$$

V es la cantidad de gas que quema (en m³).

C es la cantidad de carbono incluido en el gas.

f es la eficiencia de la combustión, i. e. el porcentaje de carbono en CO₂ al gas de entrada.

Los factores de emisión Se obtiene multiplicando los valores de la tabla IV.34 por la quema de gas, quemado en cada dividiendo su suma por la alimentación de refinería. Entonces, es posible comparar los factores de emisión basados en la alimentación de cada refinería (Tabla IV.33)

Tabla IV.33. Factor de emisión para las emisiones de CO₂ (kg CO₂ / t entrante refinería), por quemas

	Emisión 98%	Emisión 99%	Emisión 99.5%
1	14.8	14,95	15,02
2	17,69	17,87	17,96

Las emisiones totales de CO₂ se pueden calcular a partir de dos factores de emisión:

1. Multiplicando la cantidad de gas quemado para mechurrio (tasa de actividad), con la correspondiente al factor de emisión sumando los valores (de la eficiencia del 98%). y
2. Multiplicando la alimentación refinería (tasa de actividad) por el factor de emisión CORINAIR. La relación entre los enfoques se muestran en la tabla IV.36.

En la Tabla IV.34. Se comparan de las emisiones de CO₂ al año calculados con factor de emisión de gas quemado como actividad tasa (98% de eficiencia) vs. factor de emisión basado en la alimentación de la refinería

Tabla IV.34. Factor de emisión para las emisiones de CO₂ (kg CO₂ / t entrante refinería), por quemas

	ktCO ₂ (otro factor)	ktCO ₂ (CORINAR factor)
1	124,84	27,48
2	96,22	17,08

La estimación de la emisión del conjunto de datos utilizados en este estudio, se puede decir que el CO₂ real las emisiones son superiores a los valores obtenidos utilizando los factores de emisión CORINAIR. El factor de emisión CORINAIR (con la alimentación como la tasa de actividad de las refinerías) es seis veces menor que el factor de emisión obtenido que se deduce de la cantidad de gas quemado.

Este resultado se debe a que la metodología CORINAIR no toma en cuenta la finalidad

de la especialidad sólo la alimentación de la Refinería . En los enfoques 2 y 3, los altos valores de los factores de emisión son debido a las altas concentraciones de metano en los gases acampanado. Como esta tabla muestra, la cantidad promedio de contenido en el gas metano es 25% más alto que el valor recomendado por la EPA. Las grandes diferencias encontradas entre les factor de emisión de este estudio y se incluyeron en el factor de la bibliografía resaltando la necesidad de mejorar la investigación en esta área.

IV.5. Formulación de planes de educación ambiental, contingencia y emergencia con respecto a las emisiones de gases en la zona de estudio.

Plan de Respuesta ante Emergencias

Hay riesgos ambientales potenciales asociados con la actividad del proyecto y por lo tanto, se implementará un Plan de emergencias y contingencias a fin de que todo el personal se encuentre preparado y conozca las técnicas de emergencia y respuesta ante una eventualidad ambiental. El Plan de Contingencias específico, detalla los procedimientos a ser implementados para responder inmediatamente y para controlar cualquier emergencia ambiental que pudiera ocurrir durante el desarrollo de las actividades de construcción y operación del Proyecto. El Plan desarrollado toma en cuenta los siguientes aspectos:

- El Plan debe estar orientado a la filosofía de niveles de seguridad donde destaca la prevención, para lo cual se debe revisar los sistema de gestión ambiental a fin de actualizarlos y adecuarlos las instalaciones y los procedimientos en caso que se requieran, Esta filosofía tiene cinco niveles; 1) diseño intrínsecamente seguro, 2) equipos de protección y control en el caso que ocurran desviaciones que puedan causar impacto al ambiente, 3) personal de primera reacción, que operaras las planta y unidades que debe estar preparado para manejar las desviaciones, 4) Personal de emergencia y contingencia que debe tomar el liderazgo una vez que el personal de planta fue superado por la emergencia y 5) El personal de otras empresas e instituciones que integra el plan de Contingencia que dará apoyo en el caso que se requiera para controlar el evento, entre otros cuerpo de bomberos, protección civil, guardia nacional, armada, ONG(s) y grupo e institucionales especializadas.

Capacitar adecuadamente a todo el personal para fines de poder identificar y evaluar los riesgos potenciales ambientales de cada área de trabajo y responder oportunamente ante emergencias.

- Capacitar adecuadamente a todo el personal para fines de poder identificar y evaluar los riesgos potenciales ambientales de cada área de trabajo y responder oportunamente ante emergencias.

- Montar la infraestructura, equipamiento y materiales adecuados para responder ante las emergencias ambientales.

- Coordinar oportunamente con las autoridades y público del área de influencia directa, para responder adecuadamente a cualquier contingencia que pueda ocurrir durante la fase de construcción y operación del Proyecto.

- En caso de ocurrir una contingencia ambiental, tratar que los cuerpos receptores (aire, agua y suelo) sean impactados al mínimo posible.

- Controlar que las emergencias ambientales no produzcan daños a la propiedad y/o pérdidas de productos.

. Asegurar que el procedimiento del plan facilite al personal asignado a la respuesta ante emergencias ambientales, la ejecución adecuada de las acciones pertinentes.

- Incluir una declaración de la Refinería que muestre el compromiso con el logro de los objetivos del plan.

- Asignar cargos y responsabilidades para todo el personal que tendrá participación directa en la ejecución del plan.

- Preparar todo un procedimiento documentado del plan, evaluando aspectos relacionados a los impactos ambientales, manejo de residuos y productos tóxicos y peligrosos, emergencias ante accidentes de transporte, inundaciones, derrames de productos tóxicos, contaminación de suelos.

- Verificar permanentemente la buena operatividad y disponibilidad de los recursos (personal, equipo y comunicaciones) que se requiere para responder ante una emergencia ambiental.

- Capacitar permanentemente al personal en la aplicación de procedimientos y equipo de respuesta. El plan será evaluado anualmente y se incorporarán medidas correctivas y de mejora continua sobre la base de los resultados de las pruebas.
- Incluir en el plan prácticas de evaluación permanente.

Programa de Seguimiento

El seguimiento rutinario para determinar el rendimiento ambiental es un componente esencial del sistema de Supervisión Ambiental. Durante la construcción, las y operaciones del Proyecto, PDVSA monitoreará la calidad de las descargas al ambiente, así como la calidad ambiental del aire. Asimismo, monitoreará las aguas de mar, vegetación y fauna. Los resultados de los programas de monitoreo se usarán para realizar los ajustes requeridos a los programas de prevención y mitigación.

Plan de Supervisión Ambiental, PSA.

Se implementará un Plan de Supervisión Ambiental lo cual incluirá una serie de programas para prevenir o mitigar los impactos ambientales que pudieran generarse durante las fases de construcción y operación. Estos programas serán implementados para las diferentes actividades del Proyecto. Los programas del Plan de Supervisión Ambiental se clasifican en dos grupos generales:

a) Las Programas Permanentes son aquellos programas de aplicación que continuará durante la vida del Proyecto. Los programas permanentes incluirán:

- Programas de Prevención y Mitigación,
- Programas de Supervisión y Control Ambiental,
- Programas de Capacitación

b) El Programa de Contingencias es aquél que se aplica como respuesta a casos no revistos o para el manejo de situaciones accidentales que impliquen un riesgo al entorno.

PDVSA, protege prioritariamente la vida, la salud y el ambiente contenidas en su Política, Documentos Descriptivos, Procedimientos e Instrucciones de trabajo desarrollados en el Sistema de Gestión Ambiental. Bajo los siguientes propósitos:

- Responder en forma rápida y eficiente a cualquier emergencia con posibilidad de riesgo a la vida humana, la salud y el ambiente, manejando la contingencia con responsabilidad y métodos específicos

- Reducir el potencial de derrames accidentales y contaminación ambiental a través de un plan de manipulación de materiales adecuado
- Proveer al nivel superior y supervisión la información necesaria para responder rápidamente y adecuadamente a eventos que involucren materiales peligrosos
- Definir claramente las responsabilidades y funciones ante contingencias para manejo de la emergencia, además de la notificación y control ante entidades del Estado y Organismos de respuesta en este tipo de casos.

Cada programa esta descrito en las subsecciones a continuación.

i. Programa de Prevención y Mitigación

El objetivo del Programa de Prevención y/o Mitigación Ambiental, es proporcionar las medidas ambientales necesarias para evitar, corregir y mitigar los posibles impactos que se puedan producir por las actividades propias al desarrollo del proyecto. La aplicación de estas medidas garantizará un manejo adecuado al medio físico, biológico y social. La importancia de este plan radica en que muchas de las medidas se implementan durante el desarrollo de las actividades del proyecto lo que permite un manejo adecuado de los recursos naturales con una mínima alteración.

ii. Características, planes de Prevención y de Mitigación

Tomando como base la identificación y preevaluación de los Posibles impacto ambientales que el proyecto puede generar, se han agrupado los principales impactos ambientales genéricos, los planes de prevención y de mitigación.

iii. Supervisión Ambiental por medios afectados

Se han identificado no menos de seis grandes grupos o aspectos ambientales que PDVSA deberá poner la máxima atención. Estos grupos son los siguientes:

- Organizaciones políticas del entorno.
- Participación de las poblaciones organizadas y sus dirigentes en las decisiones y el control ambiental
- Estabilidad operacional.
- Calidad del aire
- Flora y fauna

Relación con la comunidad, información y participación ciudadana

Se presentarán todos los antecedentes que guarden relación con la participación ciudadana y de las comunidades regionales y locales. Adicionalmente se lleva un programa separado del Plan de Supervisión Ambiental, se fomenta el “Monitoreo Ambiental Comunitario” como elemento para la vigilancia y control permanente a las actividades petroleras desde las comunidades y organizaciones de base con el objeto de demostrar los impactos socio-ambientales.

El monitoreo ambiental comunitario servirá de instrumento para fomentar la organización y concientización de las poblaciones afectadas al favorecer un espacio de capacitación y coordinación. Esta actividad llevará a que toda la comunidad se movilice por la defensa de sus recursos y principalmente por la defensa de sus derechos como seres humanos, como ciudadanos y como comunidades.

También permitirá que los propios afectados realicen investigaciones de campo utilizando los indicadores más eficaces. Las comunidades, al observar los cambios provocados por la contaminación y/o deforestación, en los seres humanos o en la fauna, pueden definir bioindicadores, indicadores en salud o indicadores físico – químicos que sean fáciles de manejar y permitan demostrar la magnitud de los impactos.

Uno de los principales usos del monitoreo comunitario es ejercer presión social desde las bases para conseguir que se solucionen los problemas causados, lo cual implica:

Los principales indicadores que pueden utilizarse en el monitoreo comunitario son:

- o **Indicadores Biológicos o Bioindicadores:** son especies biológicas que por su sensibilidad o resistencia demuestran cambios en el entorno que les rodea.
- o **Indicadores físico – químicos:** son parámetros que se miden en el campo o en laboratorio y que demuestran cambios provocados por contaminación en aguas o en suelos.
- o **Indicadores en Salud:** son síntomas o enfermedades que sufre la población y que se relacionan con la presencia de la actividad que se está monitoreando.

Con lo anterior se obtuvieron puntos de control que se pueden observar en la figura IV.35.



Figura. IV.36 Puntos de control.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

Se ubicaron estratégicamente los puntos de muestreos continuos de gas en la Refinería para realizar estudios continuos de calidad de aire. Obteniendo un inventario de los gases que se producen. Se determinó para cada escenario el impacto que puede ocasionar a largo o corto plazo. Se encontró que algunos valores están fuera de rango si llega a ocurrir el escenario comparados con la USEPA, obteniendo que:

- No hay peligros ambientales asociados con la calidad ambiental del aire que potencialmente podrían plantear riesgos inaceptables para receptores sensitivos. Es decir, las comunidades residenciales cercanas, unas están aguas o vientos arriba de la refinería como El Palito playa, Taborda y Puerto Cabello esta fuera del área de influencia, la dirección del viento durante todo el año viene del NEN es decir va hacia SurOeste o hacia la montaña donde hay un bosque perteneciente a la cuenca del Rio Sanchon, las poblaciones que están aguas o viento abajo son Palma Sola y Morón y están hacia Sur Franco de la Refinería de modo que las emisiones de la Refineria no las alcanza).
- Durante operaciones normales (escenario N°1), en las colinas circundantes al sur de la Refinería, sí resulta en una calidad de aire marginal que pueda en teoría tener un impactos alto pero por un área boscosa donde se focaliza se disipa. Aunque el escenario catastrófico tiene poca probabilidad de ocurrir, una liberación accidental más realista podría ocurrir dentro de un lapso corto de tiempo y podría causar un ambiente potencialmente peligroso, pero se tienen niveles de seguridad que se activan inmediatamente evitando lo anterior.
- Se debe seguir operando en condiciones similares a las establecidas en los días de medición para mantener las concentraciones de los gases por debajo de los limites de emisiones establecidos en el Decreto N° 638

Comparando la viabilidad de la investigación con un sistema de absorción de CO₂

natural como es la Cuenca del río Sanchón (simulando lo que sería el ciclo natural del carbono) y el Mar Caribe. Sobre los bosques podemos decir que en general el 50% de ellos (tanto hortícolas como arbóreos) fijan más de 500g de CO₂ por m²/año, es decir, más de 1800 g de CO₂ por m²/año.

Se puede decir que los gases generados por Refinería y la estimación de absorción en la Cuenca es de un 83%. Se tiene el inventario de la zona y los puntos de investigación para seguir con el monitoreo de los gases y el comportamiento del mar y bosques.

Se tiene que la localización y el tiempo de impacto es precisa; ya que velocidad y dirección del viento fueron consistentes durante cinco años en los datos meteorológicos utilizados en el análisis, con una desviación de menos del 1% entre el modelo B, las predicciones y el monitoreo de calidad de aire de la Refinería. Con este valor quedan validados los resultados de emisiones y estimados los de absorción.

Con un Factor de emisión de gases de efecto invernadero, por quemas propio de la Refinería de 3,14 de CO₂ Kg/t alim. en REP y 0,5 de CH₄ g/t alim. en REP. Además conviene aprovechar el calor de los gases de combustión, para precalentar el aire, disminuyendo la temperatura de salida de los gases de chimenea).

Con la obtención del modelo propio de estimación de comportamiento de los gases en la Refinería con valores y tiempos reales de emisiones, normalizando y estandarizando los el método, obteniendo así la predicción, aplicando inmediatamente medidas correctivas para normalizar las operaciones de la Refinería y poder lograr una calidad de aire que se respira en la zona; mejorando a su vez la actuación de la empresa en este tema.

La herramienta computacional desarrollada en la investigación es fácil y funcional. Agiliza la ejecución de los cálculos de estimación de gases en condiciones reales, evitando al usuario realizar cálculos monótonos y complejos.

Con lo anterior se definió planes que permiten la interrelación entre empresas, comunidad, Estado y ambiente. Estableciendo programas de relaciones públicas empresas-comunidad, formulando programas de educación ambiental que incorporan a la actuación de las comunidades y las universidades de la zona costera, creando modelos gerenciales ambientales sustentables, mejorando la actuación de la empresa en este tema en pro de alcanzar un desarrollo verdaderamente sustentable que además enmarcado en un Proyecto Macro de Desarrollo Endógeno dirigido al establecimiento de granjas destinadas a la reproducción y preservación de especies vegetales y animales con valor ecológico.

Todo esto permite a los involucrados realizar análisis de manera rápida y sistemática de los datos y resultados, dando recomendaciones necesarias para ayudar en la toma de decisiones o acciones a implementar para corregir desviaciones.

RECOMENDACIONES

Dar continuidad a las actualizaciones de los programas existentes de manejo y control de riesgos. Incluyendo programas de relaciones públicas para reforzar el conocimiento de la comunidad trabajadora y vecina sobre los posibles riesgos asociados y las medidas que la Refinería está tomando para mantener riesgos tolerables. Seguimiento a los puntos de control establecidos en el mar y cuenca. Actualizar la investigación constantemente.

Bibliografía.

- Chomiack, J.; *Combustión, a study in theory, fact and application*, Energy & Engineering Science (1990).
- HYSYS v3.2, Aspen Tecnology Inc., Hyprotech Technical Suport. Hyprotech, Canadá (2003).
- Khoshnoodi M. y Y. S. Lim; *Simulation of partial oxidation of natural gas to synthesis gas using ASPEN PLUS*, Fuel Processing Technology: 50(2-3), 275-289 (1997).
- Levenspiel, O.; *El Minilibro de los Reactores Químicos*, Editorial Reverté, Barcelona (1987).
- Pocoví, R., G. Villafior, J. Velasco y E. Bisonard; *Servicios Auxiliares*, Ed. Magna (2003).
- Rao C.S.; *Environmental Pollution Control Engineering*, J. Willey & Sons, New York, USA (1991).
- Sonibare, J.A. y F. A. Akeredolu; *A theoretical prediction of non-methane gaseous emissions from natural gas combustion*, Energy Policy: 32(14), 1653-1665 (2004).
- Szekely, J., J.W. Evans y H.Y. Sohn; *Gas – Solid Reactions*, Academic Press, New York (1976).
- Villafior G., J. Velasco, R. Pocoví y E. Bisonard; *Combustión y evaluación de las emisiones producidas por combustión*, Actas del VII CAIP, p.105-108 , Vila Real, Portugal, Setiembre (2005).
- Vesely V., H. Miloslav, O. Trnka y D. Fetsch; *Performance of an afterburner chamber with a natural gas burner*, Fuel: 75(11), 1271-1273 (1996).
- Wark K. y C. Warner; *Contaminación del aire. Origen y control*, Ed. Limusa (1997).
- Weber R., S. Orsino, N. Lalleman y A.Verlaan; *Combustion of natural gas with high-temperature air and large quantities of flue gas*, Symposium (International) on Combustion: 28(1), 1315-1321 (2000).

- Westbrook C.K. y otros cuatro autores; *Computational combustion*, Proceedings of the Combustion Institute: 30(1), 125-157 (2005).
- Ezequiel Ander Egg. (1990) Guía para diseñar proyectos sociales. Instituto de Ciencias Sociales Aplicadas. Argentina.
- MANCOSTA (2007-2010) Informe anual Mancomunidad de la Costa para la Disposición Final de Desechos Sólidos de los municipios Puerto Cabello y Juan José Mora.
- Manual para el Diseño de Rellenos Sanitarios. Organización Panamericana de la Salud. (2000).
- Manual de Eliminación de Residuos, Caterpillar (2001) Ediciones Caterpillar. Estados Unidos.
- SINGECOM. (1992) Manual de Especificaciones Técnicas del Relleno Sanitario “La Paraguaita”
- INE (2001) XIII Censo Nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) Año 2001
- Babu KA: Environ Res 1980; 21:416-422.
- Bang KM, Pinheiro GA, Wood JM, et al: Malignant mesothelioma mortality in the United States, 1999-2001. Int J Occup Environ Health 2006; 12(1):9-15.
- Baxter PJ, Adams PH, & Aw TC: Hunter's Diseases of Occupations, 9th ed, Oxford University Press Inc, New York, NY, 2000. Res 19 97; 75:34-40.
- Begin R, Cantin A, & Masses S: Recent advances in the pathogenesis, and clinical assessment of mineral dust pneumoconioses: asbestosis, silicosis, and coal pneumoconioses. Eur Respir J 1989; 2:988-1001.
- Berry M: Mesothelioma incidence and community asbestos exposure. Environ.
- Entrevista con la Jefe del Centro de Toxicología CATOX, del Hospital Central De Valencia.
- Environmental Protection Agency - Discarded commercial chemical products, off-specification species, container residues, and spill residues thereof, Acutely Hazardous Wastes and Toxic Wastes. National Archives and Records Administration (NARA) and the Government Printing Office (GPO), Washington, DC. Final rules current as of Apr 3, 2006.
- Environmental Protection Agency - List of Extremely Hazardous Substances and Their Threshold Planning Quantities (CAS Number Order). National Archives and Records Administration (NARA) and the Government Printing Office (GPO), Washington, DC. Final rules current as of Apr 3, 2006.
- Environmental Protection Agency - Toxic Chemical Release Reporting, Community Right-To-Know, Lower thresholds for chemicals of special concern. National Archives and Records Administration (NARA) and the Government Printing Office (GPO). Washington, DC. Final rules current as of Apr 3, 2006.
- Manual para el Manejo de Desechos y Sustancias Peligrosas Año 2001
- Occupational Safety and Health Administration - Limits for Air Contaminants. National Archives and Records Associations (NARA) and the Government Printing Office (GPO), Washington, DC. Final rules current as of Apr 3, 2006.
- Occupational Safety and Health Administration - List of Highly Hazardous Chemicals, Toxics, and Reactives. National Archives and Records Administration (NARA) and the Government Printing Office (GPO), Washington, DC. Final rules current as of Apr 3, 2006.
- Ley N°. 55, Ley sobre sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos, Gaceta Oficial 5554 Extraordinario, 13 Nov. 2001 Ley Orgánica de Salud.

- Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. (Gaceta Oficial N° 38.236 del 26 de julio de 2005)
- Norma Covenin 2251:1998. Asbesto. Transporte, almacenamiento y uso. Medidas de Higiene Ocupacional.
- Norma Covenin 2252:2001. Concentraciones Ambientales permisibles en lugares de trabajo.
- Norma Covenin 2253:2001. Concentraciones Ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición.
- Norma Covenin 2237:1989. Ropa, equipos y dispositivos de protección personal. Selección de riesgo ocupacional.
- Norma Covenin 1056/I:1991. Equipos de protección respiratoria.
- Norma Covenin 1056/II: 1991. Equipos de protección respiratoria.
- Norma Covenin 0187:1992. Colores símbolos y dimensiones de señales de seguridad
- Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Decreto N° 2635 del 22 de julio de 1998, publicado en la Gaceta Oficial N° 5245 Extraordinario de fecha 3 de agosto de 1998.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1999). [Informes técnicos en línea] Disponible: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (5ª ed.)*. Caracas: Episteme.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y desarrollo. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.ccad.ws/>
- DoD Modeling & Simulation VV&A (2001). *Metodología de Siete Pasos para Realizar un Estudio de Simulación con Éxito*. [Documento en Línea] Disponible: vva.msco.mil/Ref_Docs/Val_Lawref/Val-LawRef-pr.pdf.
- Hernández y Otros (2006). *Metodología de la Investigación. 2ª Edición*. Chile Editorial Universitaria. Valencia- Venezuela. Ediciones Papino
- Martin (2005). *Análisis y Evaluación de las Emisiones de Gases de efecto Invernadero en la Industria del Petróleo y el Gas*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Medina, M. (2002). *Revisión Documental. Instrumentos de investigación*. [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.eumed.net/tesis/2006/ssc/21.htm>

ANEXOS.

Anexo A. Procesos de Refinación

Destilación y Especialidades: La Unidad está compuesta por las siguientes plantas de proceso: Destilación Atmosférica, Destilación al Vacío, Hidrotratamiento de Nafta, Reformación Catalítica, Solventes y Benceno, Tolueno y Xileno (BTX).

Destilación atmosférica (B-103): Es el primer proceso que se encuentra en la Refinería. Consiste en separar las distintas fracciones livianas de petróleo crudo, variando la temperatura en las secciones de la torre de destilación y manteniendo la presión constante (presión atmosférica), basado en la diferencia existente en los puntos de ebullición / volatilidad de los distintos componentes del crudo, se logra una separación en diversas fracciones que incluyen gas de refinería, nafta, kerosén, gasóleo y residual (conformado por los componentes más pesados que no llegaron a evaporarse).

Producción: 140 MBDO (Miles de Barriles por Día de Operación)

Emisiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: fluentes aceitosos, efluentes agrios y agua de los desaladores de crudo

Desecho generado: Material ferroso no peligroso

DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA



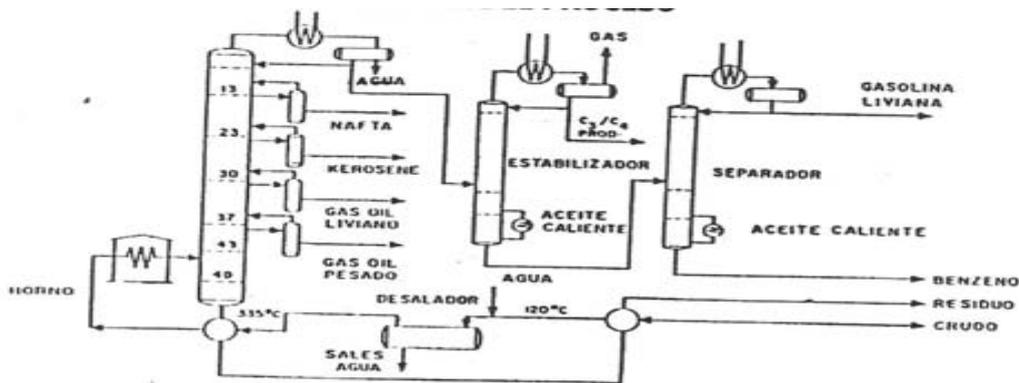
. Flujograma de destilación Atmosférica

Se realiza a una presión cercana a la atmosférica utilizando para extraer carburos presente de forma natural en el crudo, sin afectar a la estructura molecular de los componentes permitiéndose la separación o fraccionamiento de componentes de fusión de su volatilidad y su punto de ebullición. El proceso consiste en vaporizar el crudo y luego condensar los hidrocarburos en cortes definidos, modificando la temperatura a lo largo de una columna fraccionadora.

El crudo proveniente de los yacimientos es almacenado en diversos tanques, luego por un sistema de gravedad para iniciar el precalentamiento en dos trenes de calentamiento (conformado por intercambiadores y hornos), donde adquieren energía térmica aumentando su temperatura de 90°F hasta 610°F. Luego ingresan a los desaladores para retirar la sal y el agua contenidos en el crudo. Posteriormente, el producto pasa a través de turbinas de vapor para incrementar la presión de operación y alimentar la torre de Destilación Atmosférica donde se separan las diferentes fases del crudo, obteniéndose según el punto de ebullición los distintos productos: gases, HNS, kero, LGO, HGO, y residual largo. Los gases y parte de las naftas se envían a la Planta de Gasolinas para continuar el proceso de fraccionamiento, el kero se envía a la Planta de Tratamiento Cáustico, el HGO y LGO son enfriados por medio de ventiladores y equipos de enfriamiento y utilizados para la preparación de diesel, y el residual es enviado a carga de vacío donde se destila para obtener nuevos productos.

Tabla. Unidad de destilación y Chimeneas asociadas a su horno respectivo

Unidad	Chimenea
Destilación Atmosferica	Chimenea Horno B-101
	Chimenea Horno B-102
	Chimenea Horno B-103
	Chimenea Horno B-104
	Chimenea Horno B-2501
	Chimenea Horno B-2502



Proceso de Destilación Atmosférica

Destilación al Vacío: El residual obtenido en el proceso de destilación atmosférica es enviado a una segunda columna de destilación que opera a condiciones de vacío, separa las distintas fracciones de crudo variando la presión y manteniendo la temperatura constante, donde se logra la vaporización adicional de un producto llamado gasóleo de vacío.

Esta unidad produce parte de la alimentación de la Planta de Desintegración Catalítica (FCC).

Capacidad: 80 – 88 MBDO

Emissiones atmosféricas: gases de combustión,

Efluentes industriales líquidos: efluentes Aceitosos y efluentes agrios

Desecho generado: material ferroso no peligroso



Figura. Flujograma de Destilación al vacío.

La destilación al vacío es la operación complementaria de destilación del crudo procesado en la unidad de destilación atmosférica, que no se evapora y sale por el fondo de la columna de destilación atmosférica. El vaporizado de todo crudo a la

presión atmosférica. Necesitaría elevar la temperatura por encima del umbral de descomposición química y eso, en esta fase del refinado de petróleo, es indeseable.

El residuo atmosférico o crudo reducido procedente del fondo de la columna de destilación atmosférica, se bombea a la unidad de destilación de vacío, se calienta generalmente en un horno a una temperatura inferior a los 400°C, similar a la temperatura que se alcanza en la fase de destilación atmosférica y se introduce en la columna de destilación.

El residual proveniente de la corriente de fondo de la torre de destilación atmosférica se mezcla con aceite parafinado de recirculación de la torre de vacío, se pasa a precalentamiento en un horno para ser alimentado a la torre de destilación al vacío, se pasa a precalentamiento en un horno para ser alimentado a la torre de destilación al vacío. En esta se obtiene por el tope material no condensado que es llevado a un sistema de eyectores de vapor y luego a un tambor separador donde se obtienen gases no condensables que son enviados al horno de carga o al mechurrio; así como, hidrocarburos que se envían al tanque de slop y agua condensada que se lleva a los desaladores o a efluentes. Más abajo, en la torre de vacío, se extrae LVGO el cual es enviado por un sistema de ventiladores, recirculando parte de esta corriente hacia el tope. El siguiente producto es el HVGO, el cual se divide en diversas corrientes, entre ellas unas se reenvían a la columna como reflujo, otra es enviada al tren d precalentamiento de la unidad del crudo y una última se envía al tambor de carga de FCC. Luego se obtiene aceite parafinado donde una corriente se mezcla con el residual largo antes de ser alimentado y un segundo flujo se mezcla con el producto de fondo (residual de vacío) y luego de un proceso de precalentamiento se le adicionan otras corrientes para ajustar su viscosidad, gravedad API y otras especificaciones para el Fuel-Oil

Tabla Unidad de Destilación al Vacío

Unidad	Chimenea
Destilación al Vacío	Chimenea Horno B-6001

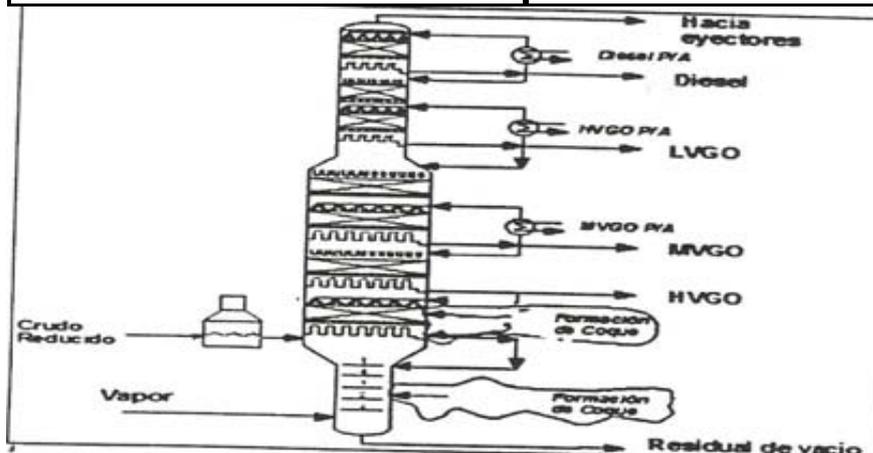


Figura. Proceso de destilación al vacío

Hidrotratamiento de Nafta: El proceso utilizado para éste propósito y al cual se someten las distintas fracciones que se obtienen en la destilación atmosférica y al vacío se le denomina hidrotratamiento, por estar basado en el uso de hidrógeno que reacciona con los compuestos de azufre presentes en los hidrocarburos para formar ácido

sulfhídrico. La operación consiste en eliminar contaminantes presentes (azufre, nitrógeno principalmente) en las naftas que alimentan a la unidad de reformación catalítica. Capacidad: 9,5 MBDO

Emisiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: catalizador gastado de Cobalto-Molibdeno, material ferroso no peligroso



Figura. Flujograma de Hidrotratamiento de nafta

Reformación Catalítica: Procesa nafta hidratada procedente de la unidad de Hidrotratamiento para producir nafta reformada rica en compuestos aromáticos que posteriormente serán recuperados en otros procesos. Los cortes de nafta que se obtienen por destilación directa presentan un número de octano muy bajo que no funciona en los automóviles modernos. Es necesario entonces modificar la estructura química de los compuestos que integran las naftas, utilizando el proceso de reformación, donde las condiciones de presión moderada y alta temperatura promueven reacciones catalíticas conducentes a la generación de compuestos de mayor octanaje, como son los aromáticos y las iso-parafinas. Capacidad: 9,5 MBDO

Emisiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: catalizador gastado de Platino/Renio-62, catalizador gastado de Platino/Germanio-72, Alúmina gastada y material ferroso.



Figura. Flujograma de reformación catalítica

Solventes: A partir de nafta reformada, se procesan por destilación solventes comerciales que contienen alto contenido de aromáticos, como lo son el insol, n-heptano y copesol. Capacidad: 1.1 MBDO

Emisiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: material ferroso no peligroso.



Figura. Flujograma de solventes industriales

BTX (Benceno, Tolueno y Xileno): Procesa una corriente de nafta reformada, la cual proviene de la Unidad de Reformación Catalítica, para la producción de aromáticos de alta pureza (benceno al 99,9%, tolueno al 99,9%, o - xileno al 99,9%). Producción: 7–8 MBDO

Emissiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: carbón activado gastado, sílica-gel gastada, sulfolane degradado y arcilla gastada.

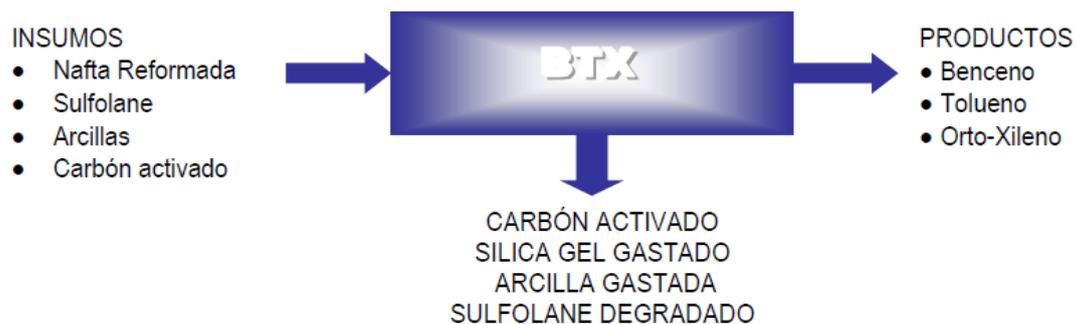


Figura. Flujograma de BTX

La unidad de BTX se encuentra formada por cuatro sub-secciones que son sulfolane, THDA, isomar y xilenos. Inicialmente a partir de la reformada rica en aromáticos proveniente de PtR, a través de un proceso de extracción y fraccionamiento se obtienen benceno y tolueno al 99,98% de pureza, además de una mezcla de xilenos. Por otra parte, en la sección de THDA se produce la maximización del Benceno, mediante una reacción entre tolueno, mezcla de xilenos e hidrogeno (proveniente del sistema de purificación de hidrogeno), y luego de una estabilización se envía la corriente final a la unidad de fraccionamiento de Sulfolane para separar el Benceno de dicha corriente. Se cuenta también con la sección de Xilenos, donde ingresa una corriente de tolueno proveniente de Sulfolane con otra de ortoxileno proveniente de Isomar, a las torres de xilenos donde se obtiene ortoxileno y aromáticos pesados que son separados por fraccionamiento, también se obtiene una mezcla de meta y paraxileno que se utiliza en el sistema de generación de vapor y luego a un acumulador. Esta corriente se lleva a la cuarta sub-sección denominada Isomar, donde en un reactor se convierte a ortoxileno y aromáticos, asando luego por un proceso de estabilización y separando el ortoxileno que se envía a las torres de xilenos, y los aromáticos livianos a un acumulador de donde la fase liviana se envía al sistema GASCOS y la fase va a PtR.

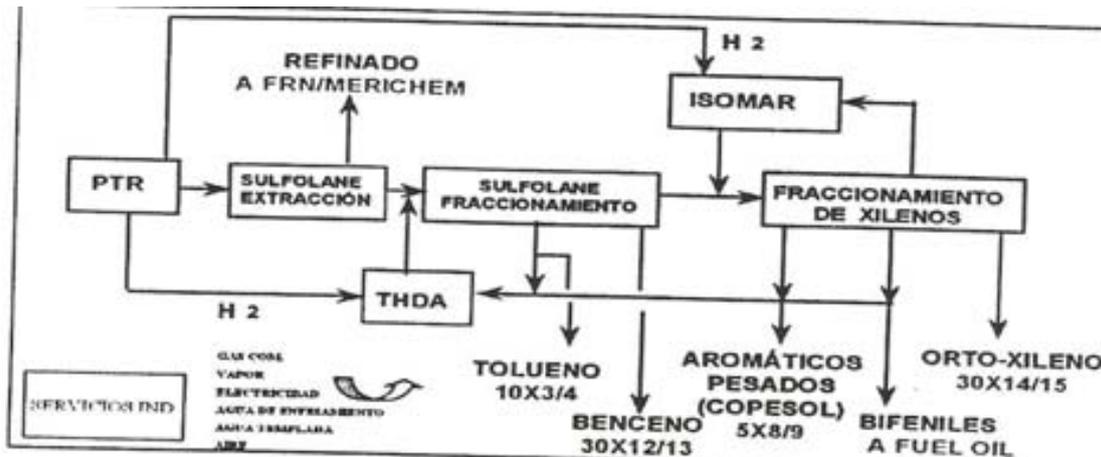


Figura. Proceso de Destilación la Unidad BTX

IV1.3.2 Unidad de Negocio de Conversión y Tratamiento: integrada por los procesos siguientes:

Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC): En el proceso de FCC se convierten las moléculas de gasóleos de vacío a gasolinas, olefinas, aceites livianos y gas licuado de Petróleo (GLP). Este es un proceso de conversión de hidrocarburos pesados presentes en los gasóleos de vacío, que permite producir gasolina y en consecuencia aumentar el rendimiento de éste combustible, disminuyendo la producción de residuales. El proceso se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular. Esta reacción se promueve por un catalizador sólido en presentación pulverizada, que se incorpora a los hidrocarburos de carga en un reactor de flujo ascendente. A la salida del reactor el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones.

Capacidad: 65 MBDO.

Emissiones atmosféricas: gases de combustión y material particulado

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos y efluentes agrios

Desecho generado: finos de catalizador de alúmina-sílice, catalizador de equilibrio, material ferroso no peligroso.



Figura. Flujograma de Craqueo Catalítico Fluidizado FCC.

Alquilación: Se encarga de producir alquilatos mediante la adición de hidrocarburos saturados (isobutano) a hidrocarburos insaturados (olefinas), en presencia de ácido fluorhídrico. El proceso de alquilación es una síntesis química por medio de la cual se unen olefinas ligeras (propileno y butenos) con isobutano. Al resultado de ésta síntesis se denomina alquilato, producto constituido por componentes isoparafínicos cuyos puntos de ebullición se ubican dentro del intervalo de la gasolina. Capacidad: 22 MBD de alquilato.

Emissiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos y afluentes ácidos

Desechos generados: Alúmina gastada de alquilación y lodos de alquilación.



Figura. Flujograma de Alquilación.

Tratamiento Merox Gasolina: El proceso Merox Gasolina se utiliza para tratar las Naftas liviana, mediana y pesada provenientes de la Unidad de FCC antes de ser enviadas hacia los tanques de almacenamiento. El objetivo de esta unidad es endulzar la gasolina, es decir, convertir los mercaptanos presentes en aceites disulfuros, los cuales quedan remanentes en las gasolinas.

Capacidad: 22 - 25 MBD

Emisiones Atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desechos generados: carbón activado gastado.



Figura. Flujograma de Tratamiento Merox Gasolina.

Tratamiento Merox Olefinas: La Unidad Merox Olefinas tiene la función de remover el sulfuro de hidrógeno H_2S remanente y los mercaptanos de la corriente de Olefinas provenientes de la Unidad de FCC, a fin de obtener las Olefinas que van como carga a las Unidades de Alquilación y Oxigenados con un menor contenido de azufre.

Capacidad: 20,5 MBD.

Emisiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desechos generados: Antracita gastada, arena gastada, material ferroso



Figura . Flujograma de Tratamiento Merox Olefinas.

Aguas agrias: Tratamiento para reducir el contenido del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y de amoníaco (NH_3) de las aguas producidas en los procesos de destilación atmosféricas, destilación al vacío y desintegración catalítica, a fin de obtener una corriente de gas de tope, conocida como gas agrio, rica en H_2S y NH_3 , la cual por razones ambientales es enviada a la Unidad de Recuperación de Azufre, donde el H_2S es convertido en azufre líquido, y el NH_3 convertido en Nitrógeno. El agua despojada obtenida es enviada a la Unidad de Crudo, donde se utiliza en los Desaladores de dicha unidad.

Capacidad: 5 - 8 MBDO

Emisiones atmosféricas: gas agrio

Efluentes industriales líquidos: efluentes agrios tratados

Desecho generado: material ferroso.



Figura. Flujograma de Tratamiento de Aguas Agrias.

Tratamiento con Aminas: Esta Unidad utiliza Mono-Etanol-Amina como solvente para la remoción del sulfuro de hidrógeno (H_2S) del gas combustible y de las olefinas provenientes de la Unidad de Craqueo Catalítico, el cual sirve de carga (gas rico en H_2S) a la Unidad Recuperadora de Azufre.

Capacidad: 20,5 MBDO y 17,73 MMSCFD (Millones de pies cúbicos a condiciones Standard por día).

Emisiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desechos generados: material ferroso.



Figura. Flujograma de Tratamiento de Aminas.

Recuperadora de Azufre: La finalidad de la unidad de azufre es convertir el sulfuro de hidrógeno presente en el gas ácido proveniente de la unidad de tratamiento con Aminas y en el gas agrio de la unidad de aguas agrias en azufre elemental. A su vez permite la combustión de todo el amoníaco presente en el gas agrio. Esta unidad posee un horno y tres lechos catalíticos con Alúmina donde se llevan a cabo las reacciones de Claus para la producción de Azufre líquido, que se comercializa a Pequiven.

Capacidad: 5.921 Lbs/hora de gas ácido y 492 Lbs/hora de gas agrio.

Emissiones atmosféricas: gases de combustión y gases ácidos

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desechos generados: Alúmina gastada, azufre degradado y desechos ferrosos



Figura. Flujograma de la Unidad Recuperadora de Azufre.

Oxigenados: Procesa mezcla de olefinas (Cadenas de hidrocarburo C4 y C5) provenientes de desintegración catalítica, en presencia de catalizador ácido de lecho fijo, con la finalidad de producir éteres mezclados (MTBE/TAME), que son componentes de las gasolinas. Capacidad: 15 -18 MBDO

Emissiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: resinas gastadas de guarda, resina gastada convencional, trifuncional, sillas de montar y tamiz molecular



Figura. Flujograma de la planta de oxigenados.

Unidad de negocio de servicios industriales: consta de:

Planta de generación de vapor y Electricidad: Está conformada por cuatro (04) calderas para la generación de vapor sobrecalentado de 600 psi de presión. Esta planta posee un sistema de recolección de condensado, sistema de inyección de químicos, facilidades de bombeo y estaciones reductoras de presión para producción de vapor de 600, 200 y 50 psi. Con relación a la electricidad de la Refinería debe indicarse que se dispone de tres turbogeneradores de vapor con una capacidad 13.0 MW cada uno. Esta electricidad es distribuida a toda la Refinería a través de 29 subestaciones eléctricas. Existe además una interconexión con CADAFE, (Planta Centro) cuya función principal es suministrar la energía necesaria, hasta un máximo de 16 MW, en caso de falla de alguno de los turbogeneradores. Así mismo se dispone de un sistema de generación de aire comprimido para instrumentos y para plantas, mediante cuatro (04) compresores y tres (03) parejas de secadores de aire con alúmina.

Emissiones atmosféricas: gases de combustión

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos

Desecho generado: Alúmina gastada, aceite dieléctrico y desechos ferrosos.



Figura. Flujograma de la Planta de Generación de Vapor y Electricidad.

Planta de Agua, captación y reservorio: En esta planta se realiza el tratamiento químico del agua captada previamente, incluyendo procesos de filtración y desmineralización.

Capacidad: 600 – 800 GPM (galones por minuto) en filtración y desmineralización de agua.

Emisiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: efluentes aceitosos, purgas de torres de enfriamiento.

Desechos generados: resinas de intercambio iónico, antracita/carbón activado gastado, lodos biológicos y desechos ferrosos.



Figura. Flujograma de la Planta de Agua.

Planta de tratamiento de efluentes líquidos: La planta de tratamiento de efluentes tiene como objetivo principal producir efluentes con concentraciones de contaminantes por debajo de los límites del decreto N° 883 para vertidos líquidos al mar, para lo cual consta de las siguientes áreas o secciones.

Sistemas de Alivio (mechurrios): Este sistema permite la quema segura de descargas eventuales de gases y líquidos de las unidades que integran la Refinería.

Emisiones atmosféricas: gases de combustión (por ser sistema de alivio no están regulados por la legislación)

Efluentes industriales líquidos: ninguno

Desechos generados: material ferroso.

TIPOS DE MECHURRIOS:

- Tipo fosa FCC (B-7351)
- Tipo fosa BTX (B-7353)
- Vertical (B-601)
- Horizontal (A-903)
- Vertical de IC₄(B-7357)



Figura. Flujograma del Sistema de Alivio.

Sistemas de Gas Combustible (Gas natural y gas de Refinería): El sistema es el encargado de garantizar el suministro del gas combustible que se consume en la Refinería.

Capacidad: 55 % gas de Refinería y 45 % gas natural, 700 – 800 MSCFH de gas natural (Capacidad máxima: 1500 MSCFH de gas natural).

Emissiones atmosféricas: ninguna

Efluentes industriales líquidos: ninguno

Desecho generado: material ferroso.

INSUMOS

- Gas natural
- Gas combustible



Figura. Flujograma del Sistema de Gas Combustible.

Productor elaborados:

Gasolinas (GSP 95 y GSP 91): 83–88 MBD (Miles de barriles por día)

Combustible Residual (Fuel Oil): 60–62 MBD

Diesel: 45–46 MBD

Kerosene/jet: 18 MBD

Alquitrán Aromático: 2 MBD

GLP: 2.2 MBD

Benceno, Tolueno y Xileno: 1,7 MBD

Solventes: Insol, Copesol, Disolín, Xileno Comercial: 300 B/D

Anexo B. Métodos de muestreos y análisis de emisiones gaseosas y partículas.

En la realización de los estudios tanto del muestreo de chimenea, como de los análisis posteriores, se utilizó los métodos de la Norma venezolana COVENIN y los métodos de la Environmental Protection Agency (EPA), para la determinación de cada uno de los parámetros.

MUESTREO

- Determinación de los gases de combustión (CO_2 , CO , O_2 , y N_2) y peso molecular del gas, de acuerdo a la Norma venezolana COVENIN1832-06 y el Metodo 3 de la EPA (Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, excess air and Dry Molecular Weight)
- Muestreo para determinar los dióxidos de azufre (SO_2), a través de un equipo analizador de sensores electroquímicos, BACHARACH DIOXOR II
- Muestreo para determinar el monóxido de carbono (CO) a través de un equipo analizador de sensores electroquímicos BACHARACH MONOXOR II, donde los valores son expresados en ppm

Determinación de partículas totales suspendidas (PTS): para su determinación se usó la NORMA COVENIN 2060 (colocar referencia) y se procedió de la siguiente manera:

Se realizó aspirando aire ambiental, con un equipo de nominado Hi Vol. Este aire es pasado a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente acondicionado y pesado, donde son atrapadas dichas partículas. Luego se lleva la muestra a laboratorio para su acondicionamiento y pesada final. La técnica usada en el laboratorio fue:

- **Desecación:** después de su exposición, todos los filtros fueron colocados en un desecador, se llevaron a peso constante y se anotaron sus valores correspondientes.
- **Análisis gravimétrico:** la masa de las partículas recogidas en cada filtro fue determinada mediante la diferencia entre pesos iniciales y finales de los mismos, para lo cual se empleó una balanza electrónica microanalítica, previamente calibrada, de 0,1 mg de precisión.

- **Cálculos:** para calcular la concentración de PTS, se divide la masa recogida en cada filtro entre el volumen promedio aspirado llevado a condiciones estándar. Esta concentración se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Para la captación y análisis de dióxido de nitrógeno (NO_2), se utilizó el método de Arsenito de Sodio el cual se basa en la recolección de NO_2 burbujando aire, a una tasa de muestreo es de $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 24 horas, a través de una solución estable de Nitrito de Sodio. El ion Nitrito producido durante el muestreo se hace reaccionar con ácido fosfórico, sulfanilamida y diclorhidrato de N- (1-narfil) etilendiamina para formar un compuesto coloreado, el cual es determinado por análisis calorimétrico. La masa de NO_2 es determinada en el espectrofotómetro visible y la concentración se obtiene dividiendo la masa entre el volumen de aire muestreado.

El dióxido de azufre (SO_2) se determinó mediante el método de la Pararosanilina/tetracloromercurato, el cual es absorbido en una solución de tetracloromercurato de potasio o sodio. La determinación de este parámetro se hace simultáneamente con el dióxido de nitrógeno a una tasa de muestreo de $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 24 horas. El procedimiento resulta en la formación de un complejo de monoclorsulfonato-mercurato, el cual resiste oxidación por el oxígeno en el aire, el EDTD es absorbido a la solución para complejar los metales pesados que catalizan la oxidación del dióxido de azufre colectado.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es absorbido en una solución de acetato de cinc y precipitado como sulfuro de cinc. El precipitado es tratado con ácido para liberar el H_2S el cual se hace reaccionar con sulfuro de p-aminodimetilanilina en presencia de cloruro férrico. El intenso color azul de metileno es medido a 600nm . La tasa de muestreo fue entre 180 y $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 8 horas y los análisis fueron realizados inmediatamente después de recogidas las muestras.

1.4.2.- Se evaluaron los niveles de emisiones de gases a la atmósfera producto de las operaciones de producción en el área de influencia comparando con lo establecido en el Decreto N° 638. En la realización de los estudios tanto del muestreo de chimenea, como de los análisis posteriores, se utilizaron los métodos de la Norma venezolana COVENIN

y los métodos de la Environmental Protection Agency (EPA), para la determinación de los parámetros.

El muestreo se realizó considerando la norma Covenin 1836-6 y el y el Método 3 de la EPA (Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, excess air and Dry Molecular Weight)

- Se determinaron los gases de combustión (CO_2 , CO , O_2 , y N_2) y peso molecular del gas.

Las concentraciones de los gases de combustión (CO_2 , CO , O_2 , y N_2) fueron determinadas y analizadas mediante equipos electroquímicos. Los resultados que se obtuvieron (muestras-análisis) se analizaron tomando como base el Decreto N° 638, Gaceta oficial N° 4899 “Normas sobre la calidad de aire y control de la contaminación atmosférica”

Determinación de partículas totales suspendidas (PTS): para su determinación se usó la NORMA COVENIN 2060 (colocar referencia) y se procedió de la siguiente manera:

Se realizó aspirando aire ambiental, con un equipo de nominado Hi Vol. Este aire es pasado a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente acondicionado y pesado, donde son atrapadas dichas partículas. Luego se lleva la muestra a laboratorio para su acondicionamiento y pesada final. La técnica usada en el laboratorio fue:

- **Desecación:** después de su exposición, todos los filtros fueron colocados en un desecador, se llevaron a peso constante y se anotaron sus valores correspondientes.
- **Análisis gravimétrico:** la masa de las partículas recogidas en cada filtro fue determinada mediante la diferencia entre pesos iniciales y finales de los mismos, para lo cual se empleó una balanza electrónica microanalítica, previamente calibrada, de 0,1 mg de precisión.
- **Cálculos:** para calcular la concentración de PTS, se divide la masa recogida en cada filtro entre el volumen promedio aspirado llevado a condiciones estándar. Esta concentración se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

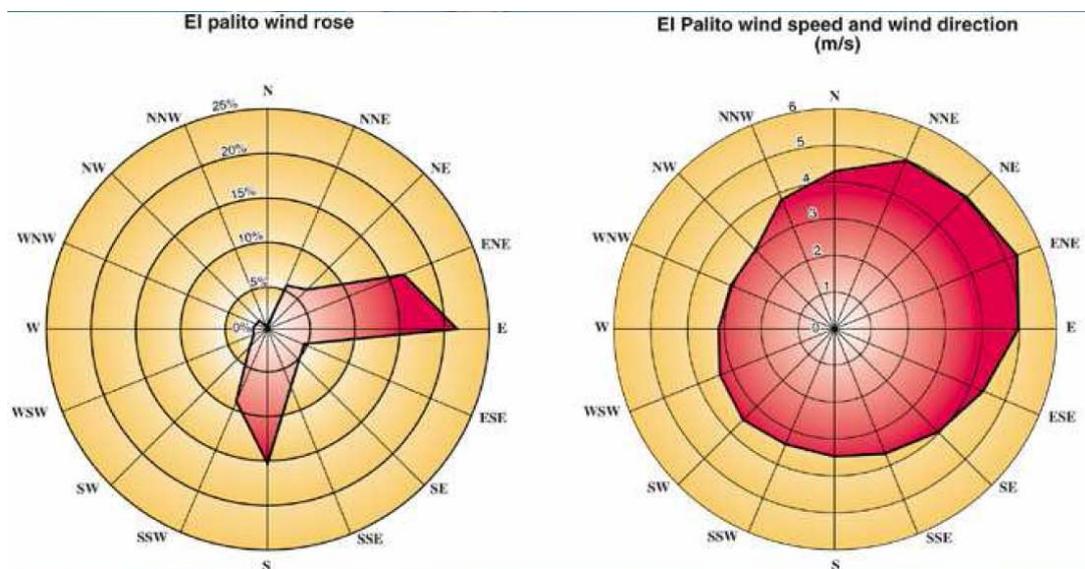
Para la captación y análisis de dióxido de nitrógeno (NO_2), se utilizó el método de Arsenito de Sodio el cual se basa en la recolección de NO_2 burbujando aire, a una tasa de muestreo es de $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 24 horas, a través de una solución estable de Nitrito de Sodio. El ion Nitrito producido durante el muestreo se hace reaccionar con

ácido fosfórico, sulfanilamida y diclorhidrato de N- (1-narfil) etilendiamina para formar un compuesto coloreado, el cual es determinado por análisis calorimétrico. La masa de NO_2 es determinada en el espectrofotómetro visible y la concentración se obtiene dividiendo la masa entre el volumen de aire muestreado.

El dióxido de azufre (SO_2) se determinó mediante el método de la Pararosanilina/tetracloromercurato, el cual es absorbido en una solución de tetracloromercurato de potasio o sodio. La determinación de este parámetro se hace simultáneamente con el dióxido de nitrógeno a una tasa de muestreo de $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 24 horas. El procedimiento resulta en la formación de un complejo de monoclorsulfonato-mercurato, el cual resiste oxidación por el oxígeno en el aire, el EDTD es absorbido a la solución para complejar los metales pesados que catalizan la oxidación del dióxido de azufre colectado.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es absorbido en una solución de acetato de cinc y precipitado como sulfuro de cinc. El precipitado es tratado con ácido para liberar el H_2S el cual se hace reaccionar con sulfuro de p-aminodimetilanilina en presencia de cloruro férrico. El intenso color azul de metileno es medido a 600 nm . La tasa de muestreo fue entre 180 y $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ durante 8 horas y los análisis fueron realizados inmediatamente después de recogidas las muestras.

Rosas de Vientos de la Refinería El Palito



ANEXOS C. Resultados detallado principales fuentes y cuantificación de gases

Tabla 1. Resultados del HORNO B -4201/4301/4401, Equipo MONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA									
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO								
Fuente:	HORNOS (B-4201/4301/4401)BTX	Equipo de Muestreo:	MONOXOR II						
REPORTE DE ANALISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN									
Temperatura Ambiente:	29 °C	Presión Ambiente	30,02 in Hg						
CONTENIDO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN									
Corrida N°1	Compuesto	%	ppm	mg/m3	Corrida N°2	Compuesto	%	ppm	mg/m3
	CO ₂	5,80	58000	104163		CO ₂	5,70	57000	102367
	O ₂	10,60	106000	138449		O ₂	10,40	104000	135837
	CO	0,00	35	40		CO	0,00	34	39
	N ₂	83,60	835965	955389		N ₂	83,90	838966	958818
PESO MOLECULAR SECO (g/mol):				29,35	PESO MOLECULAR SECO (g/mol):				29,33
PROMEDIO Y LIMITE DE GACETA OFICIAL DECRETO 638									
Compuesto	%	ppm	mg/m3	Reglamento					
CO ₂	5,75	57500	103265						
O ₂	10,50	105000	137143						
CO	0,00	35	39	400ppm					
N ₂	83,75	837466	957103						

Tabla .2. Resultados del HORNO B -4201/4301/4401, Equipo NONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA					
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO				
Fuente:	HORNOS (B-4201/4301/4401)BTX	Equipo de Muestreo:	NONOXOR II		
REPORTE DE ANALISIS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx como NO2					
Corrida N°1	CONCENTRACIONES		Corrida N°2	CONCENTRACIONES	
	ppm	mg/m3		ppm	mg/m3
43	80,7		43	80,7	
CONCENTRACIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO COMO NO2					
Concentración promedio:	80,7 mg/m3 actual				
	79,9 mg/m3 estandar				
	43 mg/m3 estandar				
	Reglamento: 300 ppm				

Tabla .3. Resultados del HORNO B -4201/4301/4401, Equipo DIOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA					
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO				
Fuente:	HORNOS (B-4201/4301/4401)BTX	Equipo de Muestreo:	DIOXOR II		
REPORTE DE ANALISIS DE DIÓXIDOS DE AZUFRE (SO2)					
Corrida N°1	CONCENTRACIONES		Corrida N°2	CONCENTRACIONES	
	ppm	mg/m3		ppm	mg/m3
No detectado	0,00		No detectado	0,00	
CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDOS DE AZUFRE					
Concentración promedio:	0 mg/m3 actual				
	0 mg/m3 estandar				
	0 mg/m3 estandar				
	Reglamento: 5000 ppm				

Tabla .4. Resultados DESTILACIÓN AL VACIO B-6001, Equipo MONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA							
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO						
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	MONOXOR II				
REPORTE DE ANALISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN							
Temperatura Ambiente:	29 °C	Presión Ambiente	30,02 in Hg				
CONTENIDO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN							
Corrida N°1				Corrida N°2			
Compuesto	%	ppm	mg/m3	Compuesto	%	ppm	mg/m3
CO ₂	8,0	80000	103673	CO ₂	7,90	79000	141878
O ₂	6,40	64000	83592	O ₂	6,60	66000	86204
CO	0,00	30	34	CO	0,00	29	33
N ₂	85,60	855970	978251	N ₂	85,50	854971	977110
PESO MOLECULAR SECO (g/mol):			29,54	PESO MOLECULAR SECO (g/mol):			29,53

Compuesto	PROMEDIO Y LIMITE DE GACETA OFICIAL DECRETO 638			
	%	ppm	mg/m3	Reglamento
CO ₂	7,95	79500	142776	
O ₂	6,50	65000	84898	
CO	0,00	30	34	400ppm
N ₂	85,55	855471	977681	

Tabla .5. Resultados DESTILACIÓN AL VACIO B-6001, Equipo NONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA							
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO						
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	NONOXOR II				
REPORTE DE ANALISIS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO NO _x como NO ₂							
Corrida N°1				Corrida N°2			
CONCENTRACIONES				CONCENTRACIONES			
ppm	mg/m3			ppm	mg/m3		
41	77,00			39	73,2		
CONCENTRACIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO COMO NO ₂							
Concentración promedio:	75,1 mg/m3 actual						
	74,4 mg/m3 estandar						
	40 mg/m3 estandar			Reglamento: 300 ppm			

Tabla AI.6. Resultados DESTILACIÓN AL VACIO B-6001, Equipo DIOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA							
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO						
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	DIOXOR II				
REPORTE DE ANALISIS DE DIÓXIDOS DE AZUFRE (SO ₂)							
Corrida N°1				Corrida N°2			
CONCENTRACIONES				CONCENTRACIONES			
ppm	mg/m3			ppm	mg/m3		
No detectado	0,00			No detectado	0,00		
CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDOS DE AZUFRE							
Concentración promedio:	0 mg/m3 actual						
	0 mg/m3 estandar						
	0 mg/m3 estandar			Reglamento: 5000 ppm			

Tabla .7. Resultados DESTILACIÓN ATMÓSFERICA B-103, Equipo MONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA							
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO						
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	MONOXOR II				
REPORTE DE ANALISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN							
Temperatura Ambiente:	29 °C	Presión Ambiente	30,02 in Hg				
CONTENIDO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN							
Corrida Nº1				Corrida Nº2			
Compuesto	%	ppm	mg/m3	Compuesto	%	ppm	mg/m3
CO ₂	8,0	80000	103673	CO ₂	7,90	79000	141878
O ₂	6,40	64000	83592	O ₂	6,60	66000	86204
CO	0,00	30	34	CO	0,00	29	33
N ₂	85,60	855970	978251	N ₂	85,50	854971	977110
PESO MOLECULAR SECO (g/mol):			29,54	PESO MOLECULAR SECO (g/mol):			29,53

Compuesto	PROMEDIO Y LIMITE DE GACETA OFICIAL DECRETO 638			
	%	ppm	mg/m3	Reglamento
CO ₂	7,95	79500	142776	
O ₂	6,50	65000	84898	
CO	0,00	30	34	400ppm
N ₂	85,55	855471	977681	

Tabla .8. Resultados DESTILACIÓN ATMÓSFERICA B-103, Equipo NONOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA			
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO		
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	NONOXOR II
REPORTE DE ANALISIS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx como NO2			
Corrida Nº1			Corrida Nº2
CONCENTRACIONES		CONCENTRACIONES	
ppm	mg/m3	ppm	mg/m3
41	77,00	39	73,2
CONCENTRACIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO COMO NO2			
Concentración promedio:	75,1 mg/m3 actual		
	74,4 mg/m3 estandar		
	40 mg/m3 estandar		
	Reglamento: 300 ppm		

Tabla .9. Resultados DESTILACIÓN ATMÓSFERICA B-103, Equipo DIOXOR II

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMOSFERA			
Empresa:	PDVSA, EL PALITO CARABOBO		
Fuente:	DESTILACIÓN AL VACIO B-6001	Equipo de Muestreo:	DIOXOR II
REPORTE DE ANALISIS DE DIÓXIDOS DE AZUFRE (SO2)			
Corrida Nº1			Corrida Nº2
CONCENTRACIONES		CONCENTRACIONES	
ppm	mg/m3	ppm	mg/m3
No detectado	0,00	No detectado	0,00
CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDOS DE AZUFRE			
Concentración promedio:	0 mg/m3 actual		
	0 mg/m3 estandar		
	0 mg/m3 estandar		
	Reglamento: 5000 ppm		

Tabla 10. Partículas Totales Suspendida

Concentraciones	Porcentajes de Excedencia	Estación Materiales Bariven	Estación Sur	Estación CAREP
75	50	100	95	100
150	5	15	0	85
200	2	0	0	40
260	0,5	0	0	10

Tabla 11. Datos de Calibración del Fabricante

Presión de Calibración Cilindrico del Calibrador Pcf (mmHg)	749.3
Temperatura de Calibración Cilindrico del Calibrador Tcf (°K)	296

Punto Nº	Vm (m3)	Ap (mmHg)	Va (m3)	AH (pulg.H2O)	Qcf (m3/min)
1	1.286	1	0.9946	1.5	0.773405910
2	1.000	1	0.9911	2.5	0.991100000
3	0.914	1	0.9895	3.0	1.082603939
4	0.845	1	0.9897	3.5	1.171242604
5	0.642	1	0.9790	6.0	1.524922119

n	(AH*Ta/Pa)1/2	Qcf	AH*Qcf	Qcf*Qcf	AH*AH
	1.5	0.773405910	1.160108865	0.598156702	2.25
	2.5	0.991100000	2.47775	0.98227921	6.25
	3.0	1.082603939	3.247811817	1.172031289	9.00
	3.5	1.171242604	4.099349114	1.371809237	12.25
5	6.0	1.524922119	9.149532713	2.325387468	36.00
	16.5	5.5	20.1	6.4	65.75

$b = 6.056676725$

$a = -3414764414$

$r^2 = 0.99355724$

X	$X=(y-a)/b$	Y
0.773405910	0.811426632	1.5
0.991100000	0.976569278	2.5
1.082603939	1.0591228	3.0
1.171242604	1.141676323	3.5
1.524922119	1.554443937	6.0

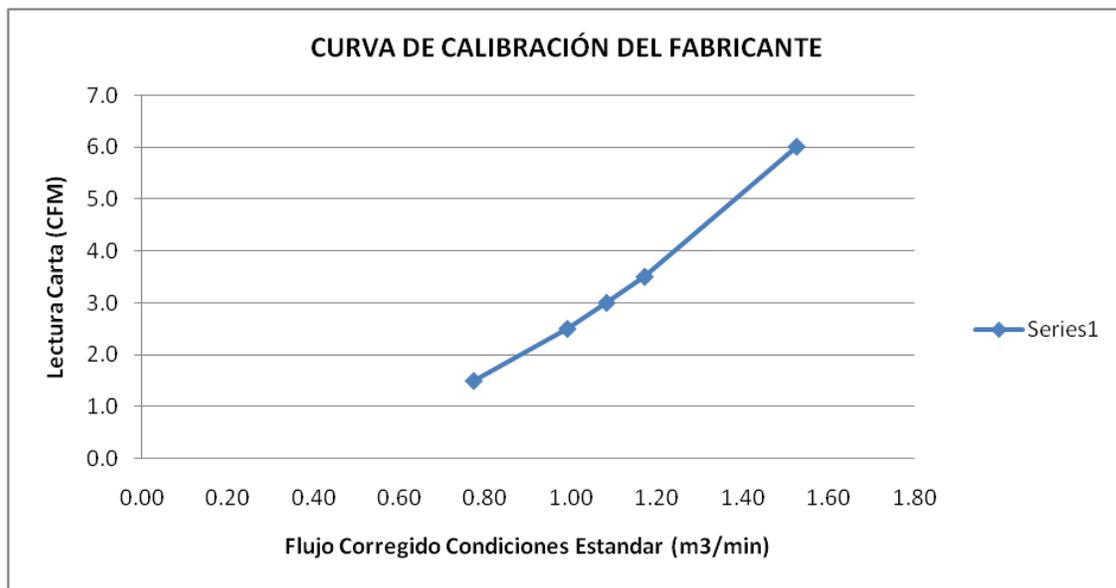


Figura 11. Curva de Calibración del Fabricante

Tabla 12.-Datos de Calibración Muestreador Alto Volumen Estación BARIVEN

Lugar de Medicion:	Refineria, El Palito
Estación	Materiales BARIVEN
Presión Barometrica Punto de Muestreo Pcm (mmHg)	757.5
Temperatura Ambiente (°K)	303
Presión de Calibración Cilindrico del Calibrador Pcf (mmHg)	749.3
Temperatura de Calibración Cilindrico del Calibrador Tcf (°K)	296
Temperatura Estandar TSTD (°K)	298
Presión Estandar (mmHg)	760

Punto Nº	Lm Pulg. H2O	LMF InH2O Carta	Qcf (m3/min)	Qcm (m3/min)	Qest (m3/min)
1	3.0	62	1.059122800	1.065757319	1.044722635
2	2.6	56	0.993079982	0.999300798	0.979577756
3	2.4	52	0.960058573	0.966072537	0.947005316
4	2.0	44	0.894015755	0.899616016	0.881860437
5	1.5	32	0.811462232	0.816445365	0.800429338
6	0.4	10	0.629844482	0.633789931	0.621280919
n	X	Y	X*Y	X*X	Y*Y
	0.62128092	10	6.212809200	0.385989982	100
	0.80042934	32	25.613738880	0.640687128	1024
	0.88186044	44	38.801859360	0.777677836	1936
	0.94700532	52	49.244276640	0.896819076	2704
	0.97957776	56	54.856354336	0.95957258	3136
	1.04472264	62	64.772803370	1.091445384	3844
6	5.2748764	256	239.5018418	4.752191986	12744

Recta	b=pendiente= 125,7822588		
$Y = -67.9 + 125.8 * X$	a=Constante=-67,91431145		
$X = (Y + 67.9) / 125,8$	r2=Coeficiente correlación= 0.998631623		
Volumen Condiciones Estandar	X	Xcorregido	Y
Vstd= 60*X*tm	0.62128092	0.619438005	10
Y = flujo promedio medido de flujo	0.80042934	0.794343434	32
Y = flujo corregido estandar	0.88186044	0.889746396	44
	0.94700532	0.95334837	52
	0.97957776	0.98514957	56
	1.04472264	1.032850838	62

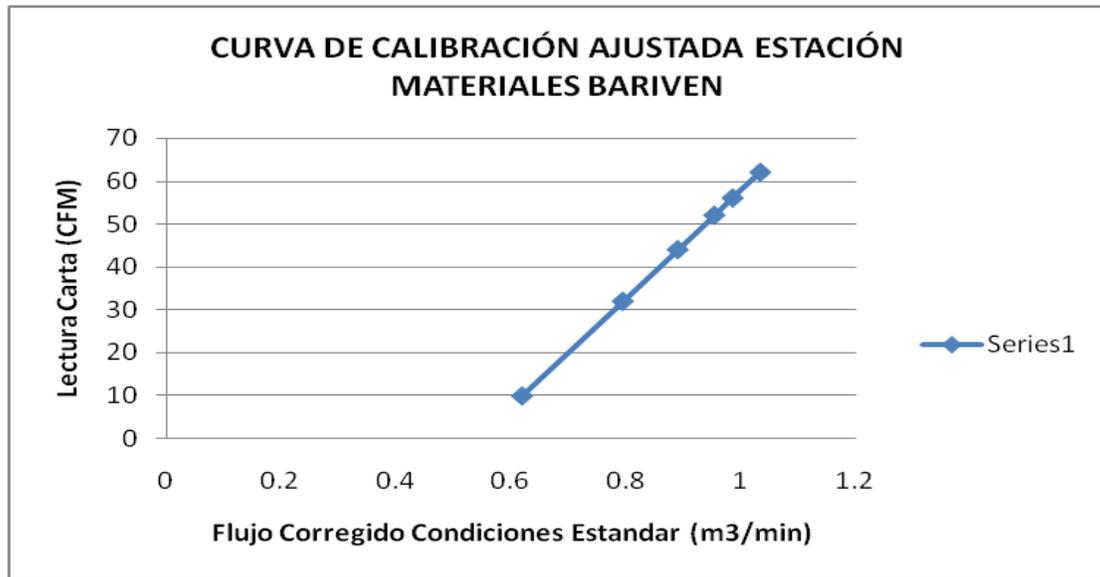


Figura 2.- Curva de Calibración Ajustada Estación Materiales BARIVEN

Tabla 13 Datos de Estudio de Calidad de Aire Estación BARIVEN

Muestra Nº	Nº de Filtro	Volumen (m3)	Masa PTS (ug)	CONCENTRACIÓN (pts/M3)	TIEMPO Hora
1	7924603	1213	124600	103	21,76
2	7924606	1176	145400	124	21,19
3	7924609	1326	183400	138	24,00
4	7924612	1349	132700	98	24,00
5	7924615	1280	120000	94	22,81
6	7924618	1014	162500	160	18,52
7	7924621	1284	171000	133	23,48
8	7924627	1320	174400	132	23,89
9	7924624	1316	174600	133	23,82
10	7924630	1312	111300	85	24,00
11	7924633	1315	121300	92	23,80
12	7924636	1289	144500	112	22,93
13	7924639	1321	151000	114	23,91
14	7924642	1319	147600	112	24,05
15	7924660	1301	152400	117	23,95
16	7924645	1323	143100	108	23,95
17	7924648	1322	120400	91	23,92
18	7924651	1345	191000	142	24,13
19	7924654	1320	235500	178	23,87
20	7924657	1323	251600	190	23,95
Promedio de las mediciones				123	

Limites	%Excedencia	%Estudio	
75	50	100	Valor máximo = 190 ug/m3
150	5	15	Valor mínimo = 85 ug/m3
200	2	0	Valor promedio= 123 ug/m3
260	0,5	0	
Decreto 638		Datos de estudio	

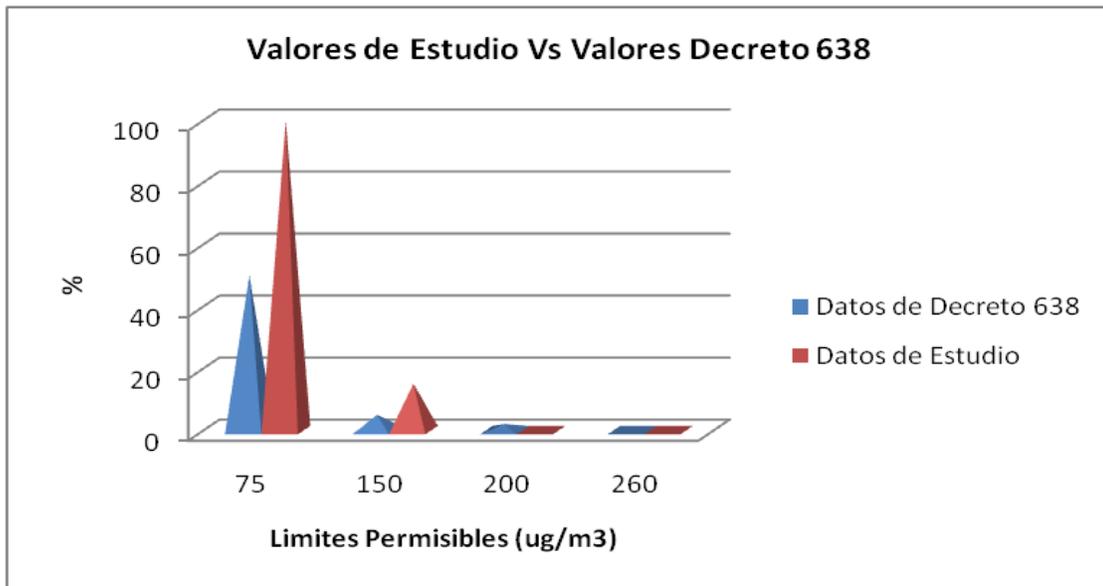


Figura 3. Comparación de Datos de Estudio vs Datos Decreto 638 Estación BARIVEN

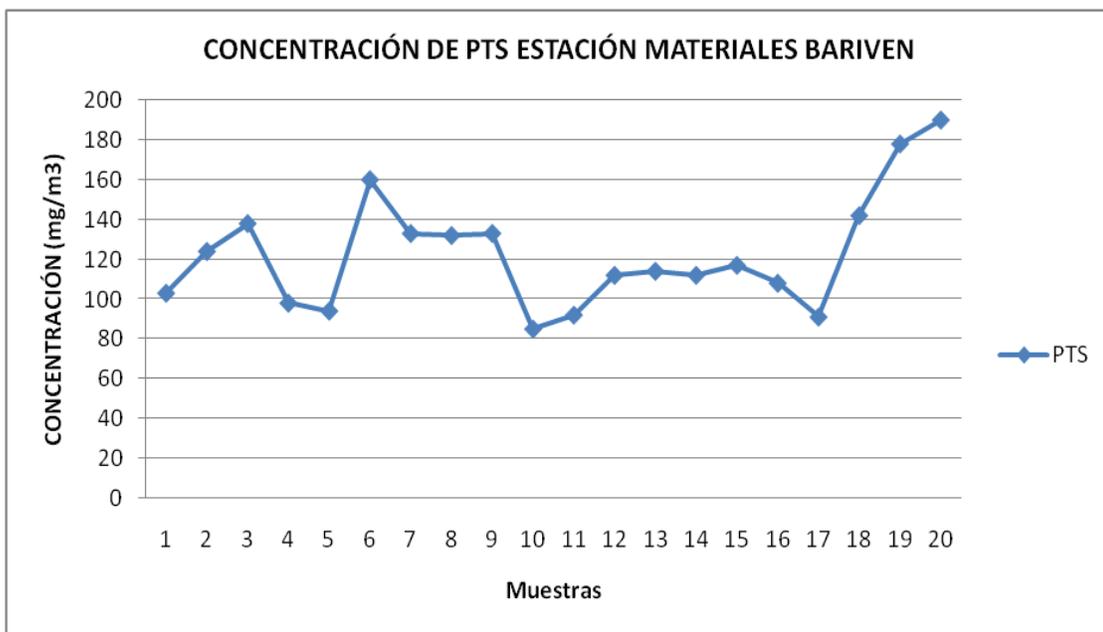


Figura 4. Concentración de PTS Estación BARIVEN

Tabla 14. Datos de Calibración Muestreador Alto Volumen Estación Área Sur 6

Lugar de Medicion:	Refineria, El Palito
Estación	Area Sur 6
Presión Barometrica Punto de Muestreo Pcm (mmHg)	758
Temperatura Ambiente (°K)	304
Presión de Calibración Cilindrico del Calibrador Pcf (mmHg)	749.3
Temperatura de Calibración Cilindrico del Calibrador Tcf (°K)	296
Temperatura Estandar TSTD (°K)	298
Presión Estandar (mmHg)	760

Punto Nº	Lm Pulg. H2O	LMF InH2O Carta	Qcf (m3/min)	Qcm (m3/min)	Qest (m3/min)
1	3.0	62	1.059122800	1.067162405	1.043347095
2	2.5	53	0.976569278	0.983982234	0.962023212
3	2.0	42	0.894015755	0.900802063	0.880699330
4	2.0	36	0.894015755	0.900802063	0.880699330
5	1.4	30	0.794951528	0.800985857	0.783110671
6	0.5	10	0.646355187	0.651261549	0.636727682
n	X	Y	X*Y	X*X	Y*Y
	0.63672768	10	6.367276820	0.40542214	100
	0.78311067	30	23.493320130	0.61326232	900
	0.88069933	36	31.705175880	0.77563131	1296
	0.88069933	42	36.989371860	0.77563131	1764
	0.96202321	53	50.987230236	0.92548866	2809
	1.04334710	62	64.687519890	1.08857316	3844
6	5.18660732	233	214.2298948	4.5840089	10713

Recta	b=pendiente= 127.4954016		
$Y = -71.4 + 127.5 * X$	a=Constante=-71.37809715		
$X = (Y + 71.4) / 127.5$	r2=Coeficiente correlación= 0.990715683		
Volumen Condiciones Estandar	X	Xcorregido	Y
Vstd= 60*X*tm	0.63672768	0.63828261	10
Y = flujo promedio medido de flujo	0.78311067	0.79515101	30
Y = flujo corregido estandar	0.88069933	0.84221153	36
	0.88069933	0.88927205	42
	0.96202321	0.97554967	53
	1.04334710	1.04614045	62

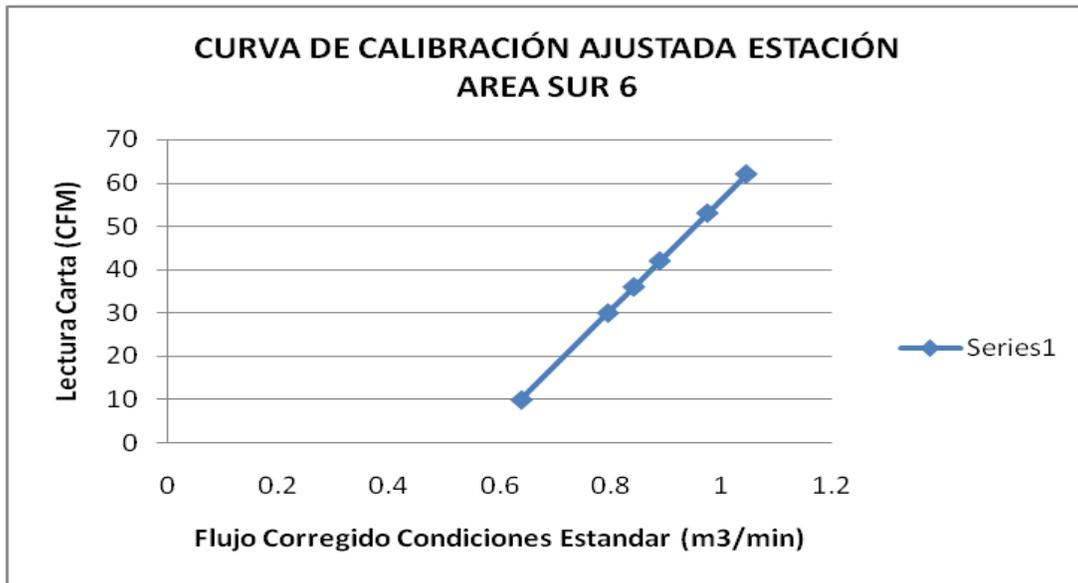


Figura 5. Curva de Calibración Ajustada Estación Sur 6

Tabla 15. Datos de Estudio de Calidad de Aire Estación BARIVEN

Nº de Filtro	Volumen (m3)	Masa PTS (ug)	CONCENTRACIÓN	TIEMPO
			(pts/M3)	Hora
7924602	786	71300	91	13,55
7924605	1257	114700	91	22,02
7924608	1393	145300	104	24,00
7924611	1393	106800	77	24,00
7924614	1384	99600	72	23,85
7924617	1390	167600	121	23,95
7924620	1407	152000	108	23,90
7924623	1393	143100	103	24,00
7924626	1414	146300	103	23,82
7924629	1393	101400	73	24,00
7924632	1392	109400	79	23,98
7924635	1382	127900	93	24,00
7924638	1376	146600	107	23,90
7924641	1371	139100	101	24,01
7924644	1373	126800	92	24,04
7924647	1364	123000	90	23,86
7924650	1377	108400	79	23,91
7924653	1373	114400	83	24,05
7924656	1362	181000	133	23,85
7924659	1374	188500	137	24,05
Promedio de las mediciones			97	

Limites	%Excedencia	%Estudio	
75	50	95	Valor máximo = 137 ug/m3
150	5	0	Valor mínimo = 72 ug/m3
200	2	0	Valor promedio= 97 ug/m3
260	0,5	0	
Decreto 638		Datos de estudio	

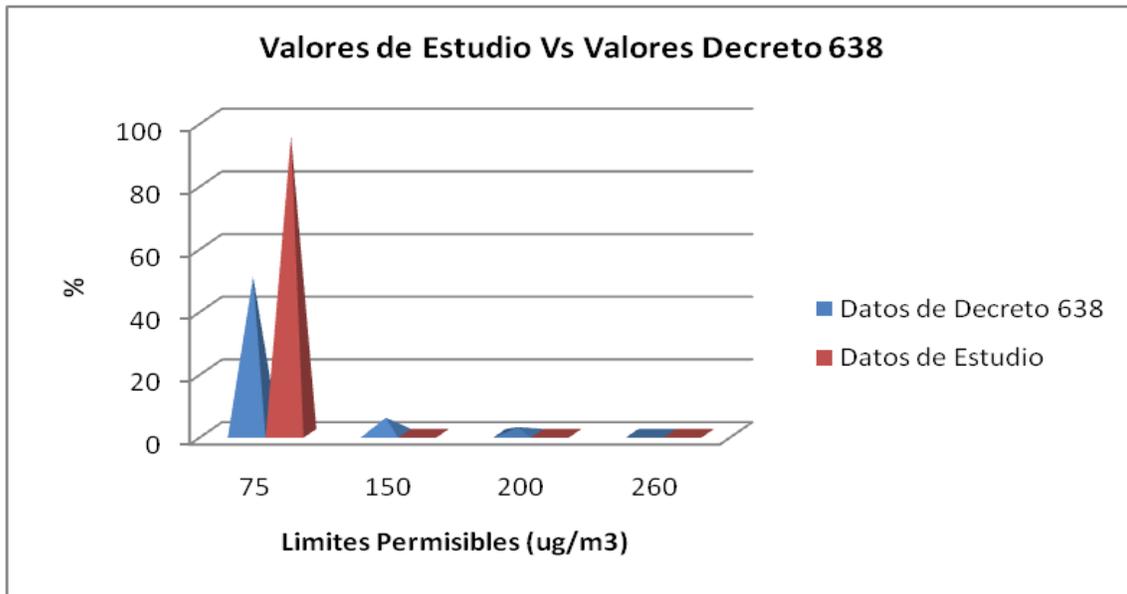


Figura 6. Comparación de Datos de Estudio vs Datos Decreto 638 Estación BARIVEN

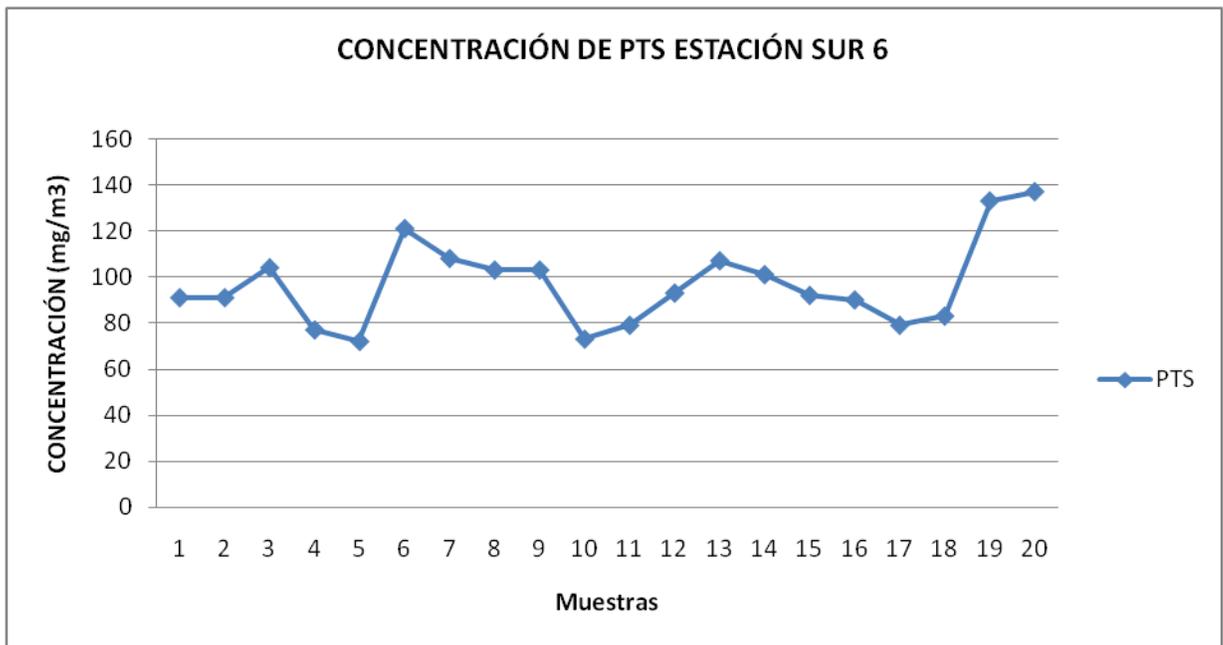


Figura 7. Concentración de PTS Estación Sur 6

Tabla 16. Datos de Calibración Muestreador Alto Volumen Estación CAREP

Lugar de Medicion:	Refineria, El Palito
Estación	CAREP
Presión Barometrica Punto de Muestreo Pcm (mmHg)	757.5
Temperatura Ambiente (°K)	302
Presión de Calibración Cilindrico del Calibrador Pcf (mmHg)	749.3
Temperatura de Calibración Cilindrico del Calibrador Tcf (°K)	296
Temperatura Estandar TSTD (°K)	298
Presión Estandar (mmHg)	760

Punto Nº	Lm Pulg. H2O	LMF lnH2O Carta	Qcf (m3/min)	Qcm (m3/min)	Qest (m3/min)
1	3.0	54	1.059122800	1.06399719 0	1.04645087 9
2	2.9	52	1.042612096	1.04741049 9	1.03013771 8
3	2.7	48	1.009590687	1.01423711 6	0.99751139 5
4	5.2	42	0.976569278	0.98106373 2	0.96488507 2
5	2.1	32	0.910526459	0.91471696 6	0.89963242 6
6	0.9	10	0.712398005	0.71567666 7	0.70387448 7
n	X	Y	X*Y	X*X	Y*Y
	0.7038744 9	10	7.038744870	0.49543929	100
	0.8996324 3	32	28.78823763 2	0.8093385	1024
	0.9648850 7	42	40.52517302 4	0.9310032	1764
	0.9975114 0	48	47.88054696 0	0.99502898	2304
	1.0301377 2	52	53.56716133 6	1.06118372	2704
	1.0464508 8	54	56.50834746 6	1.09505944	2916
6	5.6424919 8	238	234.3082113	5.38705314	10812

Recta	b=pendiente= 129.8715852
Y = -82.5 + 129.9*X	a=Constante=-82.46656293

$X = (Y + 82.5) / 129.9$	r2=Coeficiente correlación= 0.996690018		
Volumen Condiciones Estandar	X	Xcorregido	Y
Vstd= 60*X*tm	0.70387449	0.71198456	10
Y = flujo promedio medido de flujo	0.89963243	0.88138266	32
Y = flujo corregido estandar	0.96488507	0.9583818	42
	0.99751140	1.00458128	48
	1.03013772	1.03538093	52
	1.04645088	1.05078076	54

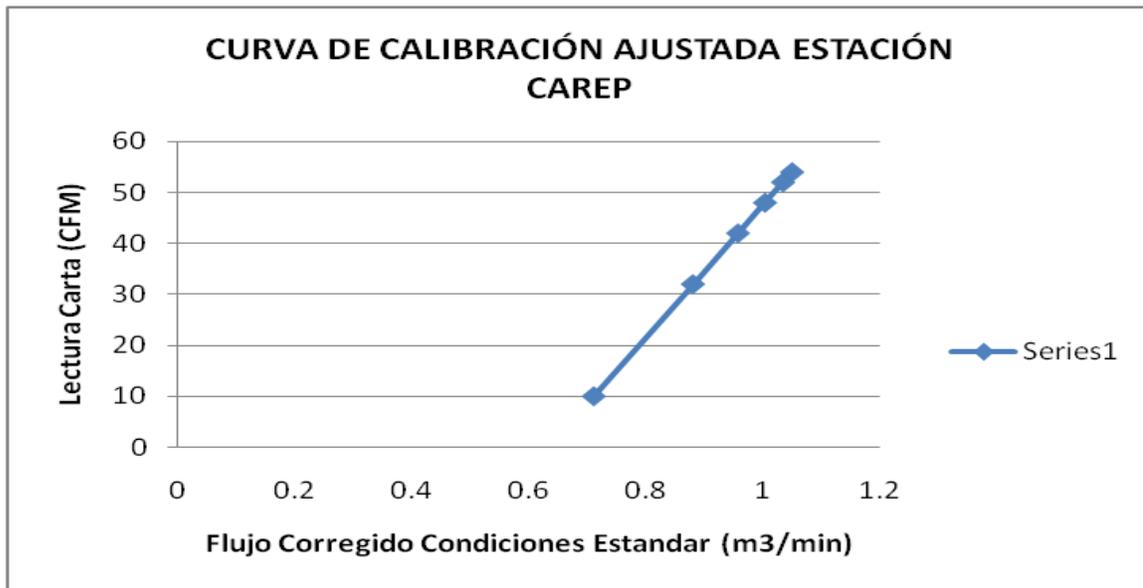


Figura 8. Curva de Calibración Ajustada Estación Materiales CAREP

Tabla .17. Datos de Estudio de Calidad de Aire Estación CAREP

Nº de Filtro	Volumen (m3)	Masa PTS (ug)	CONCENTRACIÓN	TIEMPO
			(pts/M3)	Hora
7924601	1252	245000	196	24,00
7924604	1236	274400	222	23,80
7924607	1235	254400	206	24,00
7924610	1293	229800	178	24,90
7924613	1236	250300	203	23,80
7924616	1189	269900	227	22,90
7924619	1257	260900	208	23,99
7924622	1257	331700	264	23,98
7924625	1257	336700	268	23,80
7924628	1236	205000	166	23,80
7924631	1235	244900	198	24,00
7924634	1229	241200	196	23,96
7924637	1254	164100	131	24,37
7924640	1392	126700	91	23,97
7924643	1239	205000	165	24,07
7924646	1224	196600	161	23,78
7924649	1231	183400	149	23,92
7924652	1205	210100	174	23,86
7924655	1207	213000	176	23,89
7924658	1226	246300	201	24,05
Promedio de las mediciones			97	

Limites	%Excedencia	%Estudio	
75	50	100	Valor máximo = 286 ug/m3
150	5	85	Valor minimo = 91 ug/m3
200	2	40	Valor promedio= 189 ug/m3
260	0,5	10	
Decreto 638		Datos de estudio	

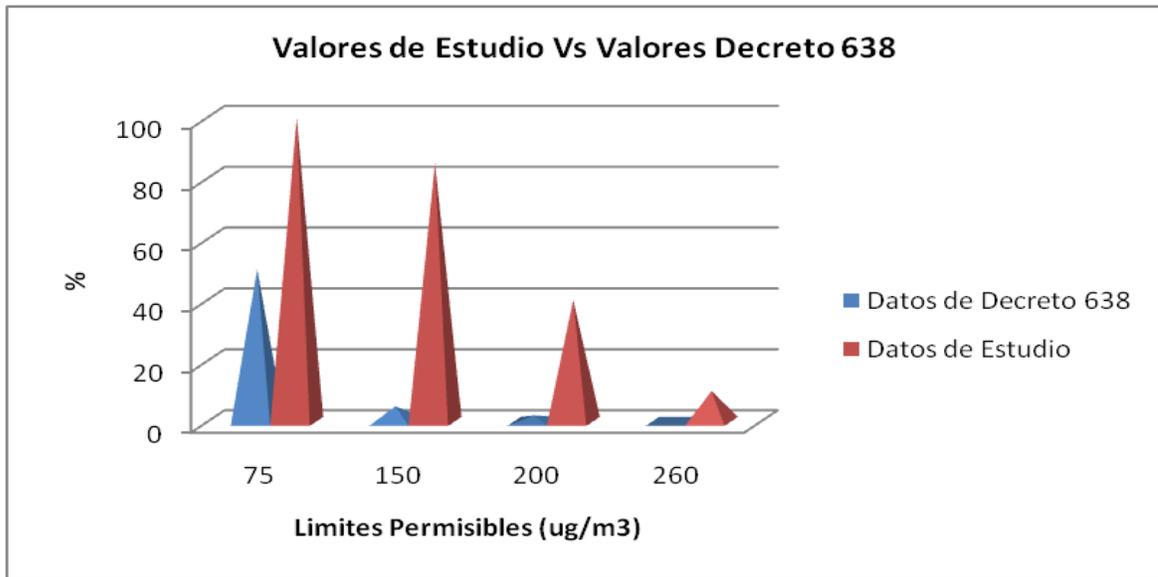


Figura 9. Comparación de Datos de Estudio vs Datos Decreto 638 Estación CAREP

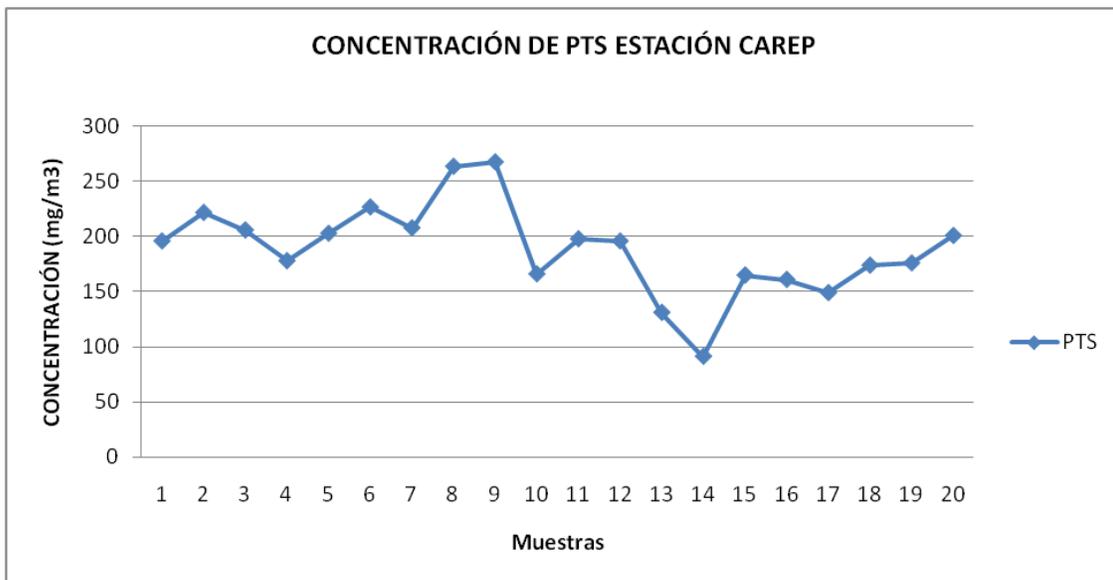


Figura 10. Concentración de PTS Estación CAREP

Tabla 18. Datos de muestras de Estudio de Calidad de Aire Dioxido de Nitrógeno NO₂

Muestra Nº	Ubicación	Absorbancias (A-Ao)	Masa (ug)	Flujo Inicial (ml/min)	Flujo Final (ml/min)	Promedio Flujo (ml/min)	Tiempo Muestreo (min)	Volumen m3	Concentración (ug/m3)
1	BARIVEN	0.041	0.074567343	160	160	160	1306	0.20896	< 9
2	BARIVEN	0.046	0.084265928	180	180	180	1271	0.22878	
3	BARIVEN	0.49	0.945500331	160	160	160	1440	0.2304	
4	BARIVEN	0.083	0.156035462	180	180	180	1440	0.2592	
5	BARIVEN	0.026	0.045471586	100	100	100	1369	0.1369	
6	BARIVEN	0.064	0.119180837	100	100	100	1111	0.1111	
7	BARIVEN	0.027	0.047411303	160	160	160	1409	0.22544	
8	BARIVEN	0.026	0.454745860	120	120	120	1433	0.17196	
9	BARIVEN	0.037	0.066808474	120	120	120	1429	0.17148	
10	BARIVEN	0.034	0.060989323	180	180	180	1440	0.2592	
11	BARIVEN	0.024	0.041592152	100	100	100	1428	0.1428	
12	BARIVEN	0.014	0.022194980	100	100	100	1376	0.1376	
13	BARIVEN	<0.01		120	120	120	1435	0.1722	
14	BARIVEN	0.018	0.029953849	180	180	180	1444	0.25992	
15	BARIVEN	0.016	0.026074415	120	120	120	1437	0.17244	
16	BARIVEN	0.015	0.024134698	140	140	140	1437	0.20118	
17	BARIVEN	0.035	0.062929040	100	100	100	1437	0.1437	
18	BARIVEN	0.053	0.097843948	100	100	100	1448	0.1448	
19	BARIVEN	0.042	0.076507060	120	120	120	1443	0.17196	
20	BARIVEN	0.033	0.059049606	140	140	140	1437	0.20118	
1	Sur 6	0.034	0.060989323	200	200	200	813	0.1626	< 9
2	Sur 6	0.058	0.107542534	200	200	200	1321	0.2642	
3	Sur 6	0.09	0.169613482	181	181	181	1440	0.2596	
4	Sur 6	0.058	0.107542534	140	140	140	1440	0.2016	
5	Sur 6	<0.01		180	180	180	1431	0.25758	
6	Sur 6	0.025	0.043531869	140	140	140	1437	0.20118	
7	Sur 6	0.029	0.051290737	100	100	100	1434	0.1432	
8	Sur 6	0.039	0.070687908	180	180	180	1440	0.2592	
9	Sur 6	0.04	0.726276260	180	180	180	1429	0.25722	
10	Sur 6	0.082	0.154095745	180	180	180	1440	0.2592	
11	Sur 6	0.045	0.082326211	180	180	180	1439	0.25902	
12	Sur 6	<0.01		180	180	180	1440	0.2592	
13	Sur 6	0.027	0.047411303	180	180	180	1434	0.25812	
14	Sur 6	0.076	142457442	180	180	180	1440	0.2592	
15	Sur 6	0.053	0.097843948	180	180	180	1440	0.2592	
16	Sur 6	0.054	0.099783665	180	180	180	1432	0.25776	
17	Sur 6	0.038	0.068748191	180	180	180	1435	0.2583	
18	Sur 6	0.041	0.074567343	180	180	180	1443	0.25974	
19	Sur 6	0.001	-0.003021342	200	200	200	1431	0.2862	
20	Sur 6	0.07	0.130819139	180	180	180	1443	0.25974	
1	CAREP	0.077	0.144397159	200	200	200	1440	0.288	< 9
2	CAREP	0.078	0.146336876	200	200	200	1428	0.2856	
3	CAREP	0.056	0.103663100	200	200	200	1440	0.288	
4	CAREP	0.079	0.148276593	200	200	200	1494	0.2988	
5	CAREP	0.049	0.090008508	160	160	160	1428	0.22848	
6	CAREP	0.046	0.084265928	140	140	140	1374	0.19236	
7	CAREP	0.037	0.066808474	120	120	120	1440	0.1728	
8	CAREP	0.004	0.002797809	200	200	200	1439	0.2878	
9	CAREP	0.076	0.142457442	200	200	200	1428	0.2856	
10	CAREP	0.048	0.088145363	180	180	180	1440	0.2592	
11	CAREP	0.038	0.068748191	180	180	180	1433	0.25794	
12	CAREP	0.031	0.055170171	180	180	180	1438	0.25684	
13	CAREP	0.017	0.028014132	160	160	160	1462	0.23392	
14	CAREP	0.039	0.07068791	200	200	200	1438	0.23392	
15	CAREP	0.053	0.097843948	200	200	200	1444	0.2876	
16	CAREP	0.03	0.532304540	200	200	200	1427	0.2854	
17	CAREP	0.043	0.078446777	200	200	200	1435	0.287	
18	CAREP	0.01	0.189010653	180	180	180	1432	0.25776	
19	CAREP	0.005	0.004737526	200	200	200	1433	0.2866	
20	CAREP	0.108	0.204528390	200	200	200	1433	0.2886	

LÍMITE DETECCIÓN: 9 ug/m3

Tabla 19. Datos de muestras de Estudio de Calidad de Aire Dioxido de Azufre SO₂

Muestra Nº	Ubicación	Absorbancias (A-Ao)*0.382*B (ug)	Flujo Inicial (ml/min)	Flujo Final (ml/min)	Promedio Flujo (ml/min)	Tiempo Muestreo (min)	Volumen m3	Concentración (ppm)	Concentración (ug/m3)
1	BARIVEN	0.08059436	120	120	120	1306	0.15672	< 0.01	< 25
2	BARIVEN	0.21875612	140	140	140	1271	0.17794		
3	BARIVEN	0.12664828	140	140	140	1440	0.2016		
4	BARIVEN	0.12664828	140	140	140	1440	0.2016		
5	BARIVEN	4.49025720	120	120	120	1369	0.1634		27
6	BARIVEN	<0.01	100	100	100	1111	0.1111		< 25
7	BARIVEN	4.60539200	100	100	100	1409	0.1409		33
8	BARIVEN	0.32237744	140	140	140	1433	0.20062		< 25
9	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1429	0.20006		
10	BARIVEN	0.08059436	140	140	140	1440	0.2304		
11	BARIVEN	0.05756740	120	120	120	1428	0.17136		
12	BARIVEN	0.01151348	120	120	120	1376	0.16512		
13	BARIVEN	0.24178308	120	120	120	1435	0.1722		
14	BARIVEN	0.03454044	120	120	120	1444	0.17328		
15	BARIVEN	0.35691788	140	140	140	1437	0.17244		
16	BARIVEN	0.19572926	140	140	140	1437	0.20188		
17	BARIVEN	0.06908088	140	140	140	1437	0.20188		
18	BARIVEN	0.35691788	120	120	120	1448	0.20188		
19	BARIVEN	0.47205268	120	120	120	1443	0.17196		
20	BARIVEN	<0.01	120	120	120	1437	0.20118		

1	Sur 6	0.18421568	300	300	300	813	0.2439	< 0.01	< 25
2	Sur 6	0.32237744	300	300	300	1321	0.3963		
3	Sur 6	0.77140316	300	300	300	1440	0.432		
4	Sur 6	0.89805144	300	300	300	1440	0.432		31
5	Sur 6	10.70775364	240	240	240	1431	0.34344		< 25
6	Sur 6	<0.01	240	240	240	1437	0.34488		
7	Sur 6	1.03621320	300	300	300	1434	0.4302		
8	Sur 6	1.32240502	300	300	300	1440	0.432		
9	Sur 6	1.76156224	300	300	300	1429	0.4287		
10	Sur 6	0.01151135	300	300	300	1440	0.2304		
11	Sur 6	0.03454044	300	300	300	1439	0.4317		
12	Sur 6	<0.01	300	300	300	1440	0.432		
13	Sur 6	<0.01	300	300	300	1434	0.4302		
14	Sur 6	0.66778184	300	300	300	1440	0.432		
15	Sur 6	1.11680756	300	300	300	1440	0.432		
16	Sur 6	0.82897056	300	300	300	1432	0.4296		
17	Sur 6	<0.01	300	300	300	1435	0.4305		
18	Sur 6	<0.01	300	300	300	1443	0.439		
19	Sur 6	<0.01	300	300	300	1431	0.4293		
20	Sur 6	0.03454044	300	300	300	1443	0.439		

1	CAREP	0.144397159	100	100	100	1440	0.144	< 0.01	< 25
2	CAREP	0.146336876	100	100	100	1428	0.1428		
3	CAREP	0.103663100	100	100	100	1440	0.144		
4	CAREP	0.148276593	100	100	100	1494	0.1494		
5	CAREP	0.090008508	180	180	180	1428	0.25704		26
6	CAREP	0.084265928	160	160	160	1374	0.21984		< 25
7	CAREP	0.066808474	160	160	160	1440	0.2304		
8	CAREP	0.002797809	100	100	100	1439	0.1439		
9	CAREP	0.142457442	180	180	180	1428	0.25704		
10	CAREP	0.088145363	100	100	100	1440	0.2504		
11	CAREP	0.068748191	180	180	180	1433	0.25794		
12	CAREP	0.055170171	180	180	180	1438	0.25884		
13	CAREP	0.028014132	180	180	180	1462	0.26316		
14	CAREP	0.07068791	100	100	100	1438	0.1438		
15	CAREP	0.097843948	140	140	140	1444	0.20216		
16	CAREP	0.532304540	180	180	180	1427	0.25686		
17	CAREP	0.078446777	160	160	160	1435	0.2296		
18	CAREP	0.189010653	160	160	160	1432	0.22912		
19	CAREP	0.004737526	160	160	160	1433	0.22928		
20	CAREP	0.204528390	160	160	160	1433	0.25974		

B = 30.14 = inverso de la pendiente de la Curva

ppm SO₂ = 0.000382 ug/m³

Tabla AI.20. Datos de muestras de Estudio de Calidad de Aire Dioxido de Azufre SO₂

Muestra Nº	Ubicación	Absorbancias (A-Ao)*0.382*B (ug)	Flujo Inicial (ml/min)	Flujo Final (ml/min)	Promedio Flujo (ml/min)	Tiempo Muestreo (min)	Volumen m3	Concentración (ppm)
1	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1306	0.23664	< 0.01
2	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1271	0.2592	
3	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1440	0.25812	
4	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1440	0.22848	
5	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1369	0.20328	
6	BARIVEN	<0.01	180	180	180	1111	0.24174	
7	BARIVEN	<0.01	180	180	180	1409	0.2844	
8	BARIVEN	<0.01	180	180	180	1433	0.27963	
9	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1429	0.20244	
10	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1440	0.2016	
11	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1428	0.144	
12	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1376	0.17208	
13	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1435	0.2016	
14	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1444	0.20076	
15	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1437	0.20076	
16	BARIVEN	<0.01	160	160	160	1437	0.20244	
17	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1437	0.20496	
18	BARIVEN	<0.01	140	140	140	1448	0.2115	
19	BARIVEN	<0.01	120	120	120	1443	0.22944	
20	BARIVEN	<0.01	120	120	120	1437	0.22944	

1	Sur 6	<0.01	180	180	180	813	0.21696	< 0.01
2	Sur 6	<0.01	180	180	180	1321	0.2304	
3	Sur 6	<0.01	160	160	160	1440	0.2304	
4	Sur 6	<0.01	160	160	160	1440	0.216	
5	Sur 6	<0.01	120	120	120	1431	0.19992	
6	Sur 6	<0.01	100	100	100	1437	0.1872	
7	Sur 6	<0.01	180	180	180	1434	0.1782	
8	Sur 6	<0.01	180	180	180	1440	0.1782	
9	Sur 6	<0.01	160	160	160	1429	0.15378	
10	Sur 6	<0.01	180	180	180	1440	0.2016	
11	Sur 6	<0.01	160	160	160	1439	0.1452	
12	Sur 6	<0.01	180	180	180	1440	0.25812	
13	Sur 6	<0.01	180	180	180	1434	0.26028	
14	Sur 6	<0.01	180	180	180	1440	0.2592	
15	Sur 6	<0.01	180	180	180	1440	0.2646	
16	Sur 6	<0.01	180	180	180	1432	0.22646	
17	Sur 6	<0.01	180	180	180	1435	0.22944	
18	Sur 6	<0.01	180	180	180	1443	0.24582	
19	Sur 6	<0.01	160	160	160	1431	0.22945	
20	Sur 6	<0.01	140	140	140	1443	0.25596	

1	CAREP	<0.01	120	120	120	1440	0.21696	< 0.01
2	CAREP	<0.01	160	160	160	1428	0.2304	
3	CAREP	<0.01	160	160	160	1440	0.2304	
4	CAREP	<0.01	100	100	100	1494	0.216	
5	CAREP	<0.01	140	140	140	1428	0.19992	
6	CAREP	<0.01	100	100	100	1374	0.1872	
7	CAREP	<0.01	140	140	140	1440	0.1782	
8	CAREP	<0.01	140	140	140	1439	0.1782	
9	CAREP	<0.01	180	180	180	1428	0.15378	
10	CAREP	<0.01	180	180	180	1440	0.2016	
11	CAREP	<0.01	140	140	140	1433	0.1452	
12	CAREP	<0.01	160	160	160	1438	0.25812	
13	CAREP	<0.01	140	140	140	1462	0.26028	
14	CAREP	<0.01	160	160	160	1438	0.2592	
15	CAREP	<0.01	100	100	100	1444	0.2646	
16	CAREP	<0.01	140	140	140	1427	0.22646	
17	CAREP	<0.01	140	140	140	1435	0.22944	
18	CAREP	<0.01	100	100	100	1432	0.24582	
19	CAREP	<0.01	140	140	140	1433	0.22945	
20	CAREP	<0.01	100	100	100	1433	0.25596	

Sulfuro de Hidrógeno	
Límite	Porcentaje
20 ug/m3	0.5

Límite de detección del metodo = 0.1 mg/L

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
1832-89**

**GASES DE COMBUSTION.
DETERMINACION DE LAS
CONCENTRACIONES DE DIOXIDO
DE CARBONO, OXIGENO,
MONOXIDO DE CARBONO Y PESO
MOLECULAR**

(1^{ra.} REVISION)



PROLOGO

La presente norma sustituye totalmente a la Norma Venezolana COVENIN 1832-81 "Determinación de oxígeno, dióxido de carbono y peso molecular seco en gases de combustión".

TRAMITE

COMITE TECNICO CT6: "HIGIENE, SEGURIDAD Y PROTECCION"

PRESIDENTE: REYNALDO ROSAL

VICEPRESIDENTES: ENRIQUE BART

OMAR CARDOZO

SECRETARIO: EDGARDO HERNANDEZ VERARDY

SUBCOMITE TECNICO CT6/SCS: "PROTECCION AMBIENTAL"

COORDINADOR: EDGARDO HERNANDEZ VERARDY

PARICIPANTES

ENTIDAD

REPRESENTANTE

CORPORACION VENEZOLANA DE GUAYANA

REYNALDO ROSAL

PETROLEOS DE VENEZUELA, S.A.
FILIAL INTEVEP

OMAR CARDOZO
OTILIO GONZALEZ

INSTITUTO VENEZOLANO DE LOS
SEGUROS SOCIALES (I.V.S.S.)

MAGDALI AVILA

MINISTERIO DE SANIDAD Y
ASISTENCIA SOCIAL (M.S.A.S.)

ALBRECHT MULLER
MARIA DE LA PAZ ESTEVEZ

CAMARA VENEZOLANA DE LA
INDUSTRIA ELECTRICA (CAVEINEL)

RAFAEL LATORRACA

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS
RECURSOS NATURALES RENOVABLES (M.A.R.N.R.)

CARMELINA DE LOMBARDI
JULIA COSTA
HECTOR MENDOZA

ASOCIACION VENEZOLANA DE PRODUCTORES
DE CEMENTO (A.V.P.C.)

ROBERTO ROSARIO

ELECTRICIDAD DE CARACAS

REINALDO DIAZ
FRANKLIN ABRAHAN

MINISTERIO DE FOMENTO (DIV. DE NORMALIZACION
Y CERTIFICACION DE CALIDAD)

EDGARDO HERNANDEZ

DISCUSION PUBLICA.

FECHA DE ENVIO: 21-08-89

DURACION: 45 DIAS

FECHA DE APROBACION POR EL COMITE: 10-11-89

FECHA DE APROBACION POR LA COVENIN: 06-12-89

NORMA VENEZOLANA
GASES DE COMBUSTION. DETERMINACION DE LAS
CONCENTRACIONES DE DIOXIDO DE CARBONO,
OXIGENO, MONOXIDO DE CARBONO Y
PESO MOLECULAR

COVENIN
1832-89
(1ra. Revisión)

1 NORMAS COVENIN A CONSULTAR

COVENIN	1831-81	Chimeneas y ductos. Determinación del contenido de humedad de los gases.
COVENIN	1833-81	Chimeneas y ductos. Determinación de la velocidad y el flujo volumétrico.
COVENIN	2466-87	Chimeneas y ductos de una fuente fija. Determinación de la concentración de partículas.

2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

2.1 Esta Norma Venezolana establece el método a seguir para determinar concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO) y peso molecular de una corriente gaseosa proveniente de un proceso de combustión.

2.2 Si la corriente gaseosa posee compuestos distintos de (CO_2 , O_2 , CO y N_2) la determinación del peso molecular mediante este método sólo podrá aplicarse cuando las concentraciones de los otros compuestos no afecten los resultados, o se conozcan los valores para incorporarlo en los resultados.

3 PRINCIPIO DEL ENSAYO

Este método se basa en el análisis de una muestra de gas extraída de una chimenea o ducto para determinar su contenido de CO_2 , O_2 y CO , mediante un analizador ORSAT. En el analizador, la muestra gaseosa se hace pasar sucesivamente a través de una serie de soluciones absorbentes. Cada solución retiene un compuesto particular de la mezcla gaseosa, produciéndose progresivamente una reducción del volumen de la muestra de gas. Los volúmenes de los gases medidos se ajustan a la presión atmosférica, mediante un sistema de nivelación. Luego de la absorción selectiva de estos gases, la fracción inerte se considera que está constituida básicamente por N_2 . De esta manera se obtiene la fracción volumétrica de cada componente, lo cual permite el cálculo del peso molecular promedio de la mezcla en base seca. El peso molecular en base húmeda, se calcula considerando el contenido de humedad determinado de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 1831.

4 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

4.1 SISTEMA DE CAPTACION

4.1.1 Para temperaturas inferiores a 130°C (Ver fig. 1)

- a) Sonda de acero inoxidable, vidrio refractario o cualquier material inerte a los gases de combustión y equipada con un filtro para separar partículas.
- b) Bulbo deformable de una vía o equivalente (perilla), construida de materiales inertes para transportar la muestra gaseosa al analizador o a una bolsa colectora.
- c) Conexiones, de material inerte
- d) Bolsa de material inerte (opcional) o recipiente a utilizar cuando se requiera almacenar temporalmente la muestra para análisis posterior.

NOTA 1: Para temperaturas que sean próximas a 130°C el tiempo de muestreo no deberá exceder de 30 minutos.

4.1.2 Para temperaturas superiores a 130°C

Se puede utilizar el sistema de condensación para enfriar los gases, ilustrados en la fig. 2 descrito en la Norma Venezolana COVENIN 1831 o el tren de muestreo descrito en la Norma Venezolana COVENIN 2466, captando la muestra a la salida del medidor de orificio.

4.2 ANALIZADOR ORSAT, ver fig. 3

4.2.1 Una bureta de 100 ml, que incluye un tubo de medición y el frasco motor (depósito de nivelación).

4.2.2 Pipetas de absorción, (generalmente tres) donde se colocan reactivos específicos para la absorción selectiva de dióxido de carbono (CO₂) oxígeno, (O₂) y monóxido de carbono (CO).

NOTA 2: Para determinar otras sustancias contenidas en los gases de combustión puede utilizarse otra configuración del analizador ORSAT con las soluciones absorbentes correspondientes.

5 REACTIVOS

5.1 Solución absorbente de dióxido de carbono (CO₂) preparada a partir de hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH).

5.2 Solución absorbente de oxígeno (O₂) preparada a partir de ácido pirogálico o ácido pirogálico en etanol, en solución de hidróxido de sodio (NaOH) o de hidróxido de potasio (KOH).

5.3 Solución absorbente de monóxido de carbono (CO), preparada a partir de cloruro cuproso (CuCl), cloruro de amonio (NH₄Cl) y amoníaco (NH₃) o cloruro cuproso (CuCl), cobre metálico y ácido clorhídrico (HCl).

5.4 Solución de la bureta de nivelación preparada a partir de sulfato de sodio (Na₂SO₄) o cloruro de sodio (NaCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y anaranjado de metilo.

NOTA 3: Todos los reactivos deben ser grado analítico.

NOTA 4: Para la preparación de los reactivos ver el anexo A.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Se ensambla el sistema de captación seleccionado, tal como se indica en la fig. 1 ó 2.

6.2 Se verifica que todas las conexiones estén en buen estado y libres de fugas.

6.3 Se ensambla el analizador ORSAT de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

6.4 Se capta la muestra según el procedimiento descrito en el Anexo B.

6.5 Se opera el analizador ORSAT de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo C.

7 EXPRESION DE LOS RESULTADOS

7.1 DETERMINACION DEL PORCENTAJE EN VOLUMEN DE LOS GASES DE COMBUSTION

$$\% \text{CO}_2 = \frac{100 (V_1 - V_2)}{V_1}$$

$$\% \text{O}_2 = \frac{100 (V_2 - V_3)}{V_1}$$

$$\% \text{CO} = \frac{100 (V_3 - V_4)}{V_1}$$

$$\% \text{N}_2 = 100 - (\% \text{CO}_2 + \% \text{O}_2 + \% \text{CO})$$

Donde:

- V_1 = Volumen inicial de muestra gaseosa en la bureta, expresado en ml.
 V_2 = Volumen de gas que queda en la bureta después que el CO_2 ha sido absorbido, expresado en ml.
 V_3 = Volumen de gas que queda en la bureta después que el O_2 ha sido absorbido, expresado en ml.
 V_4 = Volumen de gas que queda en la bureta después que el CO ha sido absorbido, expresado en ml.
 $\% CO_2$ = Porcentaje de dióxido de carbono.
 $\% O_2$ = Porcentaje de oxígeno.
 $\% CO$ = Porcentaje de monóxido de carbono.
 $\% N_2$ = Porcentaje de nitrógeno.

7.2 DETERMINACION DEL PESO MOLECULAR EN BASE SECA

$$MD = \frac{44 (\% CO_2) + 32 (\% O_2) + 28 (\% CO + \% N_2)}{100}$$

Donde:

- MD = Peso molecular en base seca, expresado en g/mol.
44 = Peso molecular del CO_2 , expresado en g/mol.
32 = Peso molecular de O_2 , expresado en g/mol.
28 = Peso molecular del CO y del N_2 , expresado en g/mol.

7.3 DETERMINACION DEL PESO MOLECULAR EN BASE HUMEDA

$$MS = MD (1 - Bws) + Bws 18$$

Donde:

- MS = Peso molecular de la mezcla en base húmeda, expresado en g/mol.
 Bws = Contenido relativo de humedad de los gases, adimensional.
18 = Peso molecular del agua, expresado en g/mol.
 MD = Peso molecular en base seca, expresado en g/mol.

8 INFORME

El informe deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- 8.1 Realizado según la Norma Venezolana COVENIN 1832.
- 8.2 Fecha de realización del ensayo.
- 8.3 Personal técnico que realizó dicho ensayo.
- 8.4 Lugar donde se realizó.
- 8.5 Reactivos utilizados.
- 8.6 Resultados obtenidos.
- 8.7 Observaciones.

BIBLIOGRAFIA

- EPA - 1977 "Standards of Performance for New Stationary Sources. Method 6".
Environmental Protection Agency. U.S. 8/18/78.
- Federal Register, Environmental Protection Agency. U.S. 8/18/78.

A N E X O A

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES ABSORBENTES

A.1 Solución absorbente para CO₂

Se prepara una solución entre 30 - 46% de KOH o NaOH disolviendo de 30 a 46 g del hidróxido hasta un volumen de 100 ml de solución.

A.2 Solución absorbente de O₂

A continuación se presentan alternativas para prepara esta solución.

A.2.1 Se prepara disolviendo de 10 a 12 g de ácido pirogálico en una solución de 30-46% de KOH o NaOH hasta un volumen de 100 ml.

A.2.2 Se disuelven 60 g de KOH en 100 ml de agua y 30 g de ácido pirogálico en 120 ml de etanol, se almacenan ambas soluciones en botellas de polietileno; al ejecutar el ensayo se mezclan iguales cantidades de ambas soluciones. Las soluciones de KOH y ácido pirogálico se conservan bajo refrigeración.

NOTA 5: La solución absorbente se oxida rápidamente, por lo tanto debe prepararse al momento de usarla.

A.3 Solución absorbente de CO

Obtenida a partir de cloruro cuproso disuelto en una solución que mantenga una alta concentración de ión hidrógeno tal como ácido o amoníaco con algún cobre sólido para mantener iones cobre en solución. Esto previene la oxidación de la solución antes de que el CO se pase a través de ella.

A continuación se presentan tres opciones para preparar esta solución:

A.3.1 Se disuelven 200 g de cloruro cuproso (CuCl) y 250 g de cloruro de amonio (NH₄Cl) en 750 ml de agua y 300 ml de una solución de amoníaco de densidad 0,91 g/ml.

A.3.2 Se disuelven 33 g de cloruro de amonio (NH₄Cl) y 27 g de cloruro cuproso (CuCl) en 100 ml de agua, se añade agua amoniacal (por encima de 25% P/V) a la solución hasta que el precipitado blanco desaparezca.

A.3.3 Se disuelven 450 g de cloruro cuproso en 2500 ml de solución ácido clorhídrico 1,18 grado especial analítico.

NOTA 6: Si esta solución presenta una coloración negra o verdosa después de la preparación, se deben añadir tiras o virutas de cobre hasta que se obtenga un líquido amarillo en reposo. Esta solución se debe almacenar añadiéndole alambre o virutas de cobre.

A.4 Solución de la bureta de nivelación

Se prepara una solución saturada disolviendo 75 g de sulfato de sodio o cloruro de sodio en agua, 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, 2 gotas de anaranjado de metilo por cada 100 ml de agua destilada.

NOTA 7: El ácido no permite que los gases de la mezcla se disuelvan en la solución de la bureta, el anaranjado de metilo se utiliza para visualizar mejor el nivel de la solución en la bureta.

ANEXO B

PROCEDIMIENTO PARA LA CAPTACION DE MUESTRA

- B.1 Se determina la presión de los gases de combustión.
- B.1.1 Para presiones negativas o ligeramente positivas.
 - B.1.1.1 Si la temperatura es inferior a 130°C , se utiliza el sistema de captación mostrado en la fig. 1.
 - B.1.1.2 Si la temperatura es superior a 130°C , se utiliza el sistema de captación mostrado en la fig. 2.
- B.1.2 Para presiones positivas.
 - B.1.2.1 Si la temperatura es inferior a 130°C , se utiliza el sistema de captación mostrado en la fig. 1, pero sin la perilla de succión.
 - B.1.2.2 Si la temperatura es superior a 130°C , se utiliza el sistema de captación mostrado en la fig. 2, pero sin la bomba de succión.

ANEXO C

PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACION DEL ANALIZADOR ORSAT

El siguiente es una descripción de los pasos requeridos para utilizar un analizador ORSAT. Cada fabricante construye el equipo con ciertas diferencias, por consiguiente deben seguirse las instrucciones específicas en cada caso.

C.1 Llenado de las buretas con las soluciones correspondientes hasta 2/3 partes de su capacidad.

C.2 AFORO DE LAS BURETAS

C.2.1 Se coloca la válvula de tres vías (F) en la posición abierta a la atmósfera.

C.2.2 Se levanta la botella de nivelación (B) hasta que el nivel del líquido en la bureta (A) llegue hasta la lectura superior.

C.2.3 Se gira la válvula (F) a la posición cerrada a la atmósfera.

C.2.4 Se abre la válvula (C) de la pipeta de CO₂ (F) y se baja la botella de nivelación hasta que la solución absorbente llegue a la marca de aforo de la pipeta.

C.2.5 Se cierra la válvula (C).

C.2.6 Se coloca la botella de nivelación en su soporte.

C.2.7 Se repite el mismo procedimiento con las otras buretas de absorción.

C.3 PRUEBA DE FUGAS

C.3.1 Se coloca la válvula de tres vías (F) en la posición abierta a la atmósfera.

C.3.2 Se sube la botella de nivelación hasta que el líquido alcance la lectura superior de la bureta.

C.3.3 Se baja la botella de nivelación hasta que el líquido alcance la lectura inferior de la bureta, esto permite la entrada un volumen de 100 ml de aire al sistema.

C.3.4 Se sube la botella de nivelación y se coloca en su soporte y se anota la lectura de la bureta. Deje en reposo el sistema durante 10 minutos, si observa un desplazamiento de nivel del líquido en la bureta superior al 0,1% es que existen fugas en el sistema, las cuales hay que corregir.

C.4 PURGA DEL SISTEMA

C.4.1 Se conecta la válvula de tres vías a la atmósfera.

C.4.2 Se abre la válvula (F) a la atmósfera y se desaloja el aire contenido en la bureta, subiendo la botella de nivelación hasta que el líquido alcance la marca superior de la bureta.

C.4.3 Se cambia la posición de la válvula (F) dejándola abierta a la muestra.

C.4.4 Se baja la botella de nivelación para succionar la muestra.

C.4.5 Se cambia la posición de la válvula (F) dejándola abierta a la atmósfera.

C.4.6 Se sube la botella de nivelación hasta que el líquido alcance la marca superior de la bureta, para desalojar la muestra hacia la atmósfera.

C.4.7 Se repite el procedimiento por lo menos tres veces desde el punto C.4.3.

C.5 FIJACION DEL VOLUMEN DE MUESTRA A ANALIZAR.

C.5.1 Se cambia la posición de la válvula (F) a la muestra y se baja la botella de nivelación hasta que el nivel del líquido esté por debajo de la lectura inferior de la bureta, lográndose así la succión de muestra.

C.5.2 Se abre la válvula (F) a la atmósfera, se sube la botella de nivelación lentamente y se ajusta el nivel del líquido en la bureta hasta que alcance la lectura inferior, de tal forma que el nivel de líquido en la bureta y en la botella de nivelación estén a la misma altura, igual presión a ambos lados, de esta forma se logra medir 100 ml de muestra. Si durante este proceso se sube demasiado la botella de nivelación, superando la marca inferior de la bureta se debe repetir el procedimiento desde el punto C.4.

C.6 ANALISIS DE LA MUESTRA

C.6.1 Se cierra la válvula (F) hacia la atmósfera y hacia la muestra.

C.6.2 Se abre la válvula C de la bureta para absorber CO_2 .

C.6.3 Se levanta lentamente la botella de nivelación para introducir la muestra dentro de la pipeta.

C.6.4 Se baja y se sube varias veces la botella de nivelación para lograr la absorción de CO_2 de la muestra. Se realiza la lectura del volumen de muestra que ha quedado, para esto se baja la botella de nivelación hasta que el nivel del líquido absorbente de CO_2 alcance su marca de aforo.

C.6.5 Se cierra la válvula C y se colocan el nivel de la botella y de la bureta a la misma altura, de manera que se igualen las presiones a ambos lados, y se toma esta lectura.

C.6.6 Se repiten los puntos del C.6.2 al C.6.5, hasta obtener una lectura estable en la bureta.

C.6.7 Se repiten los puntos anteriores a partir de C.6.1 para la absorción de O_2 y CO .

NOTA 8: Es indispensable que la muestra gaseosa sea pasada a través de las buretas en la secuencia CO_2 , O_2 y CO , de lo contrario el análisis no es válido y que la solución absorbente de O_2 tiene una gran afinidad con el CO_2 y la solución absorbente de CO también absorbe O_2 .

C.6.8 Después del análisis de la muestra se coloca la válvula (F) a la atmósfera y se levanta la botella hasta la marca superior de la bureta para expulsar el resto de la muestra. Se coloca la válvula (F) cerrada hacia la muestra y a la atmósfera y se coloca la botella en su soporte.

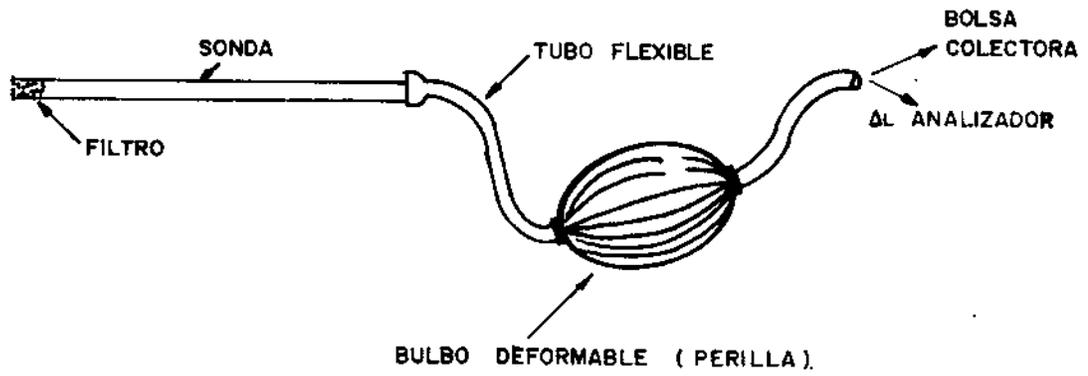


Figura 1. Sistema de captación para bajas temperaturas

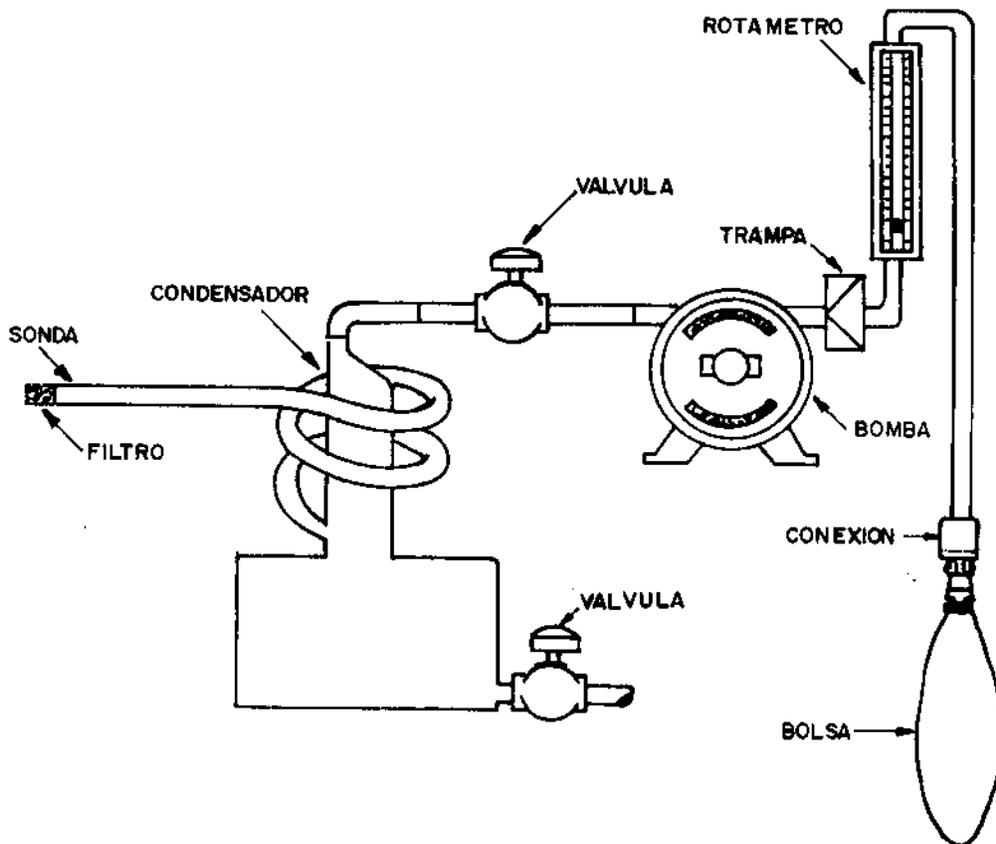


Figura 2. Sistema de captación para temperaturas altas.

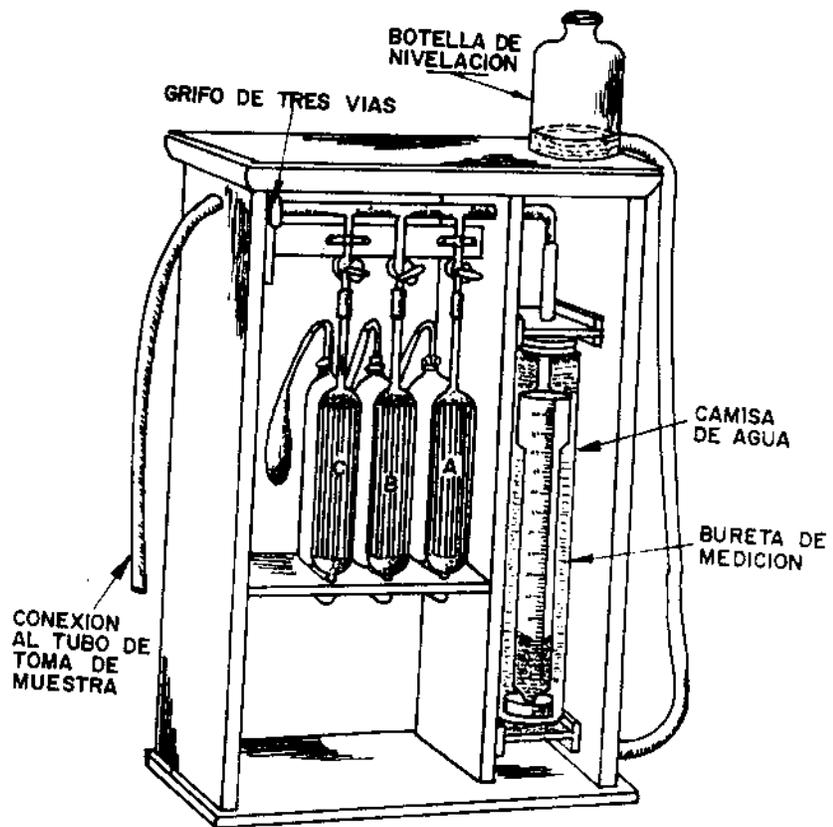


FIG 3. Orsat simple.

**COVENIN
1832-89**

**CATEGORIA
C**

**COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES
MINISTERIO DE FOMENTO**

Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12

Telf. 575. 41. 11 Fax: 574. 13. 12

CARACAS

publicación de:



**CDU : 628.512 :
541.24**

**RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS .
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.**

ISBN 980 - 06 - 0471 - 5

BACHARACH[®]

DIOXOR[®] II

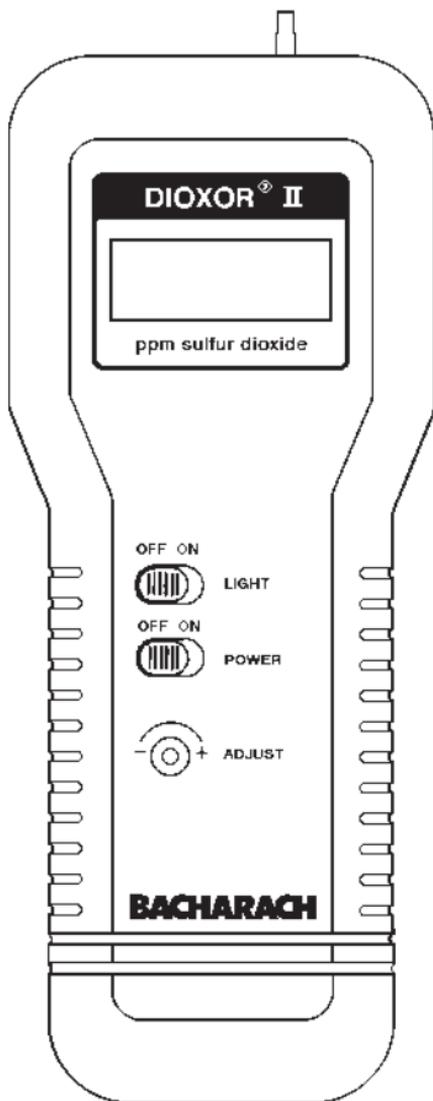
INSTRUCTION 19-9121

Portable SO₂ Analyzer

Part No. 19-7038 & 19-7043



Rev. 6 - April 2007



Bacharach, Inc.

621 Hunt Valley Circle, New Kensington, PA 15068

Ph: 724-334-5000 • Fax: 724-334-5001 • E-mail: help@bacharach-inc.com

Web: www.bacharach-inc.com

WARRANTY

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that at the time of delivery this Product will be free from defects in material and manufacture and will conform substantially to Bacharach Inc.'s applicable specifications. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty are limited to the repair or replacement, at Bacharach's option, of this Product or parts thereof returned to Seller at the factory of manufacture and shown to Bacharach Inc.'s reasonable satisfaction to have been defective; provided that written notice of the defect shall have been given by Buyer to Bacharach Inc. within one (1) year after the date of delivery of this Product by Bacharach, Inc.

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that it will convey good title to this Product. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty of title are limited to the removal of any title defects or, at the election of Bacharach, to the replacement of this Product or parts thereof that are defective in title.

All expendable items, such as electrochemical sensors, are warranted for a period of six months.

THE FOREGOING WARRANTIES ARE EXCLUSIVE AND ARE GIVEN AND ACCEPTED IN LIEU OF (I) ANY AND ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE: AND (II) ANY OBLIGATION, LIABILITY, RIGHT, CLAIM OR REMEDY IN CONTRACT OR TORT, WHETHER OR NOT ARISING FROM BACHARACH'S NEGLIGENCE, ACTUAL OR IMPLIED. The remedies of the Buyer shall be limited to those provided herein to the exclusion of any and all other remedies including, without limitation incidental or consequential damages. No agreement varying or extending the foregoing warranties, remedies or this limitation will be binding upon Bacharach, Inc. unless in writing, signed by a duly authorized officer of Bacharach.

Declaration of Conformity

Manufacturer's Name:	Bacharach, Inc.
Manufacturer's Address:	621 Hunt Valley Circle New Kensington, PA 15068 USA

Product Name:	DIOXOR II
---------------	-----------

Conforms to the following product specifications

EMC:	European Directive 89/336/EEC EN 500081-1 (Emissions) EN 500082-1 (Immunity)
------	--

WARNING!

Because this instrument is used to detect and monitor materials and conditions which are listed by OSHA or others as potentially hazardous to personnel and property, the information in this manual must be fully understood and utilized to ensure that the instrument is operating properly and is both used and maintained in the proper manner by qualified personnel. An instrument that is not properly calibrated, operated and maintained by qualified personnel is likely to provide erroneous information, which could prevent user awareness of a potentially hazardous situation for the instrument user, other personnel and property.

If, after reading the information in this manual, the user has questions regarding the operation, application or maintenance of the instrument, supervisory or training assistance should be obtained before use. Assistance is available by calling your nearest Bacharach Service Center.

1 INTRODUCTION

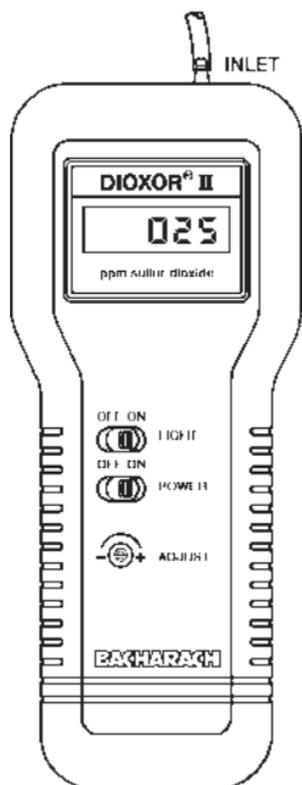


Figure 1. Dioxor II

The Dioxor[®] II is a commercial-grade portable instrument designed to display concentrations of sulfur dioxide (SO₂) gas between 0 and 2000 ppm. This instrument shows the presence of SO₂ in a gas sample by drawing the sample into its sensor chamber by a built-in motorized pump. Part #19-7038 comes with a probe. Part #19-7043 comes without a probe (All non-probe related functions remain the same in this instruction).

Other features and accessories of the Dioxor II include: A large, back-lit Liquid Crystal Display (LCD), which allows the display to be read in any lighting condition from direct sun-light to total darkness; a semi-detachable elastic strap that permits the instrument to be either hand held, or hung on nearby objects; a rigid stainless steel probe with handle, connected to a flexible hose with sample filter that allows gas samples to be taken from cramped and confined areas (alternate probes and condensate traps may be used).

2 TECHNICAL CHARACTERISTICS

SO ₂ Display Range.....	0–1999 ppm SO ₂
Accuracy	±10 ppm or ±5% of reading whichever is greater
Response Time.....	90% of final value within 40 sec.
Battery Requirements.....	1.5 V, “C” cells, Qty. 4
Operating Time*	14–16 hours, alkaline cells
Operating Temp. Range	23 to 104°F (–5 to 40°C)
Relative Humidity	10–85% non-condensing
Weight (w/o batteries).....	12 ozs. (341 grams)
Dimensions.....	8.6 x 3.5 x 2.9 inches (218 x 89 x 74 mm)

* *Times are with the backlight turned off. Continuous use of the backlight will decrease battery life.*

3 PREPARING THE DIOXOR II FOR OPERATION

To prepare the instrument for operation, you must install four “C” size batteries, and (if desired) install the hose and probe as described in the following paragraphs.

For your convenience, and to ensure that the instrument will provide reliable SO₂ indications, the SO₂ sensor is installed and the instrument calibrated on a known SO₂ concentration at the factory.

3.1 Battery Installation

Detach the elastic strap’s metal clip at the bottom of the instrument, and slide off the battery cover as shown in Figure 2. Then while observing proper battery polarity, install four “C” size batteries into the instrument’s battery compartment. (Recommended battery types: Duracell Alkaline or equivalent). After the batteries are installed, replace the battery cover and the elastic-strap clip.

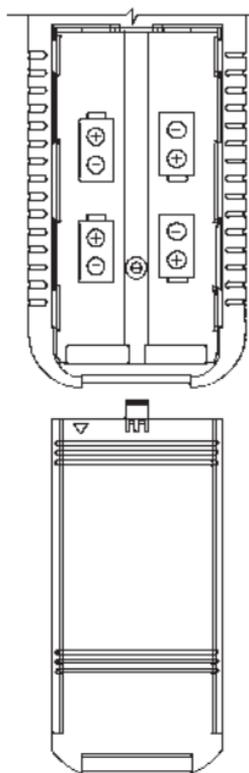


Figure 2. Battery Installation

If batteries are accidentally installed in the wrong polarity, a positive temperature coefficient (PTC) thermistor will protect the instrument's electronic circuitry. The instrument will operate once batteries are properly installed and the PTC thermistor is allowed to cool.

3.2 Probe Installation

Install the probe by sliding the end of its tubing over the gas inlet port on the top right side of the instrument as shown in Figure 3. The tubing may be difficult to slide over the gas inlet port of the unit for the first time. This was done intentionally to allow for a snug fit. Use a little dish washing liquid diluted in water or heat the end of the tube in hot tap water to help it slide onto the port.

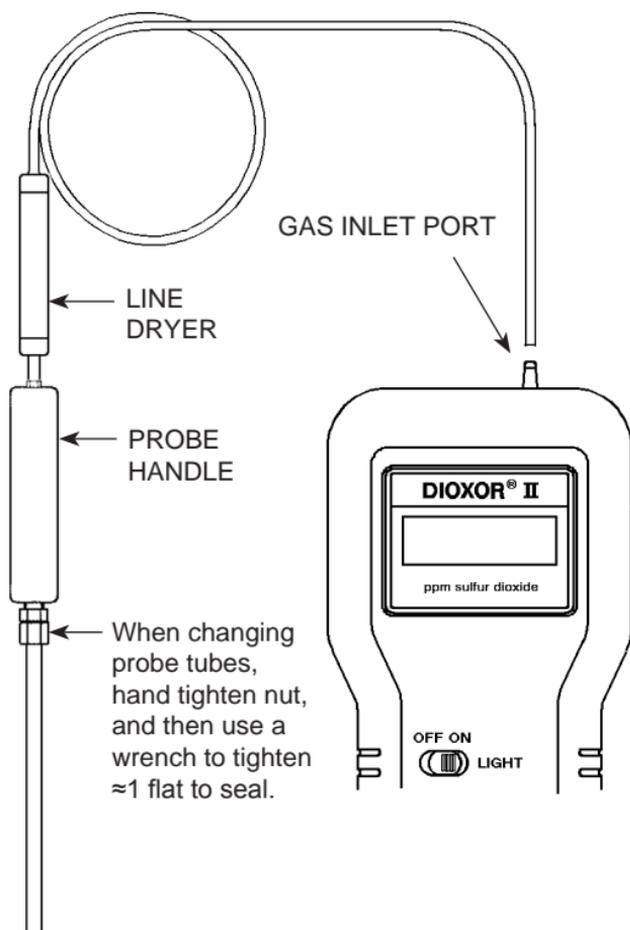


Figure 3. Probe Installation

4 OPERATION

To operate the Dioxor II, you simply . . .

- Set its POWER switch to ON,
- Wait for the instrument to warm up (approx. 1 minute),
- Zero the display (if necessary),
- Take a gas sample.

Detailed operating procedures are presented below:

4.1 Power ON/OFF

Turn on the instrument by sliding its POWER switch to ON. Observe that when power is first applied, all numerical LCD segments are tested for 5-15 seconds; after which, the LCD shows the detected SO₂ level. (A minus sign may appear during power up as the sensor stabilizes.) Turn off the instrument by sliding the POWER switch to OFF.



Important! *When storing the instrument for extended periods of time, remove the batteries and ensure that the POWER switch is OFF. The OFF position places a short across the SO₂ sensor, thus keeping the sensor from being destabilized while not in use.*

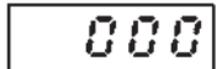
4.2 Zeroing the Instrument

After being turned on and warmed up for at least 1 minute, the instrument should indicate 000 ±5 ppm in fresh air. If the instrument needs to be zeroed, proceed as follows:

1. Ensure that the instrument is sampling air that is free of sulfur dioxide.

NOTE: *An indication that the instrument was not zeroed in fresh air is when a large negative SO₂ display appears when the instrument is moved into another area.*

2. Using a 1/8" flat-blade screwdriver, turn the ADJUST potentiometer until the LCD shows 0 ppm. The display shows negative numbers for zeroing purposes. *An instrument can be considered zeroed with a display bounce of up to ±3 ppm.*



4.3 Backlight ON/OFF

The LCD can be read in low-light areas by setting the front panel LIGHT switch to ON. The backlight stays on until turned off, or until the POWER switch is set to OFF.

4.4 Using the Strap

The instrument's elastic strap allows the unit to be either hand-held, or hung on nearby objects.

By sliding your hand between the instrument and its elastic strap, you can hold onto the Dioxor II with a minimum of effort. The instrument's front panel slide switches can then be actuated by your thumb for one-handed operation. Or, by releasing the metal clip at the bottom of the instrument's case, you can hang the instrument by its strap on nearby objects such as nails, sheet metal, or valve handles.

4.5 Using the Probe

A rigid stainless steel probe with handle is used to draw a gas sample from the room, boilers, and other combustible furnaces through a line dryer and flexible hose into the instrument. A flexible probe option (see Section 6) is also available.

The probe tube is detachable from the handle when sampling with a different probe is desired. See Figure 3.

Important! *The line-dryer will remove moisture from the gas sample. If the line-dryer becomes saturated, however, condensation may be observed within the hose. If this occurs, stop sampling and replace the line-dryer's filter-packing material.*

4.6 Interpreting the Display

Gas Display

The LCD shows SO₂ levels in the range from 0 to 1999 ppm. The display on the right indicates an SO₂ level of 25 ppm.



025

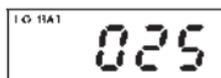
Overrange

When the gas sample exceeds 1999 ppm, a “1” is displayed on the LCD. To clear an overrange condition, leave the instrument turned on and sample fresh air until the LCD returns to displaying SO₂.



Low Battery Indications

When the battery voltage becomes low, the “LO BAT” indicator appears. Although the instrument will continue to operate and give SO₂ readings under these conditions, the batteries should be replaced as soon as possible.



When the battery voltage becomes too low for the instrument to operate, a “-1” is displayed on the LCD. No SO₂ readings are provided under these conditions.



4.7 Long-Term Storage

When storing the Dioxor II for extended periods of time, set its POWER switch to OFF and remove the batteries. The POWER OFF position places a short across the SO₂ sensor, thus keeping it from being destabilized while not in use.

5 MAINTENANCE

The Dioxor II needs to be calibrated at regular intervals to ascertain that it still meets its accuracy specification. A regular calibration schedule should be established between you and your nearest Bacharach Service Center, unless your facility has the necessary calibration equipment and personnel trained in the maintenance of gas-detection equipment. Detailed calibration procedures are provided upon request from the factory. Detailed maintenance procedures and parts lists are provided in the Service Manual (19-9166).

6 PARTS / SERVICE

6.1 Parts List

Item	Part No.
Battery Cover	19-3029
Probe/Hose/Line Dryer Assy.	19-3084
Flexible Probe Tube (optional)	19-3104
Line Dryer Filter Packing	11-0122

6.2 Bacharach Sales / Service Centers

United States

Bacharach, Inc.
621 Hunt Valley Circle
New Kensington, PA 15068
Phone: 724-334-5051
Fax: 724-334-5723
Email: help@bacharach-inc.com

Canada

Bacharach of Canada, Inc.
250 Shields Court Unit #3
Markham, Ontario L3R 9W7
Canada
Phone: 905-470-8985
Fax: 905-470-8963
Email: bachcan@idirect.com

México

Bacharach de México
Playa Regatas No. 473 Tercer Piso
Col. Militar Marte
Delegación Iztacalco, 08830
México D.F. México
Phones: +52-555-634-7740
+52-555-634-7741
Fax: +52-555-634-7738
Email: bacharachservicio@
bacharach.com.mx

7 HAZARDS OF SULFUR DIOXIDE

Properties:

Sulfur dioxide (SO₂) is a colorless, nonflammable gas that has a strong pungent odor, is twice as heavy as air, and is highly corrosive to ordinary metals when mixed with water vapor.

Physiological Effects:

Exposure to sulfur dioxide gas in low concentrations produces an irritating affect on the mucous membranes of the eyes, nose, throat, and lungs due to the formation of sulfurous acid as the gas comes in contact with the moisture on these surfaces.

Acute exposure through inhalation may result in dryness and irritation of the nose and throat, choking, sneezing, coughing, and broncho-spasm. Severe overexposure may cause death through pulmonary edema (abnormal fluid buildup in the lungs), or from respiratory arrest. Prolonged or repeated exposure may cause impaired lung function, bronchitis, hacking cough, nasal irritation and discharge, increased fatigue, alteration in the senses of taste and smell, and longer duration of common colds.

PPM Level Attributes:

- | | |
|-----------------------|--|
| 1 ppm | Injurious to plant foliage. |
| 2 ppm | Eight-hour time-weighted average (TWA) exposure limit set by the U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ^{[1][2]} . |
| 3 ppm | Noticeable odor. |
| 6 to 300 ppm | Immediate irritation of the nose and throat. |
| 300 to 500 ppm | Immediately dangerous to life. |

First Aid:

Move victims to fresh air. If breathing has ceased, begin artificial respiration immediately. Administer oxygen if exposure has been severe and breathing is difficult. Seek medical attention immediately.

References:

[1] *Code of Federal Regulations*, Title 29 CFR Parts 1900-1910 (Labor), Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

[2] *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 1989-90 ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 6500 Glenway Ave., Bldg. D-7, Cincinnati, OH 45211.

**METHOD FOR THE DETERMINATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS
IN AMBIENT AIR USING CRYOGENIC PRECONCENTRATION TECHNIQUES
AND GAS CHROMATOGRAPHY WITH FLAME IONIZATION AND
ELECTRON CAPTURE DETECTION**

1. Scope

- 1.1 This document describes a method for the determination of highly volatile compounds having boiling points in the range of -10 to 200°C.
- 1.2 The methodology detailed in this document is currently employed by numerous laboratories (1-4;8-11). Modifications to this methodology should be accompanied by appropriate documentation of the validity and reliability of these changes.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards

D1356 Definition of Terms Related to Atmospheric Sampling and Analysis
E 355 Recommended Practice for Gas Chromatography Terms and Relationships

2.2 Other Documents

Ambient Air Studies (1-4).
U. S. EPA Technical Assistance Document (5).

3. Summary of Method

- 3.1 Ambient air analyses are performed as follows. A collection trap, as illustrated in Figure 1, is submerged in either liquid oxygen or argon. Liquid argon is highly recommended for use because of the safety hazard associated with liquid oxygen. With the sampling valve in the fill position an air sample is then admitted into the trap by a volume measuring apparatus. In the meantime, the column oven is cooled to a sub-ambient temperature (-50°C). Once sample collection is completed, the valve is switched so that the carrier gas sweeps the contents of the trap onto the head of the cooled GC column. Simultaneously, the liquid cryogen is

removed and the trap is heated to assist the sample transfer process. The GC column is temperature programmed and the component peaks eluting from the columns are identified and quantified using flame ionization and/or electron capture detection. Alternate detectors (e.g., photoionization) can be used as appropriate. An automated system incorporating these various operations as well as the data processing function has been described in the literature (8,9).

- 3.2 Due to the complexity of ambient air samples, high resolution (capillary column) GC techniques are recommended. However, when highly selective detectors (such as the electron capture detector) are employed, packed column technology without cryogenic temperature programming can be effectively utilized in some cases.

4. Significance

- 4.1 Volatile organic compounds are emitted into the atmosphere from a variety of sources including industrial and commercial facilities, hazardous waste storage facilities, etc. Many of these compounds are toxic, hence knowledge of the levels of such materials in the ambient atmosphere is required in order to determine human health impacts.
- 4.2 Because these organic species are present at ppb levels or below, some means of sample preconcentration is necessary in order to acquire sufficient material for identification and quantification. The two primary preconcentration techniques are cryogenic collection and the use of solid adsorbents. The method described herein involves the former technique.

5. Definitions

Definitions used in this document and any user prepared SOPs should be consistent with ASTM D1356(6). All abbreviations and symbols are defined within this document at the point of use.

6. Interferences/Limitations

- 6.1 Compounds having similar GC retention times will interfere in the method. Replacing the flame ionization detector with more selective detection systems will help to minimize these interferences. Chlorinated species, in particular, should be determined using the electron capture detector to avoid interference from volatile hydrocarbons.

6.2 An important limitation of the technique is the condensation of moisture in the collection trap. The possibility of ice plugging the trap and stopping the flow is of concern, and water subsequently transferred to the capillary column may also result in flow stoppage and cause deleterious effects to certain column materials. Use of permaselective Nafion® tubing in-line before the cryogenic trap avoids this problem; however, the material must be used with caution because of possible losses of certain compounds. Another potential problem is contamination from the Nafion® tubing. The user should consult the literature (7-12) for details on the use of permeation-type driers.

7. Apparatus

- 7.1 Gas chromatograph/Flame Ionization/Electron Capture Detection System - must be capable of subambient temperature programming. A recent publication (8) describes an automated GC system in which the cryogenic sampling and analysis features are combined. This system allows simultaneous flame ionization and electron capture detection.
- 7.2 Six-port sampling valve - modified to accept a sample collection trap (Figure 1).
- 7.3 Collection trap - 20 cm x 0.2 cm I.D. stainless steel tubing packed with 60/80 mesh silanized glass beads and sealed with glass wool. For the manual system (Section 9.2) the trap is externally wrapped with 28 gauge (duplex and fiberglass insulated) type "K" thermocouple wire. This wire, beaded at one end, is connected to a powerstat during the heating cycle. A thermocouple is also attached to the trap as shown in Figure 1.
- 7.4 Powerstat - for heating trap.
- 7.5 Temperature readout device - for measuring trap temperature during heating cycle.
- 7.6 Glass dewar flask - for holding cryogen.
- 7.7 Sample volume measuring apparatus - capable of accurately and precisely measuring a total sample volume up to 500 cc at sampling rates between 10 and 200 cc/minute. See Section 9.
- 7.8 Stopwatch.

- 7.9 Dilution container for standards preparation - glass flasks or Teflon (Tedlar) bags, .002 inch film thickness (see Figure 2).
- 7.10 Liquid microliter syringes - 5-50 μ l for injecting liquid standards into dilution container.
- 7.11 Volumetric flasks - various sizes, 1-10 mL.
- 7.12 GC column - Hewlett Packard 50 meter methyl silicone cross-linked fused silica column (.3 mm I.D., thick film) or equivalent.
- 7.13 Mass flow controller - 10-200 mL/minute flow control range.
- 7.14 Permeation drier - PermaPure® - Model MD-125F, or equivalent. Alternate designs described in the literature (7-12) may also be acceptable.

8. Reagents and Materials

- 8.1 Glass beads - 60/80 mesh, silanized.
- 8.2 Glasswool - silanized.
- 8.3 Helium - zero grade compressed gas, 99.9999%.
- 8.4 Hydrogen - zero grade compressed gas, 99.9999%.
- 8.5 Air - zero grade compressed gas.
- 8.6 Liquid argon (or liquid oxygen).
- 8.7 Liquid nitrogen.
- 8.8 SRM 1805 - benzene in nitrogen standard. Available from the National Bureau of Standards. Additional such standards will become available in the future.
- 8.9 Chemical standards - neat compounds of interest, highest purity available.

9. Sampling and Analysis Apparatus

Two systems are described below which allow collection of an accurately known volume of air (100-1000 mL) onto a cryogenically cooled trap. The first system (Section 9.1) is an automated device described in the literature (8,9). The second system (Section 9.2) is a manual device, also described in the literature(2).

- 9.1 The automated sampling and analysis system is shown in Figure 3. This system is composed of an automated GC system (Hewlett Packard Model 5880A, Level 4, or equivalent) and a sample collection system (Nutech Model 320-01, or equivalent). The overall system is described in the literature (8).
- 9.1.1 The electronic console of the sampling unit controls the mechanical operation of the six-port valve and cryogenic trapping components as well as the temperatures in each of the three zones (sample trap, transfer line, and valve).
- 9.1.2 The valve (six-port air activated, Seiscor Model 8 or equivalent) and transfer line are constantly maintained at 120°C. During sample collection the trap temperature is maintained at $-160 \pm 5^\circ\text{C}$ by a flow of liquid nitrogen controlled by a solenoid valve. A cylindrical 250 with heater, held in direct contact with the trap, is used to heat the trap to 120°C in 60 seconds or less during the sample desorption step. The construction of the sample trap is described in Section 7.3.
- 9.1.3 The sample flow is controlled by a pump/mass flow controller assembly, as shown in Figure 3. A sample flow of 10-100 mL/minute is generally employed, depending on the desired sampling period. A total volume of 100-1000 mL is commonly collected.
- 9.1.4 In many situations a permaselective drier (e.g., Nafion®) may be required to remove moisture from the sample. Such a device is installed at the sample inlet. Two configurations for such devices are available. The first configuration is the tube and shell type in which the sample flow tube is surrounded by an outer shell through which a countercurrent flow of clean, dry air is maintained. The dry air stream must be free from contaminants and its flow rate should be 3-4 times greater than the sample flow to achieve effective drying. A second configuration (7) involves placing a drying agent, e.g., magnesium carbonate, on the outside of the sample flow tube. This approach eliminates the need for a source of clean air in the field. However, contamination from the drying agent can be a problem.

9.2 The manual sampling consists of the sample volume measuring apparatus shown in Figure 4 connected to the cryogenic trap/GC assembly shown in Figure 1. The operation of this assembly is described below.

9.2.1 Pump-Down Position

The purpose of the pump-down mode of operation is to evacuate the ballast tank in preparation for collecting a sample as illustrated in Figure 4. (While in this position, helium can also be utilized to backflush the sample line, trap, etc. However, this cleaning procedure is not normally needed during most sampling operations). The pump used for evacuating the system should be capable of attaining 200 torr pressure.

9.2.2 Volume Measuring Position

Once the system has been sufficiently evacuated, the 4-way ball valve is switched to prepare for sample collection. The 3-position valve is used to initiate sample flow while the needle valve controls the rate of flow.

9.2.3 Sample Volume Calculation

The volume of air that has passed through the collection trap corresponds to a known change in pressure within the ballast tank (as measure by the Wallace Tiernan gauge). Knowing the volume, pressure change, and temperature of the system, the ideal gas law can be used to calculate the number of moles of air sampled. On a volume basis, this converts to the following equation:

$$V_s = \frac{)P}{760} \times \frac{298}{T_A + 273}$$

where

V_s = Volume sampled at 760 mm Hg pressure and 25°C.

$)P$ = Change in pressure within the ballast tank, mm of Hg.

V = Volume of ballast tank and gauge.

T_A = Temperature of ballast tank, °C.

The internal volume of the ballast tank and gauge can be determined either by H₂O displacement or by injecting calibrated volumes of air into the system using large volume syringes, etc.

10. Sampling and Analysis Procedure - Manual Device

- 10.1 This procedure assumes the use of the manual sampling system described in Section 9.2.
- 10.2 Prior to sample collection, the entire assembly should be leak-checked. This task is accomplished by sealing the sampling inlet line, pumping the unit down and placing the unit in the flow measuring mode of operation. An initial reading on the absolute pressure gauge is taken and rechecked after 10 minutes. No apparent change should be detected.
- 10.3 Preparation for sample collection is carried out by switching the 6-port valve to the "fill" position and connecting the heated sample line to the sample source. Meanwhile the collection trap is heated to 150°C (or other appropriate temperature). The volume measuring apparatus is pumped-down and switched to the flow measuring mode. The 3-position valve is opened and a known volume of sample is then passed through the heated sample line and trap to purge the system.
- 10.4 After the system purge is completed, the 3-position valve is closed and the corresponding gauge pressure is recorded. The collection trap is then immersed into a dewar of liquid argon (or liquid oxygen) and the 3-position valve is temporarily opened to draw in a known volume of air, i.e. a change in pressure corresponds to a specific volume of air (see Section 9). Liquid nitrogen cannot be used as the cryogen since it will also condense oxygen from the air. Liquid oxygen represents a potential fire hazard and should not be employed unless absolutely necessary.
- 10.5 After sample collection is completed, the 6-port valve is switched to the inject position, the dewar is removed and the trap is heated to 150°C to transfer the sample components to the head of the GC column which is initially maintained at -50°C. Temperature programming is initiated to elute the compounds of interest.
- 10.6 A GC integrator (or data system if available) is activated during the injection cycle to provide component identification and quantification.

11. Sampling and Analysis Procedure - Automated Device

- 11.1 This procedure assumes the use of the automated system shown in Figure 3. The components of this system are discussed in Section 9.1.
- 11.2 Prior to initial sample collection the entire assembly should be leak-checked. This task is completed by sealing the sample inlet line and noting that the flow indication or the mass flow controller drops to zero (less than 1 mL/minute).
- 11.3 The sample trap, valve, and transfer line are heated to 120°C and ambient air is drawn through the apparatus (~60mL/minute) for a period of time 5-10 minutes to flush the system, with the sample valve in the inject position. During this time the GC column is maintained at 150°C to condition the column.
- 11.4 The sample trap is then cooled to $-160 \pm 5^\circ\text{C}$ using a controlled flow of liquid nitrogen. Once the trap temperature has stabilized, sample flow through the trap is initiated by placing the valve in the inject position and the desired volume of air is collected.
- 11.5 During the sample collection period the GC column is stabilized at -50°C to allow for immediate injection of the sample after collection.
- 11.6 At the end of the collection period the valve is immediately placed in the inject position, and the cryogenic trap is rapidly heated to 120°C to desorb the components onto GC column. The GC temperature program and data acquisition are initiated at this time.
- 11.7 At the desired time the cryogenic trap is cooled to -160°C , the valve is returned to the collect position and the next sample collection is initiated (to coincide with the completion of the GC analysis of the previous sample).

12. Calibration Procedure

Prior to sample analysis, and approximately every 4-6 hours thereafter, a calibration standard must be analyzed, using the identical procedure employed for ambient air samples (either Section 10 or 11). This section describes three alternative approaches for preparing suitable standards.

12.1 Teflon® (or Tedlar®) Bags

- 12.1.1 The bag (nominal size; 20L) is filled with zero air and leak checked. This can be easily accomplished by placing a moderate weight (text book) on the inflated bag and leaving overnight. No visible change in bag volume indicates a good seal. The bag should also be equipped with a quick-connect fitting for sample withdrawal and an insertion port for liquid injections (Figure 2).
- 12.1.2 Before preparing a standard mixture, the bag is sequentially filled and evacuated with zero air (5 times). After the 5th filling, a sample blank is obtained using the sampling procedure outlined in Section 10.
- 12.1.3 In order to prepare a standard mixture, the bag is filled with a known volume of zero air. This flow should be measured via a calibrated mass flow controller or equivalent flow measuring device. A measured aliquot of each analyte of interest is injected into the bag through the insertion port using a microliter syringe. For those compounds with vapor pressures lower than benzene or for strongly adsorbed species, the bag should be heated (60° C oven) during the entire calibration period.
- 12.1.4 To withdraw a sample for analysis, the sampling line is directly connected to the bag. Quick connect fittings allow this hook-up to be easily accomplished and also minimizes bag contamination from laboratory air. Sample collection is initiated as described.

12.2 Glass Flasks

- 12.2.1 If a glass flask is employed (Figure 2) the exact volume is determined by weighing the flask before and after filling with deionized water. The flask is dried by heating at 200°C.
- 12.2.2 To prepare a standard, the dried flask is flushed with zero air until cleaned (i.e., a blank run is made). An appropriate aliquot of

each analyte is injected using the same procedures as described for preparing bag standards.

- 12.2.3 To withdraw a standard for analysis, the GC sampling line is directly connected to the flask and a sample obtained. However, because the flask is a rigid container, it will not remain at atmospheric pressure after sampling has commenced. In order to prevent room air leakage into the flask, it is recommended that no more than 10% of the initial volume be exhausted during the calibration period (i.e., 200cc if a 2 liter flask is used).

12.3 Pressurized Gas Cylinders

- 12.3.1 Pressurized gas cylinders containing selected analytes at ppb concentrations in air can be prepared or purchased. A limited number of analytes (e.g., benzene, propane) are available from NBS.
- 12.3.2 Specialty gas suppliers will prepare custom gas mixtures, and will cross reference the analyte concentrations to an NBS standard for an additional charge. In general, the user should purchase such custom mixtures, rather than attempting to prepare them because of the special high pressure filling apparatus required. However, the concentrations should be checked, either by the supplier or the user using NBS reference materials.
- 12.3.3 Generally, aluminum cylinders are suitable since most analytes of potential interest in this method have been shown to be stable for at least several months in such cylinders. Regulators constructed of stainless steel and Teflon® (no silicon or neoprene rubber).
- 12.3.4 Before use the tank regulator should be flushed by alternately pressuring with the tank mixture, closing the tank valve, and venting the regulator contents to the atmosphere several times.
- 12.3.5 For calibration, a continuous flow of the gas mixture should be maintained through a glass or Teflon® manifold from which the calibration

standard is drawn. To generate various calibration concentrations, the pressurized gas mixture can be diluted, as desired, with zero grade air using a dynamic dilution system (e.g., CSI Model 1700).

13. Calibration Strategy

13.1 Vapor phase standards can be prepared with either neat liquids or diluted liquid mixtures depending upon the concentration levels desired. It is recommended that benzene also be included in this preparation scheme so that flame ionization detector response factors, relative to benzene, can be determined for the other compounds. The benzene concentration generated in this fashion should be cross-checked with an NBS (e.g., SRM 1805) for accuracy determinations.

13.2 Under normal conditions, weekly multipoint calibrations should be conducted. Each multipoint calibration should include a blank run and four concentration levels for the target species. The generated concentrations should bracket the expected concentration of ambient air samples.

13.3 A plot of nanograms injected versus area using a linear least squares fit of the calibration data will yield the following equation:

$$Y=A+BX$$

where

Y = quantity of component, nanograms

A = intercept

B = slope (response factor)

If substantial nonlinearity is present in the calibration curve a quadratic fit of the data can be used:

$$Y=A+BX+CX^2$$

where

C = constant

Alternatively, a stepwise multilevel calibration scheme may be used if more convenient for the data system in use.

14. Performance Criteria and Quality Assurance

This section summarizes the quality assurance (QA) measures and provides guidance concerning performance criteria which should be achieved within each laboratory.

14.1 Standard Operating Procedures (SOPs)

14.1.1 Each user should generate SOPs describing the following activities as accomplished in their laboratories:

- 1) assembly, calibration and operation of the sampling system.
- 2) preparation and handling of calibration standards.
- 3) assembly, calibration and operation of the GC/FID system and
- 4) all aspects of data recording and processing.

14.1.2 SOPs should provide specific stepwise instructions and should be readily available to, and understood by, the laboratory personnel conducting the work.

14.2 Method Sensitivity, Precision and Accuracy

14.2.1 System sensitivity (detection limit) for each component is calculated from the data obtained for calibration standards. The detection limit is defined as

$$DL=A+3.3S$$

where

DL = calculated detection limit in nanograms injected.

A = intercept calculated in Section 13.

S = standard deviation of replicate determination of the lowest level standard (at least three determinations are required).

For many compounds detection limits of 1 to 5 nanograms are found using the flame ionization detection. Lower detection limits can be obtained for chlorinated hydrocarbons using the electron capture detector.

- 14.2.2 A precision of $\pm 5\%$ (relative standard deviation) can be readily achieved at concentrations 10 times the detection limit. Typical performance data are included in Table 1.
- 14.2.3 Method accuracy is estimated to be within $\pm 10\%$, based on National Bureau of Standard calibrated mixtures.

REFERENCES

1. Holdren, M., Spicer, C., Sticksel, P., Nepsund, K., Ward, G., and Smith, R., "Implementation and Analysis of Hydrocarbon Grab Samples from Cleveland and Cincinnati 1981 Ozone Monitoring Study", EPA-905/4-82-001. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1982.
2. Westberg, H., Rasmussen, R., and Holdren, M., "Gas Chromatographic Analysis of Ambient Air for Light Hydrocarbons Using a Chemically Bonded Stationary Phase", Anal. Chem. 46, 1852-1854, 1974.
3. Lonneman, W. A., "Ozone and Hydrocarbon Measurements in Recent Oxidant Transport Studies", in Int. Conf. on Photochemical Oxidant Pollutant and Its Control Proceedings, EPA-600/3-77-001a, 1977.
4. Singh, H., "Guidance for the Collection and Use of Ambient Hydrocarbon Species Data in Development of Ozone Control Strategies", EPA-450/4-80-008. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1980.
5. Riggan, R. M., "Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Toxic Organic Compounds in Ambient Air", EPA-600/4-83-027. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1983.
6. Annual Book of ASTM Standards, Part 11.03, "Atmospheric Analysis", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, 1983.
7. Foulger, B. E. and P. G. Sinamouds, "Drier for Field Use in the Determination of Trace Atmospheric Gases", Anal. Chem., 51, 1089-1090, 1979.
8. Pheil, J. D. and W. A. McClenney, "Reduced Temperature Preconcentration Gas Chromatographic Analysis of Ambient Vapor-Phase Organic Compounds: System Automation", Anal. Chem., submitted, 1984.
9. Holdren, M. W., W. A. McClenney, and R. N. Smith "Reduced Temperature Preconcentration and Gas Chromatographic Analysis of Ambient Vapor-Phase Organic Compounds: System Performance", Anal. Chem., submitted, 1984.
10. Holdren, M., S. Rust, R. Smith, and J. Koetz, "Evaluation of Cryogenic Trapping as a Means for Collecting Organic Compounds in Ambient Air", Draft Final Report on Contract No. 68-02-3487, 1984.

11. Cox, R. D. and R. E. Earp, "Determination of Trace Level Organics in Ambient Air by High-Resolution Gas Chromatography with Simultaneous Photoionization and Flame Ionization Detection", Anal. Chem. 54, 2265-2270, 1982.
12. Burns, W. F., O. T. Tingy, R. C. Evans and E. H. Bates, "Problems with a Nafion® Membrane Dryer for Chromatographic Samples", J. Chrom. 269, 1-9, 1983.

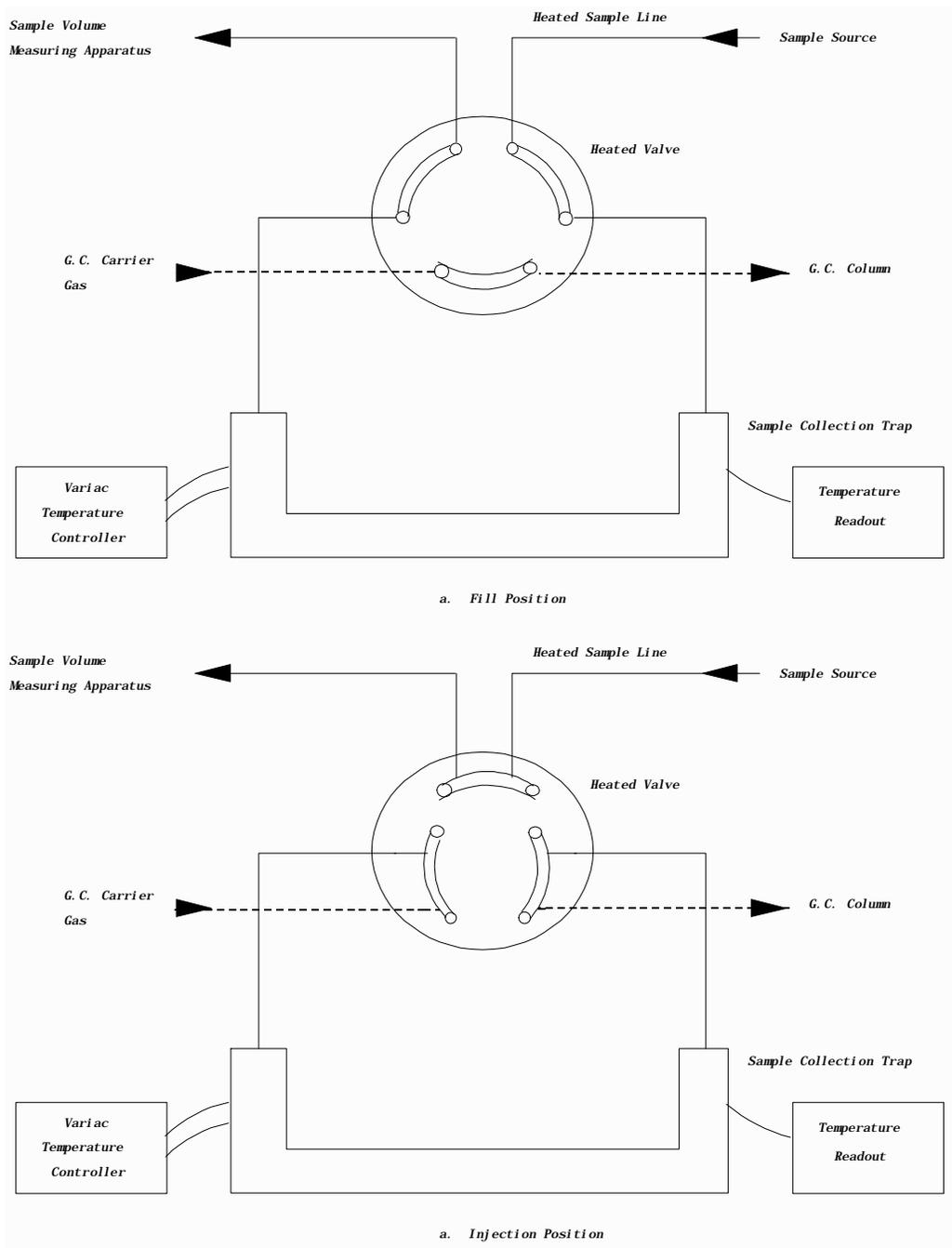


Figure 1. Schematic of Six-Port Valve Used for Sample Collection.

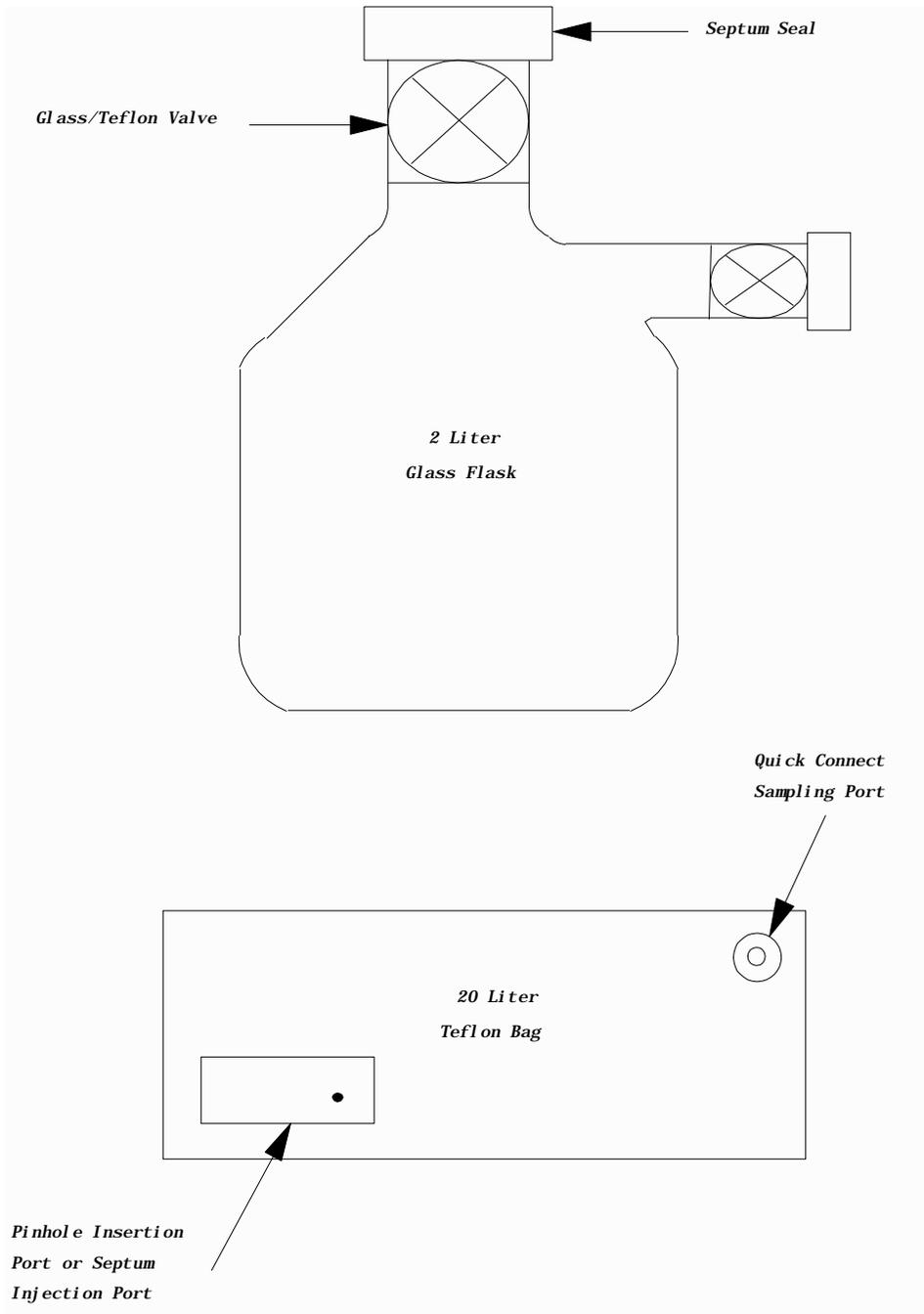


Figure 2. Dilution Containers for Standard Mixtures

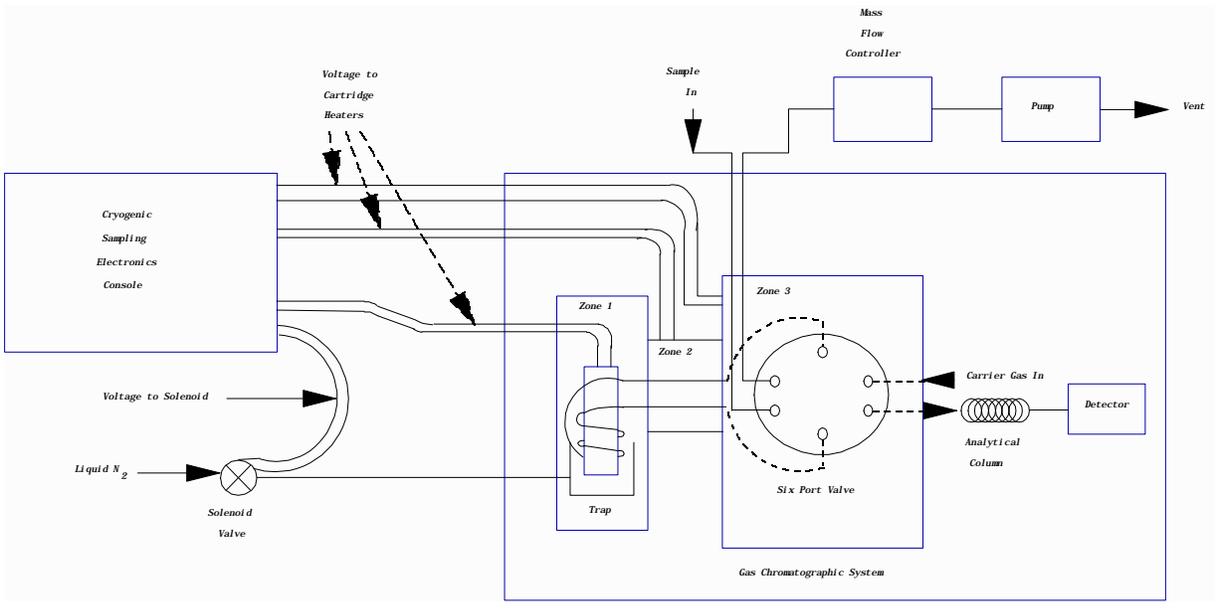


Figure 3. Automated Sampling and Analysis System for Cryogenic Trapping

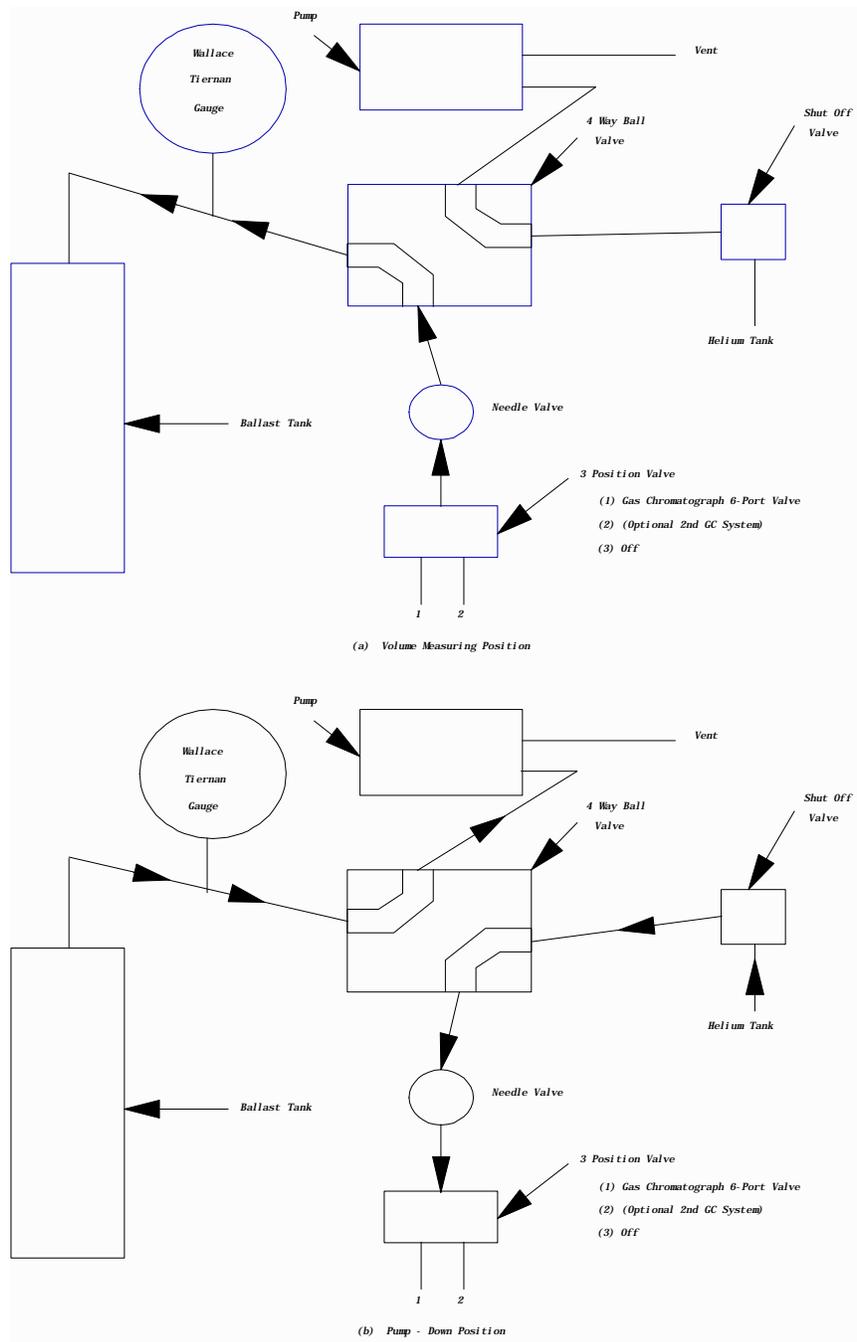


Figure 4. Sample Volume Measuring Apparatus



EPA

BOLETÍN TÉCNICO

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x), ¿POR QUÉ Y CÓMO SE CONTROLAN?

C LEAN
A IR
T ECHNOLOGY
C ENTER



Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?

Preparado por

*Clean Air Technology Center (MD-12),
Information Transfer and Program Integration Division,
Office of Air Quality Planning and Standards,
U.S. Environmental Protection Agency,
Research Triangle Park, North Carolina 2711*

ACLARACIÓN

Este reporte ha sido revisado por la *Information Transfer and Program Integration Division* (División de Transferencia de Información e Integración de Programas) de la *Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS)* (Oficina de Planeación y Normas de Calidad del Aire), de la *Environmental Protection Agency (U.S. - EPA)* (Agencia de Protección Ambiental en EE.UU.), y aprobado para su publicación. La aprobación no significa que el contenido de este reporte refleja los puntos de vista y políticas de la U.S. EPA.. La mención de nombres de marca o productos comerciales es sin propósito de patrocinio o recomendación para su uso. Copias de este reporte están disponibles a través del *National Technical Information Service* (Servicio Nacional de Información Técnica) del *U.S. Department of Commerce* (Departamento del Comercio en EE.UU.), 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161, número de teléfono (800) 553-6847.

PROLOGO

El *Clean Air Technology Center - CATC* (Centro de Tecnología de Aire Limpio), sirve como un recurso en todas las áreas de las tecnologías emergentes y existentes de prevención y control de la contaminación, y proporciona acceso público a los datos e información sobre su uso, efectividad y costo. Además, el *CATC* proporcionará soporte técnico, incluyendo acceso a la base de conocimientos de la *EPA*, a agencias gubernamentales y otros, según sea la disponibilidad de recursos, en relación la operación, mantenimiento ya la viabilidad técnica y económica, operación de estas tecnologías.

Acceso Público y Transferencia de Información

INTERNET / World Wide Web Home Page (Página Principal en la Red Mundial)
<http://www.epa.gov/ttn/catc>

Comunicaciones

Línea Información: *CATC*: (919) 541-0800 (Inglés)
Línea Información: *CATC/CICA* (en EE. UU.):(919) 541-1800 (Español)
FAX: (919) 541-0242
Correo electrónico: catcmail@epamail.epa.gov

Recursos de Datos

- ***RACT/BACT/LAER (RBLC)***
Interrogue, vea y baje a un disco datos que usted seleccione sobre
- Aplicaciones Tecnología Específicas para la Fuente
- Requisitos Reguladores de Contaminación del Aire
- **PRODUCTOS DEL *CATC***
- Baje a un disco reportes técnicos, información de costos y elementos de programación

Programas y Centros Relacionados

- *U. S. -Mexico Border Information Center on Air Pollution (CICA)* - Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU y México.
- *SBAP - Small Business Assistance Program*, Programa de Asistencia a Negocios Pequeños
- *International Technology Transfer Center for Global Greenhouse Gases*, Centro Internacional de Transferencia de Tecnología para los Gases de Invernadero Globales

RECONOCIMIENTOS

Este boletín técnico fue posible a través de los esfuerzos diligentes y persistentes de Lyndon Cox, Empleado Ambiental con Antigüedad con el Centro de Tecnología de Aire Limpio (CATC). Lyndon realizó un trabajo excepcional identificando las fuentes de información, recolectando los datos relativos y componiendo este boletín. El CATC también aprecia los comentarios útiles y oportunos y la cooperación de los siguientes colegas reseñantes:

Jim Eddinger, *Combustion Group* (Grupo de Combustión), *Emission Standards Division* (División de Normas de Emisión), *Air Quality Strategies and Standards Division* (Oficina de Estrategias y Normas de Calidad del Aire), *Office of Air and Radiation* (Oficina de Aire y Radiación), *U.S. EPA* (Agencia de Protección Ambiental en EE.UU.).

Doug Grano, *Ozone Policy and Strategies Group* (Grupo de Política y Estrategias del Ozono), *Air Quality Strategies and Standards Division* (Oficina de Estrategias y Normas de Calidad del Aire), *Office of Air and Radiation*, (Oficina de Aire y Radiación), *U.S. EPA* (Agencia de Protección Ambiental en EE.UU.).

William Vatauvuk, *Innovative Strategies and Economics Group* (Grupo de Estrategias y Economías Innovativas), *Air Quality Strategies and Standards Division* (Oficina de Estrategias y Normas de Calidad del Aire), *Office of Air and Radiation*, (Oficina de Aire y Radiación), *U.S. EPA* (Agencia de Protección Ambiental en EE.UU.).

Ravi Strivastava, *Air Pollution Technology Branch* (Sección de Tecnología de Contaminación del Aire), *Air Pollution Prevention and Control Division* (División de Prevención y Control de la Contaminación del Aire), *National Risk Management Research Laboratory* (Laboratorio Nacional de Investigaciones sobre la Gestión de Riesgos), *Office of Research and Development* (Oficina de Investigación y Desarrollo), *U.S. EPA* (Agencia de Protección Ambiental en EE.UU.).

Además, el CATC agradece a los individuos, compañías e instituciones que suministraron la información sobre la tecnología de reducción de los óxidos de nitrógeno utilizada en la preparación de este boletín. Los contribuyentes se incluyen an en la sección de REFERENCIAS de este boletín.

TABLA DE CONTENIDO

TEMA	Página
¿POR QUÉ DEBEMOS CONTROLAR LOS NO _x ?	1
¿QUÉ ES UN ÓXIDO DE NITRÓGENO?	2
¿DE DONDE PROVIENEN LOS NO _x ?	4
¿CÓMO AFECTAN LOS NO _x EL MEDIO AMBIENTE?	5
¿EXISTEN OTROS ASUNTOS RELACIONADOS CON LOS NO _x ?	7
¿CUALES PRINCIPIOS DE REDUCCIÓN Y CONTROL SON APLICABLES?.....	9
¿CUALES TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN SON DISPONIBLES?	13
COMBUSTIÓN EXTERNA	13
COMBUSTIÓN EXTERNA: MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	13
MENOS EXCESO DE AIRE (MEA)	13
QUEMADORES FUERA DE SERVICIO (QFS)	13
AIRE DE SOBREFUEGO (ASF)	18
QUEMADORES DE BAJO NO _x (QBN)	18
RECIRCULACIÓN DEL GAS DE CHIMENEA (RGC).....	18
INYECCIÓN DE AGUA O VAPOR	18
REDUCCIÓN DE PRECALENTAMIENTO DEL AIRE (RPA).....	18
RE-QUEMADO DE COMBUSTIBLE (RC).....	18
OPTIMIZACIÓN DE LA COMBUSTIÓN	19
ESCALONIFICACIÓN DEL AIRE	19
ESCALONIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE	19
ÓXIGENO EN VEZ DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN	20
INYECCIÓN DE OXIDANTE	20
COMBUSTIÓN CATALÍTICA	20
COMBUSTIBLES ULTRA BAJOS EN NITRÓGENO.....	20
PLASMA NO TÉRMICO	21
COMBUSTIÓN EXTERNA:	
TECNOLOGÍA AÑADIDA DE CONTROL	21
REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (RCS)	21
REDUCCIÓN NO CATALÍTICA SELECTIVA. (RNCS).....	21
SORCIÓN - AMBAS ADSORCIÓN COMO ABSORCIÓN	21
PLANTEAMIENTOS DE TECNOLOGÍA COMBINADA	22

TABLA DE CONTENIDO

TEMA	Página
COMBUSTIÓN INTERNA	22
COMBUSTIÓN INTERNA: MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	23
QUEMADORES DE BAJO NO _x (QBN)	23
INYECCIÓN DE VAPOR O AGUA	23
COMBUSTIÓN CATALÍTICA	23
RELACIÓN DE AIRE-COMBUSTIBLE Y TIPO DE ENCENDIDO	24
CARGA PRE-ESTRATIFICADA (CPE)	24
QUEMA POBRE	24
COMBUSTIÓN INTERNA: TECNOLOGÍA AÑADIDA DE CONTROL	25
REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (RCS)	25
REDUCCIÓN CATALÍTICA NO SELECTIVA (RCNS)	25
REACTORES DE PLASMA NO TÉRMICOS	25
¿AFECTA EL TIPO DE COMBUSTIBLE Y DE COMBUSTIÓN LA MITIGACIÓN?...25	
COMBUSTIBLES SÓLIDOS	26
COMBUSTIBLES LÍQUIDOS	27
COMBUSTIBLES SEMI-SÓLIDOS	27
COMBUSTIBLE GASEOSO	27
SISTEMAS DE COMBUSTIÓN	27
CALDERAS DE FONDO SECO - ENCENDIDAS EN LA PARED, POR EL FRENTE O EL LADO OPUESTO	28
CALDERAS DE FONDO SECO - ENCENDIDAS TANGENCIALMENTE	29
CALDERAS DE FONDO HÚMEDO CON LLAVE DE ESCORIA	30
LECHO FLUIDIZADO	31
FOGONEROS CON PARRILLAS CORREDIZAS	32
FOGONEROS CON PARRILLAS SEPARADORAS.....	32
TURBINAS DE GAS	33
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	35
¿CUANTO CUESTA LA REDUCCIÓN Y CONTROL DE NO _x ?	36
¿SON SUFICIENTES ESTOS MÉTODOS?	39
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	47

FIGURAS

1. Mapa de los NO _x	6
2. Mapa del Ozono	7

TABLAS

1. Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	2
2. Métodos de Control de NO _x	10
3. Tecnologías Para Limitar los NO _x de Combustión Externa	14
4. Tecnologías Para Limitar los NO _x de Combustión Interna	23
5. Sistemas Comunes de Combustión	28
6. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Calderas de Fondo Seco Encendidas en la Pared, el Frente o el Lado Opuesto	29
7. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Calderas de Fondo Seco Encendidas Tangencialmente	30
8. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Calderas de Fondo Húmedo Llave de Escoria	31
9. Tecnologías de NO _x Utilizadas en las Unidades de Combustión con Lecho Fluidizado	32
10. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Fogoneros con Parrillas Corredizasas	33
11. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Fogoneros con Parrillas Separadoras	34
12. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Turbinas de Gas	35
13. Tecnologías de NO _x Utilizadas en Motores Estacionarios de Combustión Interna	36
14. Costos de los Controles de NO _x en 1993	37
15. Costos de los Controles de NO _x en 1997	38
16. Costos Unitarios para las Tecnologías de Control de NO _x para Fuentes Estacionarias que No Son Termoeléctricas	40

Esta página se deja en blanco intencionalmente

Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?

*"Cuando tratamos de observar sólo una cosa en la Naturaleza,
nos damos cuenta que está conectada a todo lo demás."*

John Muir

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son una familia muy interesante e importante de compuestos químicos que contaminan el aire. Este boletín explica por qué los NO_x son importantes contaminantes del aire y cómo los NO_x se forman y reaccionan en la atmósfera. Este boletín también discute los principios en que están basadas todas las tecnologías de control y prevención de la contaminación por NO_x; las tecnologías de control de NO_x disponibles para varias fuentes de combustión; y el rendimiento y costo de las tecnologías de control de NO_x.

¿POR QUÉ DEBEMOS CONTROLAR LOS NO_x?

Los NO_x representan a una familia de siete compuestos. En realidad, la EPA regula sólo el dióxido de nitrógeno (NO₂) como un suplente para esta familia de compuestos porque es la forma más predominante de NO_x en la atmósfera que es generada por actividades antropogénicas (humanas). El NO₂ no es sólo un contaminante importante del aire por sí sólo, sino que también reacciona en la atmósfera para formar ozono (O₃) y lluvia ácida. Es importante notar que el ozono que deseamos minimizar es el ozono troposférico; esto es, el ozono en el aire ambiental que respiramos. No estamos hablando acerca del ozono en la atmósfera superior que no podemos respirar. El ozono estratosférico nos protege y protege a la tropósfera de la radiación ionizadora proveniente del sol.

La EPA ha establecido las *National Ambient Air Quality Standards - NAAQS* (Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental), para el NO₂ y el ozono troposférico. Las *NAAQS* definen los niveles de calidad del aire que son necesarios, con un margen razonable de seguridad, para proteger la salud pública (norma primaria) y el bienestar público (norma secundaria) de cualquier efecto adverso conocido o anticipado de la contaminación. La norma primaria y secundaria para el NO₂ es de 0.053 partes por millón (ppm) (100 microgramos por metro cúbico) de concentración anual aritmética promedio.

El ozono troposférico ha sido y sigue siendo un problema significativo de contaminación del aire en los Estados Unidos y es el principal constituyente del *smog* (la niebla visible que es el resultado de polución aérea contiene oxidantes fotoquímicos). Grandes porciones del país no cumplen con las normas *NAAQS* para el ozono y por lo tanto exponen a grandes segmentos de la población a niveles poco saludables de ozono en el aire. El NO₂ reacciona en la presencia del aire y la luz ultravioleta (UV) bajo la luz del sol para formar ozono y óxido nítrico (NO). A su vez, el NO reacciona con radicales libres en la atmósfera, que también son creados por la acción de la luz UV sobre compuestos orgánicos volátiles (COV). A su vez, los radicales libres reciclan NO a NO₂. De esta manera, cada molécula de NO puede producir ozono un múltiplo de veces.⁴⁰ Esto continuará hasta que los COV sean reducidos a compuestos de cadenas cortas de carbón que

dejan de ser fotoreactivos (una reacción causada por la luz). Una molécula de COV puede por lo general realizar esto unas 5 veces.

Además del interés por las NAAQS para el NO₂ y el ozono, los NO_x y los óxidos de azufre (SO_x) en la atmósfera son capturados por la humedad para formar lluvia ácida. La lluvia ácida, junto con la deposición seca y de nubes, afecta severamente ciertos ecosistemas y afecta directamente a algunos sectores de nuestra economía. Todos estos factores indican una necesidad obvia de reducir las emisiones de NO_x. Sin embargo, para realizarlo con éxito, debemos entender la generación y el control de la “familia NO_x” de contaminantes del aire.

¿QUÉ ES UN ÓXIDO DE NITRÓGENO?

El nitrógeno molecular diatómico (N₂) es un gas relativamente inerte que compone alrededor del 80% del aire que respiramos. Sin embargo, el elemento químico nitrógeno (N), en forma monoatómica, puede ser reactivo y poseer niveles de ionización (llamados estados de valencia) desde más uno a más cinco. Por esto el nitrógeno puede formar varios óxidos diferentes. Usando el modelo Niels Bohr del átomo, el estado de valencia se relaciona al número de electrones que están deficientes (valencia positiva) o en exceso (valencia negativa) en el ion en comparación con la molécula neutral. La familia de compuestos NO_x y sus propiedades se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Fórmula	Nombre	Valencia del Nitrógeno	Propiedades
N ₂ O	óxido nitroso	1	gas incoloro soluble en agua
NO N ₂ O ₂	óxido nítrico bióxido de dinitrógeno	2	gas incoloro ligeramente soluble en agua
N ₂ O ₃	trióxido de dinitrógeno	3	sólido negro, soluble en agua, se descompone en agua
NO ₂ N ₂ O ₄	bióxido de nitrógeno tetraóxido de dinitrógeno	4	gas café rojizo, muy soluble en agua, se descompone en agua
N ₂ O ₅	pentóxido de dinitrógeno	5	sólido blanco, muy soluble en agua, se descompone en agua

Los iones oxígeno se encuentran siempre con una valencia de menos 2. Dependiendo del número de iones de oxígeno (siempre balanceados por el estado de valencia del nitrógeno), los NO_x pueden reaccionar ya sea para agotar o para incrementar las concentraciones de ozono. El ion nitrógeno en estos óxidos en realidad efectúa una danza en la que tiene (en ocasiones diversas) varios números de iones de oxígeno como compañeros. El nitrógeno cambia su

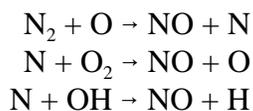
número de compañeros cuando cambia su nivel de energía de ionización, Esto sucede siempre que el NO_x : (1) es golpeado con un fotón de radiación ionizadora (UV o luz de longitud de onda corta); (2) es golpeado con suficientes fotones como para transferir juntos la energía suficiente para cambiar su nivel de ionización; (3) es catalizado; (4) es estimulado suficientemente por energía termal infraroja (IR); (5) reacciona con un radical químicamente oxidante o reductor (un fragmento ionicado de una molécula); o (6) reacciona con un ion químicamente oxidante o reductor (un átomo con una carga eléctrica desbalanceada).

Cuando cualquiera de estos óxidos se disuelve en agua y se descompone, forma ácido nítrico (HNO_3) o ácido nitroso (HNO_2). El ácido nítrico forma sales de nitrato cuando es neutralizado. El ácido nitroso forma sales de nitrito. De esta manera, los NO_x y sus derivados existen y reaccionan ya sea como gases en el aire, como ácidos en gotitas de agua, o como sales. Estos gases, gases ácidos y sales contribuyen en conjunto a los efectos de contaminación que han sido observados y atribuidos a la lluvia ácida.

El óxido nitroso (N_2O), el NO , y el NO_2 son los óxidos de nitrógeno más abundantes en el aire. El N_2O (también conocido como gas hilarante) es producido abundantemente por fuentes biogénicas tales como las plantas y levaduras. Es sólo levemente reactivo, y es un analgésico (o sea, a diferencia de un anestésico aún siente usted dolor, pero se siente tan bien que no le molesta). El N_2O es una sustancia agotadora de nitrógeno que reacciona con el O_3 tanto en la tropósfera (o sea, por debajo de los 10,000 pies sobre el nivel del mar) como en la estratósfera (50,000 - 150,000 pies). El N_2O tiene un largo período de vida, estimado entre 100 y 150 años.

La oxidación del N_2O por el O_3 puede ocurrir a cualquier temperatura y genera a la vez oxígeno molecular (O_2) y NO o dos moléculas de NO unidas como su dímero, el bióxido de dinitrógeno (N_2O_2). Después el NO o N_2O_2 se oxida rápidamente (en alrededor de dos horas) a NO_2 . El NO_2 a su vez crea una molécula de ozono a partir de una molécula de oxígeno (O_2) cuando es golpeado por un fotón de energía ionizadora proveniente de la luz solar. El N_2O es también un "Gas de Invernadero" que, como el bióxido de carbono (CO_2), absorbe la radiación infraroja de longitud de onda larga para retener el calor que irradia la Tierra, y de esa manera contribuye al calentamiento global.

Las emisiones de NO_x provenientes de la combustión son principalmente en la forma de NO . De acuerdo a las ecuaciones Zeldovich, el NO es generado hasta el límite del oxígeno disponible (alrededor de 200,000 ppm) en el aire a temperaturas por encima de 1300°C (2370°F). A temperaturas menores de 760°C ($1,400^\circ\text{F}$), el NO es generado a concentraciones mucho más bajas o no se genera en absoluto. El NO de combustión es generado en función de la relación aire a combustible y es más pronunciado cuando la mezcla está del lado magro en combustible de la relación estequiométrica ⁵⁰ (la relación de las sustancias químicas que entran en reacción). Las ecuaciones Zeldovich son:



A excepción del NO proveniente del suelo, los relámpagos, y los incendios naturales, el NO es antropogénico (o sea, generado por la actividad humana) en su mayor parte. Se cree que las fuentes biogénicas son responsables de menos del 10% de las emisiones totales de NO. El NO produce la misma interrupción en la absorción del oxígeno por la sangre que el monóxido de carbono (CO). Sin embargo, puesto que el NO es sólo ligeramente soluble en agua, no presenta amenaza real alguna excepto a infantes e individuos muy sensibles.

El NO₂ se encuentra presente en la atmósfera y en la lluvia ácida. Produce ácido nítrico (HNO₃) al disolverse en agua. Cuando el NO₂ reacciona con un fotón para hacer que el O₂ se vuelva O₃, el NO₂ se transforma en NO. Este NO es a su vez oxidado en cuestión de horas a NO₂ por medio de radicales provenientes de la fotoreacción de COV. Por lo tanto, nuestra concentración actual de ozono es el producto de la contaminación tanto de NO_x como de COV.

El trióxido de dinitrógeno (N₂O₃) y el tetróxido de dinitrógeno (N₂O₄) existen en concentraciones muy bajas en el gas de chimenea. Sin embargo, existen en concentraciones tan bajas en la atmósfera que tanto su presencia como su efecto son ignorados con frecuencia. El N₂O₄ es un par de moléculas de NO₂ unidas (otro dímero) y reacciona como el NO₂; así, la presencia de N₂O₄ puede ser enmascarada por el más abundante NO₂.

El pentóxido de dinitrógeno (N₂O₅) es la forma más altamente ionizada de óxido de nitrógeno. Es generado en el aire en una concentración muy baja, a menos que sea emitido por algún proceso (tal como una instalación productora de ácido nítrico) que esté diseñada específicamente para generarlo. El N₂O₅ es altamente reactivo, y forma ácido nítrico (HNO₃) cuando se descompone en el agua.

Algunos expertos creen que el NO₂ es un buen suplente para los NO_x porque el NO se convierte rápidamente en NO₂, y el N₂O tiene un período de vida tan largo porque no es tan altamente reactivo. Otros creen que debido a su participación en la formación del ozono, tanto el NO como el NO₂ deben ser considerados NO_x. Aún otros creen que todos los óxidos de nitrógeno (incluyendo el N₂O) necesitan ser reglamentados. El NO y el NO₂ son ciertamente las formas más abundantes de NO_x y provienen en su mayor parte (pero no exclusivamente) de fuentes antropogénicas. El N₂O es biogénico en su mayor parte, y como tal no está sujeto a regulación. Para propósitos ambientales, el uso de la concentración de NO₂ como un suplente de la concentración de NO_x ha parecido ser suficiente, debido a que es el precursor para el ozono.

¿DE DONDE PROVIENEN LOS NO_x?

Los automóviles y otras fuentes móviles contribuyen alrededor de la mitad de los NO_x que son emitidos. Las calderas de las plantas termoeléctricas producen alrededor del 40% de las emisiones de NO_x provenientes de fuentes estacionarias.³⁴ Además, también se añaden emisiones sustanciales provenientes de fuentes antropogénicas tales como las calderas industriales, incineradores, turbinas de gas, motores estacionarios de diesel y de encendido por chispa, fábricas de hierro y acero, manufactura de cemento, manufactura de vidrio, refinerías de petróleo, y manufactura de ácido nítrico. Las fuentes naturales o biogénicas de óxidos de nitrógeno

incluyen los relámpagos, incendios forestales, incendios de pastos, árboles, arbustos, pastos, y levaduras.¹ Estas fuentes diversas producen diferentes cantidades de cada óxido. Las fuentes antropogénicas se pueden mostrar aproximadamente como:

Fuentes Móviles	Plantas Termoelectricas	Todas las Demás
50%	20%	30%

Esto muestra una representación gráfica de las emisiones de nuestras dos mayores fuentes de NO_x. Si pudiéramos reducir las emisiones de NO_x provenientes de sólo estas dos categorías principales, podríamos vivir con el resto. Sin embargo, no espere usted que cualquiera de estas categorías se vuelvan cero en un futuro cercano. No podemos esperar que el automóvil, camión, autobús, y avión desaparezcan. El automóvil con cero emisiones todavía está sobre la mesa de diseño y no en la línea de producción. Además, los hábitos sociales tendrán que cambiar antes de que el consumo de electricidad pueda ser reducido.

En toda combustión hay tres oportunidades para la formación de NO_x. Estos NO_x son:

1. NO_x Termales - La concentración de "NO_x termales" es controlada por las concentraciones molares de nitrógeno y oxígeno y la temperatura de combustión. La combustión a temperaturas bien por debajo de 1,300°C (2,370°F) forma concentraciones mucho más bajas de NO_x termales.

2. NO_x Combustibles- Los combustibles que contienen nitrógeno (como el carbón) crean "NO_x combustibles" que resultan de la oxidación del nitrógeno ya ionizado contenido en el combustible.

3. NO_x Inmediatos - Los NO_x inmediatos son formados a partir del nitrógeno molecular en el aire combinándose con combustible en condiciones ricas en combustible que existen, hasta cierto punto, en toda combustión. Este nitrógeno a su vez se oxida junto con el combustible y se convierte en NO_x durante la combustión, de la misma manera que los NO_x combustibles. La abundancia de NO_x inmediatos es disputada por los diversos escritores de artículos y reportes - probablemente porque cada uno de ellos está considerando combustibles que contienen intrínsecamente cantidades muy grandes o muy pequeñas de nitrógeno, o considerando quemadores intencionados para tener o no tener regiones ricas en combustible en la llama.

¿CÓMO AFECTAN LOS NO_x EL MEDIO AMBIENTE?

Debido a que los NO_x son transparentes a la mayoría de las longitudes de onda de la luz (aunque el NO₂ tiene un color café y el escaso N₂O₃ es negro), permiten que la vasta mayoría de los fotones atraviesen y, por tanto, tienen un período de vida de por lo menos varios días. Debido a que el NO₂ es reciclado a partir del NO por medio de la fotoreacción de COV para producir más ozono, el NO₂ parece poseer un período de vida aún más largo y es capaz de viajar distancias considerables antes de crear ozono. Los sistemas meteorológicos generalmente viajan sobre la

superficie de la tierra y permiten que los efectos atmosféricos se muevan viento abajo por varios cientos de millas. Esto fue asentado en reportes de la *EPA* hace más de veinte años. Estos reportes encontraron que cada ciudad principal en la costa occidental de los Estados Unidos cuenta con una pluma de ozono que se extiende más de cien millas mar adentro antes de que las concentraciones disminuyan a 100 partes por mil millón (*ppb*). Otro reporte cita el mismo fenómeno para la ciudad de St. Louis. Por lo tanto, este problema no existía únicamente en la costa occidental. Puesto que el ozono en el aire limpio tiene un período de vida de sólo unas pocas horas, este fenómeno es una medida del efecto y la persistencia de tanto los COV como los NO_x.

Las diferencias en las predicciones de las distancias entre la emisión de NO_x y la generación de ozono pueden relacionarse con las diferencias en las velocidades (del viento) de transporte de la pluma tanto como otros factores meteorológicos y de calidad del aire. Es importante notar que, bajo las condiciones adecuadas, las plumas de las termoeléctricas pueden recorrer distancias relativamente largas durante la noche con poca pérdida de COV, NO y NO₂. Estos contaminantes pueden de este modo estar disponibles y participar en reacciones fotoquímicas en ubicaciones distantes al día siguiente.⁴¹ La figura 1 muestra un mapa de la concentración de NO_x dibujado por el *Center for Air Pollution Impact and Trend Analysis - CAPITA* (Centro de Impacto y Análisis de Tendencias de la Contaminación del Aire), en la Universidad de Washington en St. Louis y reportado al *Ozone Transport Assessment Group - OTAG* (Grupo de Evaluación del Transporte de Ozono), un grupo nacional de trabajo que trató el problema del ozono al nivel del suelo (*smog*) y el transporte a largo plazo de la contaminación del aire a través de la parte occidental de los Estados Unidos.

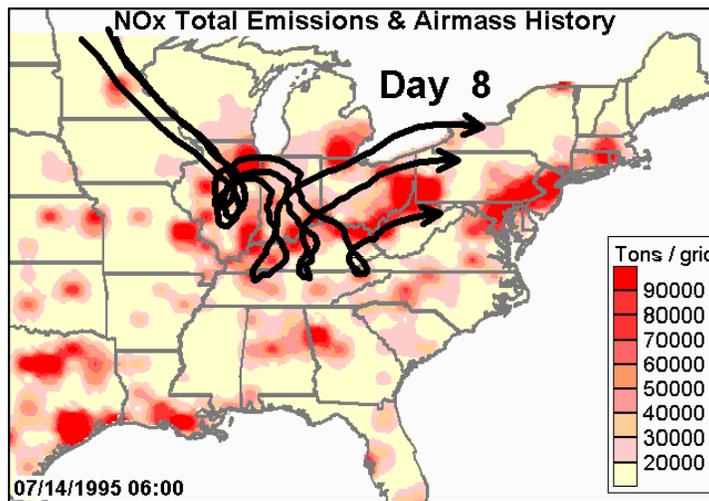


Figura 1 Mapa de los NO_x

El OTAG fue producto de una asociación entre la EPA, el *Environmental Council of the States - ECOS* (Consejo Ambiental de los Estados), y varios grupos ambientales y de la industria con el objetivo de producir una evaluación a conciencia y un consenso para reducir el ozono al nivel del suelo y los contaminantes que lo causan. La versión animada de la figura 1 muestra la trayectoria de emisiones de NO_x desplazándose con el clima durante un período de 8 días.

La figura 2 es un mapa de la concentración de ozono que muestra la misma trayectoria durante el período de 8 días. La versión animada muestra las concentraciones de NO_x y ozono a la vez, moviéndose con el clima a lo largo de varios cientos de millas.⁵

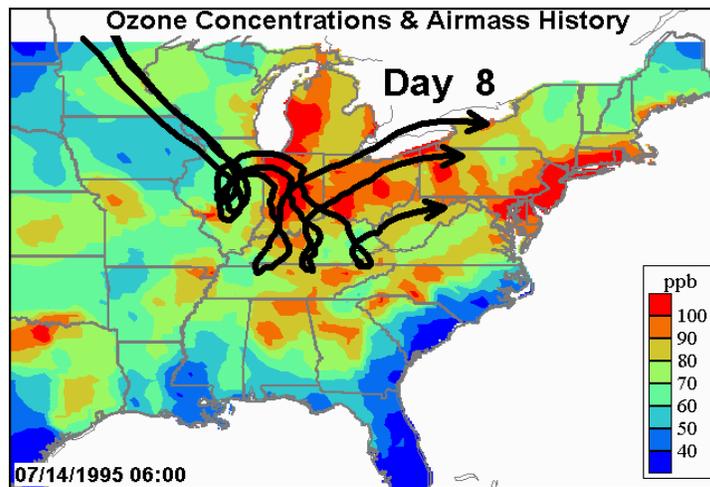


Figura 2 Mapa del Ozono

El ozono es el constituyente principal del *smog*. Entre 1970 y 1990, nosotros en los Estados Unidos hemos intentado controlar el ozono principalmente por medio del control de las emisiones de COV. Sin embargo, hemos obtenido resultados mixtos, puesto que aunque algunas zonas disminuyeron sus emisiones de COV y lograron sus objetivos de ozono, otras no los lograron. Ahora parece ser que las comunidades que fracasaron en el logro de sus objetivos de ozono pudieran no ser completamente culpables, ya que parecen afectadas por las emisiones de NO_x y COV en el aire que les llega. Para alcanzar las *NAAQS* del ozono, la EPA debe ahora reglamentar las emisiones de NO_x regionalmente.

¿EXISTEN OTROS ASUNTOS RELACIONADOS CON LOS NO_x ?

Sí. Los problemas de enriquecimiento de nutrientes (eutroficación) ocurren en cuerpos de agua cuando la disponibilidad ya sea de los nitratos o de los fosfatos se vuelve demasiado grande. Como resultado, la relación de nitrógeno a fósforo, silicio, y hierro y otros nutrientes es alterada. Esta alteración puede inducir cambios en el fitoplancton, producir brotes algáceos tóxicos o nocivos de color café o rojos (llamados "marea roja"), o estimular otro crecimiento vegetal. Los brotes algáceos y el crecimiento vegetal producen una sombra y causan la muerte de otras plantas en el

agua, lo que agota el contenido de oxígeno en el agua (hipoxia) cuando las plantas mueren, se hunden y se descomponen. Tal eutroficación puede volver inhabitables a los estratos de agua del fondo tanto para los animales marinos (tales como los peces y los mariscos) como para las plantas acuáticas. Puede proseguir virtualmente hasta la profundidad completa del agua. Se estima que entre el 12% y el 44% de la carga de nitrógeno de los cuerpos de agua de la costa provienen del aire.⁴⁰ Los lagos interiores también son afectados de esta manera.

Otra dimensión del problema es que la combustión a alta temperatura puede convertir el azufre en el combustible en SO_2 y SO_3 . Mientras el SO_2 es tóxico y forma ácido sulfuroso al ser disuelto en agua, el SO_3 es tóxico e higroscópico (absorbente de agua) a la vez y forma ácido sulfúrico combinándose con la humedad en la atmósfera. El SO_2 y el SO_3 forman sulfitos y sulfatos cuando sus ácidos son neutralizados. Ambos ácidos pueden formar partículas sólidas reaccionando con el amoníaco en el aire. El SO_2 y el SO_3 también contribuyen a los cambios de pH (acidez) en el agua, los que pueden afectar adversamente tanto a la vida terrestre como a la acuática. Por eso, tanto los NO_x como los SO_x provenientes de la combustión pueden aniquilar plantas y animales.

CAPITA ha demostrado que existen cantidades aproximadamente iguales por peso de sulfato/sulfito, nitrato y partículas orgánicas componiendo el 90% de la Materia Particulada menor de 2.5 micras de diámetro aerodinámico (MP-2.5). Esto fue confirmado por investigadores de la Universidad Brigham Young. El Estudio de Seis Ciudades, publicado en *New England Journal of Medicine* en 1990, ha demostrado que la enfermedad y muerte prematura se correlacionan cercanamente con la cantidad de MP-2.5 en el aire. Por lo tanto, existe información epidemiológica denunciando a los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, y/o compuestos orgánicos como aerosoles de MP-2.5. Actualmente no existe evidencia que examine por separado los efectos en la salud de cada una de estas sustancias. La MP-2.5 generalmente aparece como *smog*, humo, nublado blanco, neblina o niebla que no se aclara cuando el aire se tibia. El *smog* café toma su color del bióxido de nitrógeno.

Debido a que el ácido nítrico, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico reaccionan con el amoníaco del aire para formar cristales sólidos que son mucho menores de 2.5 micras y pueden ser sitios de formación de núcleos para el crecimiento de las partículas, necesitamos preocuparnos por cada uno de estos contaminantes. Algunas investigaciones indican que aún las partículas insolubles mucho menores de 2.5 micras de tamaño pueden exhibir efectos tóxicos severos.³⁸ Las partículas más pequeñas que han demostrado toxicidad tienen un diámetro de alrededor del 3% al 5% de la longitud de onda de cualquier color de la luz visible. Por lo tanto, estas partículas son demasiado pequeñas aún como para dispersar la luz y ni siquiera pueden ser detectadas ópticamente.

La deposición ácida ocurre a partir de los compuestos ácidos o acidificantes suspendidos en el aire, principalmente sulfatos (SO_4^{-2}) y nitratos (NO_3^{-1}), que pueden ser transportados a través de grandes distancias antes de regresar a la Tierra. Esto ocurre a través de la lluvia o nieve (deposición en húmedo), niebla o agua de niebla (deposición nebulosa), o transferencia de gases o partículas (deposición en seco). Mientras la severidad del daño depende de la sensibilidad del receptor, la deposición ácida y los NO_x "representan una amenaza a los recursos naturales, ecosistemas, visibilidad, materiales, y salud pública." (sección 401(a)(1) del *Clean Air Act* - Acta de Aire Limpio).⁴⁰

¿CUALES PRINCIPIOS DE REDUCCIÓN Y CONTROL SON APLICABLES?

La tecnología de reducción y control de NO_x es un asunto relativamente complejo. Trataremos de proporcionar una estructura al espectro de las tecnologías de prevención de la contaminación y de control de los NO_x presentando primeramente los principios que son utilizados. Después describiremos las tecnologías y estrategias más importantes para la prevención de la contaminación y el control de las emisiones.

Por favor nótese que la reducción y control de los NO_x provenientes de la manufactura de ácido nítrico y de los baños de curtido difieren de la reducción y el control en las fuentes de combustión. Todas las fuentes de combustión tienen NO_x en un gran flujo del gas de chimenea, mientras que las plantas manufactureras de ácido nítrico y los baños de curtido tratan de contener los NO_x . Los absorbedores en húmedo pueden controlar las emisiones de NO_x provenientes de plantas ácidas y del curtido, y pueden utilizar ya sea los alcalíes en agua, el agua sola, o el peróxido de hidrógeno como el líquido que captura a los NO_x .³ El absorbedor en húmedo opera por medio de líquido fluyendo hacia abajo por gravedad a través de un medio de empaque, opuesto por un flujo de gas hacia arriba. Los absorbedores operan por medio del intercambio de sustancias entre gas y líquido. Esto requiere que la altura del absorbedor, el tipo de empaque, el flujo líquido, las propiedades del líquido, las propiedades del gas, y el flujo de gas deban causar colectivamente que un absorbedor tenga la eficiencia de control deseada. El capítulo 9 del *OAQPS Control Cost Manual* (Manual de Costo del Control de la *OAQPS*), proporciona una guía sobre la aplicación, medidas, y costo de estos absorbedores (llamados absorbedores de gas). Además, la Tabla 16 en este boletín presenta alguna información sobre las fuentes de NO_x que no provienen de la combustión. Aparte de eso, las fuentes de NO_x que no provienen de la combustión no son tratadas en este boletín.

Para las fuentes de combustión, este boletín define los principios de reducción y control de emisiones y establece la *Destruction and Removal Efficiency - DRE* (Eficiencia de Destrucción y Remoción), que cada tecnología es capaz de alcanzar. La efectividad de las medidas de prevención de la contaminación en reducir el NO y NO_2 también es expresada en función de la DRE relativa; esto es, la cantidad de NO_x que es reducida por utilizar una tecnología de prevención en comparación con la generación de NO_x al no utilizar esa tecnología. Enseguida se discuten los tipos específicos de calderas y sistemas de combustión y tecnologías de NO_x aplicables para cada sistema. Finalmente, el costo de estas tecnologías es considerado.

Muchos sistemas de combustión nuevos incorporan métodos de prevención de NO_x dentro de su diseño y generan mucho menos NO_x que los sistemas más antiguos. Como resultado, considerar la *DRE* (aún una *DRE* relativa) para los NO_x puede resultar inapropiado. La comparación de las emisiones estimadas o reales de un sistema nuevo y bien diseñado con los NO_x emitidos por un sistema similar, bien controlado y operado pero más antiguo puede ser la mejor manera de evaluar qué tan efectivamente minimiza los NO_x un sistema de combustión nuevo.

La Tabla 2 enumera los principios o métodos utilizados para reducir los NO_x. Existen básicamente seis principios, siendo el séptimo una combinación intencional de algún subgrupo de los seis.

Tabla 2. Métodos de Control de NO_x ^{6,7}

Principio o Método de Reducción o de Control de Emisiones	Tecnologías Exitosas	Método de Prevención de la Contaminación (P2) o Tecnología de Adición (A)
1. Reducir la temperatura máxima.	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requemado del Gas Natural Quemadores de Bajo NO _x (QBN) Optimización de la Combustión Quemadores Fuera de Servicio (QFS) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor Aire de Sobrefuego (ASF) Escalonificación del Aire Reducción del Precalentamiento del Aire Combustión Catalítica	P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2
2.Reducir el tiempo de residencia a la temperatura máxima.	Inyectar Aire Inyectar Combustible Inyectar Vapor	P2 P2 P2
3. Reducción Química de los NO _x	Requemado de Combustible (RC) Quemadores de Bajo NO _x (QBN) Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS)	P2 P2 A A
4. Oxidación de los NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico Inyectar Oxidante	A A
5. Remoción de Nitrógeno	Oxígeno en Vez de Aire Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	P2 P2
6. Utilizando un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	A A
7. Combinaciones de estos Métodos	Todos los Productos Comerciales	P2 y A

Método 1. Reduciendo Temperatura -- Reduciendo temperatura significa evitar la relación estequiométrica (la relación exacta de las sustancias químicas que entran en reacción). Esencialmente, esta técnica diluye calorías con un exceso de combustible, aire, gas de chimenea, o vapor. Los controles de combustión utilizan diversas formas de esta técnica y son diferentes para los combustibles con contenido alto y bajo de nitrógeno. El control de los NO_x de la combustión de combustibles con alto contenido de nitrógeno (por ejemplo, el carbón) puede ser entendido por la relación estequiométrica neta. El control de los NO_x de la combustión de combustibles bajos en nitrógeno (tales como la gasolina y el aceite) pueden ser visto como relaciones magras contra ricas de aire a combustible. De cualquier manera, esta técnica evita la relación estequiométrica ideal porque esta es la relación que produce las temperaturas más altas que generan las concentraciones más altas de NO_x termales.

La temperatura de combustión puede ser reducida: (1) utilizando mezclas ricas en combustible para limitar la cantidad de oxígeno disponible; (2) utilizando mezclas pobres en combustible para limitar la temperatura diluyendo el suministro de energía; (3) utilizando gas de chimenea enfriado y agotado en oxígeno dentro del aire de combustión para diluir energía; (4) inyectando gas de chimenea enfriado con combustible añadido; o (5) inyectando agua o vapor. Los quemadores bajos en NO_x están basados parcialmente en este principio.^{8,9,10} La técnica básica es reducir la temperatura de los productos de combustión con un exceso de combustible, aire, gas de chimenea, o vapor. Este método evita que la vasta mayoría del nitrógeno sea ionizada (esto es, que obtenga una valencia que no sea cero).

Método 2. Reduciendo el Tiempo de Residencia -- La reducción del tiempo de residencia a temperaturas de combustión altas puede ser hecho por el tiempo de encendido o inyección, también puede ser hecho por restricción de la llama a una región corta en la cual la combustión de aire llega a ser gas de chimenea. Esto es seguido inmediatamente por inyección de combustible, vapor, más aire de combustión o re-circulación de gas de chimenea. Este tiempo corto de residencia a temperatura máxima mantiene la vasta mayoría de nitrógeno de llegar a ser ionizada. Esto no representa ninguna relación al tiempo total de residencia en una caldera.

Método 3. Reducción Química de los NO_x -- Esta técnica proporciona una sustancia que reduce químicamente (esto es, una inversión de la oxidación) para remover el oxígeno de los óxidos de nitrógeno. Los ejemplos incluyen la Reducción Catalítica Selectiva (RCS) que utiliza amoníaco, la Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) que utiliza amoníaco o urea, y el Requemado del Combustible (RC). El plasma no térmico, una tecnología emergente, al ser utilizada con un agente reductor, reduce químicamente el NO_x . Todas estas tecnologías intentan reducir químicamente el nivel de valencia del nitrógeno a cero después de que la valencia ha llegado a ser mas alta.¹¹ Algunos quemadores de bajo NO_x también están parcialmente basados en este principio.

Método 4. Oxidación de los NO_x -- Esta técnica levanta intencionalmente la valencia del ion nitrógeno para permitir que el agua lo absorba (esto es, basado en la mayor solubilidad de los NO_x a valencias más altas). Esto se logra por medio de un catalizador, inyectando peróxido de hidrógeno, creando ozono dentro del flujo del aire, o inyectando ozono dentro del flujo del aire. El plasma no térmico, al utilizarse sin un agente reductor, puede ser utilizado para oxidar NO_x .

Una lavadora de gas debe ser añadida al proceso para absorber las emisiones de N_2O_5 a la atmósfera. Cualquier ácido nítrico resultante puede ser neutralizado por el líquido de la lavadora de gas y después ser vendido (por lo general como sal de calcio o amoníaco), o recolectado como ácido nítrico para su venta a clientes.^{12, 49}

Método 5. Remoción del nitrógeno de la combustión -- Esto se logra eliminando al nitrógeno como reactivo, ya sea por medio del: (1) usando oxígeno en vez de aire en el proceso de combustión; o (2) usando combustible con un contenido ultra bajo de nitrógeno para formar menos NO_x combustibles. La eliminación del nitrógeno utilizando oxígeno tiende a producir una llama más intensa que debe ser posteriormente y adecuadamente diluida. Aunque el método 2 puede disminuir la temperatura rápidamente para evitar la formación de NO_x excesivos, no puede eliminar óxidos de nitrógeno totalmente si el aire es el medio de extinción. El gas caliente de chimenea calienta el aire que se utiliza para extinguirlo y este calentamiento genera algunos NO_x térmicos. Este método también incluye la reducción del exceso de aire neto usado en el proceso de combustión porque el aire contiene un 80 por ciento de nitrógeno. El uso de combustibles de contenido ultra bajo de nitrógeno con el oxígeno puede casi eliminar combustible e incitar los NO_x .¹³

Método 6. Sorción, tanto adsorción como absorción -- El tratamiento del gas de chimenea por la inyección de sorbentes (tales como el amoníaco, cal en polvo, óxido de aluminio, o carbón) puede remover el NO_x y otros contaminantes (principalmente el azufre). Se han realizado esfuerzos exitosos al fabricar productos de sorción en un artículos comerciales. Este tipo de tratamiento ha sido aplicado en la cámara de combustión, la chimenea, y la casa de bolsas. El uso del carbón como un absorbente no ha conducido a un producto comercial, pero a veces se utiliza para limitar las emisiones de NO_x a pesar de ésto. A menudo se le refiere al método de sorción como uso de sorbente en seco, pero las suspensiones también han sido utilizadas. Este método usa la adsorción o la absorción seguida por filtración y/o precipitación electrostática para remover el sorbente.

Método 7. Combinaciones de estos métodos -- Muchos de estos métodos pueden ser combinados para lograr una concentración más baja de NO_x de la que se puede lograr por cualquier método por sí solo. Por ejemplo, un quemador de ciclón rico en combustible (Método 1) puede ser seguido por un requemado de combustible (Método 3) y aire de sobrefuego (Método 1). Esto ha producido una reducción de NO_x tan grande como del 70 por ciento.⁵⁵ Otras tecnologías de control con la finalidad de reducir principalmente las concentraciones de azufre también afectan fuertemente la concentración de óxido de nitrógeno. Por ejemplo, la tecnología SO_x - NO_x - RO_x - BO_x (SNRB) utiliza un sorbente de cal en el gas de chimenea proveniente de la caldera para absorber el azufre. Esto es seguido por una inyección de amoníaco y RCS usando fibras de catalizador en las bolsas de filtro en las casas de bolsas. El azufre es recuperado del sorbente y regenerado por un proceso Claus. Esto ha demostrado la remoción de hasta el 90 por ciento de los NO_x junto con el 80 por ciento de los SO_x .^{39, 42} *EBARA* del Japón reportó que un reactor de rayo de electrones con amoníaco añadido removió el 80 por ciento del SO_2 y el 60 por ciento de los NO_x de una termoeléctrica en China.⁵⁴ *FLS Milo and Sons* reportó durante el mismo simposio que el 95 por ciento del SO_2 y del 70 al 90 por ciento de los NO_x fueron removidos en

varias demostraciones de su tecnología SNAP, que está basada en un absorbedor de óxido de aluminio con regeneración Claus.⁵

¿CUALES TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN SON DISPONIBLES?

En este reporte las tecnologías de reducción de NO_x existentes se dividen en dos categorías, aplicaciones para combustión externa (por ejemplo, calderas, hornos y calentones de proceso) y aplicaciones para combustión interna (por ejemplo, motores y turbinas estacionarias de combustión interna). Estas categorías están subdivididas todavía en tecnologías para la prevención de la contaminación (que reducen la generación de NO_x) y tecnologías de control de adición (que reducen las emisiones de NO_x).

COMBUSTIÓN EXTERNA

Las tecnologías aplicables a la combustión externa se muestran en la Tabla 3 (basada en la Tabla 2 en *Select the Right NO_x Control Technology* de Stephen Wood, *Chemical Engineering Progress*, enero de 1994).

COMBUSTIÓN EXTERNA: MÉTODOS DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

MENOS EXCESO DE AIRE (MEA)

Excesivo flujo de aire para la combustión ha sido correlacionado con la cantidad de NO_x generado. Limitando el exceso neto del flujo de aire a un nivel menor de 2% puede limitar fuertemente el contenido de NO_x del gas de chimenea. Aunque existen zonas ricas y pobres en la region combustible, el exceso neto de aire total es limitado cuando se usa este planteamiento.⁴³

QUEMADORES FUERA DE SERVICIO (QFS)

El equipo con quemadores múltiples puede tener parte de un conjunto de quemadores con algunos "quemadores fuera de servicio" (que no suministran combustible, sino aire o gas de chimenea). Esto permite que los quemadores a su alrededor suministren combustible y aire al aire o gas de chimenea fluyendo desde los QFS. El resultado es la combustión por etapas con una temperatura siempre menor que cuando todos los quemadores están en servicio. Por tanto, el NO_x termal es más bajo. El grado al cual la generación de NO_x es reducida depende de la relación espacial de los QFS a los demás quemadores.⁴⁴

Tabla 3. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Externa					
Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Impactos	Aplicabilidad
Menos Exceso de Aire (MEA)	Reduce la disponibilidad del oxígeno	Modificación fácil	Baja reducción de NO _x	CO alto Longitud de la llama Estabilidad de la llama	Todos los combustibles
No Estequiométrico: a. Quemadores Fuera de Servicio (QFS) b. Aire de Sobrefuego (ASF)	Combustión escalonificada	Bajo costo Sin costo capital para QFS	a. Mayor flujo de aire para el CO b. Alto costo de capital	Longitud de la llama Capacidad del extractor Presión de colector	Todos los combustibles Quemadores múltiples para QFS
Quemador de bajo NO _x (QBN)	Combustión interna escenificada	Costo de operación bajo Compatible con RGC	Costo capital moderadamente alto	Longitud de la llama Capacidad del extractor Estabilidad de <i>turndown</i>	Todos los combustibles
Re-circulación del Gas de Chimenea (RGC)	<30% del gas de chimenea re-circulado con aire, disminuyendo la temperatura	Alto potencial de reducción de NO _x para combustibles bajos en nitrógeno	Costo capital y costo de operación moderadamente altos Afecta la transferencia de calor y las presiones del sistema	Capacidad del extractor Presión del horno Caída en la presión del quemador Estabilidad de <i>turndown</i>	Todos los Combustibles Combustibles bajos en nitrógeno
Inyección de Agua/Vapor	Reduce la temperatura de la flama	Costo de capital moderado Reducción de NO _x similar a RGC	Penalidad en la eficiencia Potencia más alta del abanico	Estabilidad de la llama Penalidad en la eficiencia	Todos los combustibles Combustibles bajos en nitrógeno
Reducción en el precalentamiento del aire	Aire no precalentado, reduce la temperatura de la llama	Alto potencial de reducción de NO _x	Pérdida significativa en eficiencia (1% por 40 °F)	Capacidad del extractor Penalidad en la eficiencia	Todos los combustibles como Combustibles bajos en nitrógeno

Tabla 3. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Externa					
Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Impactos	Aplicabilidad
Reducción Catalítica Selectiva (RCS) (tecnología de adición)	Catalizador localizado en el flujo del aire, promueve la reacción entre el amoníaco y el NO _x	Alta remoción de NO _x	Costo de capital muy alto Alto costo de operación Ubicación del catalizador Aumento en la caída de presión Puede requerir enjuague con agua	Requisitos de espacio Deslizamiento del amoníaco Residuos tóxicos Desecho	Todos los combustibles
Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) (tecnología de adición) a. urea b. amoníaco	Inyectar reactivo para reaccionar con NO _x	a. Bajo costo de capital Remoción moderada de NO _x Sustancia química no tóxica b. Bajo costo de operación Remoción moderada de NO _x	a. Dependiente de la temperatura Menor reducción de NO _x a cargas más bajas b. Costo de capital moderadamente alto Almacenaje, manejo, sistema de inyección del amoníaco	a. Geometría del horno Perfil de la temperatura b. Geometría del horno Perfil de la temperatura	Todos los combustibles
Re-quemado de Combustible	Inyectar combustible para reaccionar con NO _x	Costo moderado Remoción moderada de NO _x	Extiende el tiempo de residencia	Perfil de la temperatura del horno	Todos los combustibles (sólido pulverizado)
Optimización de la Combustión	Cambiar la eficiencia de la combustión primaria	Costo mínimo	Extiende el tiempo de residencia	Perfil de la temperatura del horno	Gas Combustibles líquidos

Tabla 3. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Externa					
Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Impactos	Aplicabilidad
Combustión Catalítica	El catalizador causa combustión a temperatura más baja	Los NO _x más bajos posibles	Costo de capital muy alto Alto costo de operación Ubicación del catalizador	Requisitos de espacio Desecho	Gas Combustibles líquidos
Plasma No Térmico	El agente reductor es oxidado o se crea oxidante en el flujo	Costo moderado Fácil ubicación Alta remoción de NO _x	Posibilidad de viciado Posibilidad de emisión de ozono	Utiliza energía eléctrica	Todos los combustibles
Inyectar Oxidante	Oxidante químico inyectado en el flujo	Costo moderado	Remoción de ácido nítrico	Tecnología de adición	Todos los combustibles
Oxígeno en vez de Aire	Utilizar oxígeno para oxidar combustible	Costo moderado a alto Combustión intensa	Eliminación de NO _x inmediatos Alteración del horno	Equipo para manejar oxígeno	Todos los combustibles
Combustible ultrabajo en nitrógeno	Utilizar combustible bajo en nitrógeno	Elimina los NO _x combustibles Sin costo capital	Aumento leve en el costo de operación	Cambio mínimo	Todos los combustibles ultrabajos en NO _x
Use sorbentes en (tecnología de adición): a. Combustión b. Ducto a la Casa de Bolsas c. Ducto al Precipitador Electrostático	Utilizar una sustancia química para absorber NO _x o un adsorbente para atraparlo.	Puede controlar otros contaminantes así como el NO _x Costo de operación moderado	Costo de manejo del sorbente Espacio para almacenamiento y manejo del sorbente	Tecnología de adición	Todos los combustibles

Tabla 3. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Externa					
Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Impactos	Aplicabilidad
Escalonificación del Aire	Admitir aire en etapas separadas	Reduce la temperatura de combustión pico	Extiende la combustión a un tiempo de residencia más largo a temperatura más baja	Añade ductos y reguladores para controlar el aire Modificación del horno	Todos los combustibles
Escalonificación del Combustible	Admitir combustible en etapas separadas	Reduce la temperatura de combustión pico	Extiende la combustión a un tiempo de residencia más largo a temperatura más baja	Añade inyectores de combustible en otras ubicaciones Modificación del horno	Todos los combustibles

AIRE DE SOBREFUEGO (ASF)

Cuando la combustión primaria utiliza una mezcla rica en combustible, el uso del ASF completa la combustión. Debido a que la mezcla está siempre fuera de la relación estequiométrica cuando está ocurriendo la combustión, la temperatura es mantenida baja. Después de todas las otras etapas de combustión, el resto del combustible se oxida en el aire de sobrefuego. Esto por lo general no es una cantidad enormemente excesiva de aire.

QUEMADORES DE BAJO NO_x (QBN)

Un QBN proporciona una llama estable que tiene varias zonas diferentes. Por ejemplo, la primera zona puede ser combustión primaria. La segunda zona puede ser Re-quemado de Combustible (RC) con combustible añadido para reducir los NO_x químicamente. El QNB ha producido hasta el 80 por ciento de *DRE*.^{17,18,32,33} Esta puede ser una de las tecnologías con alta *DRE* menos costosas para la prevención de la contaminación. Los QNB han tenido problemas con diseños que tenían la llama adjunta a los quemadores, resultando en una necesidad de mantenimiento. Creemos que estos problemas de diseño ya deben ser cosa del pasado.

RECIRCULACIÓN DEL GAS DE CHIMENEA (RGC)

La recirculación del gas enfriado de chimenea reduce la temperatura diluyendo el contenido de oxígeno del aire de combustión y causando que el calor sea diluido en una masa mayor de gas. El calor en el gas de chimenea puede ser recuperado mediante un intercambiador de calor. Esta reducción de temperatura disminuye la concentración de NO_x que se genera. Si la temperatura de combustión se mantiene por debajo de 1400°F, la formación de NO_x termales será insignificante.⁵⁰

INYECCIÓN DE AGUA O VAPOR

La inyección de agua o vapor causa que la estequiometría de la mezcla sea cambiada y agregue vapor para reducir las calorías generadas por la combustión. Ambas acciones causan que la temperatura de combustión sea más baja. Si la temperatura se reduce lo suficiente, los NO_x termales no se formarán en una concentración tan grande.

REDUCCIÓN DEL PRECALENTAMIENTO DEL AIRE (RPA)

El aire es generalmente precalentado para enfriar los gases de chimenea, reducir las pérdidas de calor, y ganar eficiencia. Sin embargo, esto puede elevar la temperatura del aire de combustión a un nivel en el que los NO_x se forman con mayor facilidad. Al reducir el precalentamiento del aire, la temperatura de combustión disminuye y la formación de NO_x es suprimida. Esto puede disminuir la eficiencia, pero puede limitar la generación de NO_x.

RE-QUEMADO DE COMBUSTIBLE (RC)

La re-circulación del gas de chimenea enfriado con combustible añadido (éste puede ser gas

natural, carbón pulverizado, o aún aceite atomizado) causa dilución de calorías, similar a la RGC, y la combustión primaria puede ser disminuida. Además, cuando se añade una etapa de combustión secundaria, la presencia de combustible añadido reduce químicamente los NO_x recién generados a nitrógeno molecular. El combustible añadido se consume sólo parcialmente al reducir los NO_x y la quema se completa en una etapa posterior utilizando ya sea toberas de aire de combustión o de aire de sobrefuego. Se ha demostrado que esta técnica es efectiva con tiempos de residencia de 0.2 segundos a 1.2 segundos y ha logrado hasta el 76 por ciento de *DRE*.¹⁷

OPTIMIZACIÓN DE LA COMBUSTIÓN

La optimización de la combustión se refiere al control activo de la combustión. En una caldera que utiliza gas natural, por medio de la disminución de la eficiencia de combustión el 100 al 99 por ciento, la generación de NO_x desciende a un nivel mucho más aceptable.^{14,15} Para las calderas que utilizan carbón, se ha experimentado una reducción en NO_x del 20 al 60 por ciento. Estas medidas activas de control de combustión buscan encontrar una eficiencia óptima de combustión y controlar la combustión (y por tanto las emisiones) a esa eficiencia. Otro planteamiento utiliza un programa de red neural para encontrar el punto óptimo de control.¹⁶ Aún otro planteamiento es el uso de *software* (programas) para optimizar suministros para el *output* (rendimiento) definido.^{52,53}

Un vendedor disminuye la cantidad de aire que es pre-mezclado con combustible de la relación estequiométrica (la relación que produce la llama más caliente) para alargar la llama en el quemador y reducir la velocidad de liberación del calor por unidad de volumen. Esto puede funcionar donde los tubos de la caldera se encuentran bastante alejados del quemador. El monóxido de carbono, el combustible sin quemar, y el combustible parcialmente quemado que resultan pueden a continuación ser oxidados en el aire de sobrefuego a una temperatura más baja. La combustión debe ser optimizada para las condiciones que se presenten. Se ha reportado una *DRE* del 50 por ciento.¹⁴

ESCALONIFICACIÓN DEL AIRE

El aire de combustión se divide en dos corrientes. La primera corriente es mezclada con combustible en una relación que produce una llama reductora. La segunda corriente es inyectada corriente abajo de la llama y vuelve la relación neta ligeramente excesiva en comparación a la relación estequiométrica. Se ha reportado una *DRE* del 99 por ciento.⁵¹

ESCALONIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Esta es la escalonificación de la combustión utilizando combustible en vez de aire. El combustible se divide en dos corrientes. La primera corriente alimenta a la combustión primaria que opera en una relación reductora de combustible a aire. La segunda corriente es inyectada corriente abajo de la combustión primaria, causando que la relación neta de combustible a aire sea sólo ligeramente oxidante. El combustible en exceso en la combustión primaria diluye el calor para reducir la temperatura. La segunda corriente oxida el combustible mientras reduce el NO_x a N_2 . Se ha reportado que esto logra una *DRE* del 50 por ciento.⁵¹

OXÍGENO EN VEZ DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN

Un ejemplo de esto es un quemador de ciclón donde la llama es baja e intensa. El aire, combustible, o vapor en exceso, inyectado justo después de la cámara de combustión por el método 2 es suficiente para apagar rápidamente el gas de combustión por debajo de la temperatura de formación de los NO_x . La combustión enseguida puede ser completada en aire de sobrefuego. El oxígeno ahora puede ser separado del aire a un costo lo suficientemente bajo para hacerlo económico.¹³ Esta técnica ha reducido los NO_x hasta en un 20 por ciento²³ en quemadores que utilizan combustible convencional. Esta técnica también es utilizable con quemadores de bajo NO_x para prevenir que se formen los NO_x inmediatos.

INYECCIÓN DE OXIDANTE

La oxidación de nitrógeno a sus estados de valencia más altos vuelve a los NO_x solubles en agua. Cuando se lleva a cabo esto, un absorbedor de gas puede ser efectivo. Los oxidantes que han sido inyectados dentro del flujo de aire son el ozono, el oxígeno ionizado, o el peróxido de hidrógeno. El plasma no térmico genera iones de oxígeno dentro del flujo de aire para lograr esto. Otros oxidantes necesitan ser inyectados y mezclados en el flujo. El ácido nítrico puede ser absorbido por agua, peróxido de hidrógeno, o un fluido alcalino. El calcio o el amoníaco disuelto en el agua puede producir un fluido alcalino que reaccionará con los ácidos nítrico y sulfúrico para producir una sal de nitrato o sulfato que puede ser recuperado. De manera alternativa, el uso de agua o peróxido de hidrógeno para absorber a los NO_x puede proporcionar ácido nítrico para el mercado comercial.

COMBUSTIÓN CATALÍTICA

El uso de un catalizador para causar que la combustión ocurra por debajo de las temperaturas de formación de NO puede proporcionar un medio adecuado para limitar la temperatura. Esta técnica no es utilizada a menudo porque es muy sensitiva a la carga. Sin embargo, donde es utilizada, la combustión catalítica puede lograr una concentración de NO_x menor de 1 ppm en el gas de chimenea.

COMBUSTIBLES ULTRA BAJOS EN NITRÓGENO

Estos combustibles pueden evitar los NO_x que resultan del nitrógeno contenido en los combustibles convencionales. El resultado puede ser una reducción de hasta el 70 por ciento en las emisiones de NO_x .⁴³ Ahora existen aceites combustibles líquidos ultra bajos en nitrógeno. Estos aceites contienen de 15 a 20 veces menos nitrógeno que el aceite combustible estándar no. 2. Este aceite ya está disponible comercialmente y a precios competitivos. El aceite ultra bajo en nitrógeno es utilizado más frecuentemente en el Sur de California donde la contaminación del aire es un problema en particular. El gas natural puede ser considerado un combustible bajo en nitrógeno. El coque (el material carbonizado del carbón) también puede ser un combustible ultrabajo en nitrógeno porque el nitrógeno en la fracción volátil del carbón es removida durante la producción de coque.

PLASMA NO TÉRMICO

Utilizando metano y hexano como agentes reductores, se ha demostrado que el plasma no térmico remueve NO_x en pruebas de laboratorio con un ducto reactor de sólo 2 pies de largo. Los agentes reductores fueron ionizados por un voltaje transiente que creo un plasma no térmico. Los agentes reductores reaccionaron con NO_x y lograron una *DRE* del 94%. Existen indicaciones de que se puede lograr una *DRE* aún mayor. Un vendedor comercial exitoso utiliza amoníaco como agente reductor para reaccionar con los NO_x en un plasma generado por un rayo de electrones. Tal reactor tan corto puede llenar los requisitos de espacio de virtualmente cualquier planta. El reactor de plasma no térmico también puede ser utilizado sin agente reductor para generar ozono y usar ese ozono para aumentar la valencia del nitrógeno para absorción subsecuente como ácido nítrico.

COMBUSTIÓN EXTERNA: TECNOLOGÍA AÑADIDA DE CONTROL

Los controles añadidos se aplican a un amplio rango de fuentes y combustibles. Esto difiere de las técnicas de prevención de la contaminación enumeradas anteriormente en que las técnicas de prevención deben ser adaptadas a las circunstancias de su uso.

REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (RCS)

La RCS utiliza un catalizador para inyectar amoníaco para reducir los NO_x químicamente. Puede lograr una *DRE* de hasta un 94 por ciento³⁴ y es una de las técnicas de reducción de NO_x más efectivas. Sin embargo, esta tecnología tiene un costo inicial alto. Además, los catalizadores tienen una vida finita en el gas de la chimenea y algo de amoníaco “se cuele” sin ser reaccionado. Históricamente la RCS ha utilizado catalizadores de metales preciosos, pero ahora puede usar catalizadores de metal base y zeolita. Los catalizadores de metal base y zeolita operan a temperaturas mucho más diferentes que los catalizadores de metales preciosos.¹¹

REDUCCIÓN NO CATALÍTICA SELECTIVA (RNCS)

En la RSNC el amoníaco y la urea son inyectados dentro de una caldera o en ductos en una región donde la temperatura está entre 900°C y 1100°C . Esta tecnología está basada en la ionización del amoníaco y la urea por medio de la temperatura en vez de usar un catalizador o plasma no térmico. Esta “ventana” de temperatura - que varía depende del autor - es importante debido a que fuera de la ventana ya sea más amoníaco se cuele o se genera más NO_x que lo que se está reduciendo químicamente. Esta ventana de temperatura es diferente para la urea y el amoníaco. La reducción de los NO_x por RSNC puede tener una *DRE* de hasta el 70 por ciento.^{23,35,43}

SORCIÓN – AMBAS ADSORCIÓN COMO ABSORCIÓN

Varios métodos son utilizados para inyectar y remover adsorbente o absorbente. Un método rocía piedra caliza seca en polvo dentro del gas de chimenea. La piedra caliza reacciona enseguida con el ácido sulfúrico y el ácido nítrico. También existe un planteamiento con un secador por atomización que rocía una suspensión de cal en polvo y amoníaco acuoso dentro del gas de chimenea. La piedra caliza reacciona preferencialmente con los NO_x . La inyección en ducto de sorbentes en seco es otro ejemplo de esta técnica y puede reducir los contaminantes en tres etapas: (1) en la cámara de combustión, (2) en el ducto del gas de chimenea que conduce a la casa de bolsas, y (3) en el ducto del gas de chimenea que conduce al precipitador electrostático. Los productos secundarios formados por sorción son el yeso (sulfato de calcio) que se vende para la manufactura de cartón para pared, y el nitrato de amoníaco que se puede vender para producir un explosivo o un fertilizante. Se reporta que la sorción puede lograr hasta un 60 por ciento de *DRE*.^{23,31} Otra versión utiliza carbón inyectado dentro del flujo de aire para concluir la captura de NO_x . El carbón es capturado en la casa de bolsas o el precipitador electrostático justo como otros sorbentes. Existen muchos absorbentes y adsorbentes disponibles.

PLANTEAMIENTOS DE TECNOLOGÍA COMBINADA

Con muy poca frecuencia se utiliza un método o principio por sólo. La selección depende del tipo de sistema de combustión, tipo de caldera u otro dispositivo de conversión de energía, y el tipo de combustible usado. Las tecnologías se reducirán por la consideración de la *turndown* (relación de reducción), la estabilidad de combustión, la disponibilidad o acceso a los quemadores, los controles del suministro de aire, las impurezas del combustible, y el costo entre otros factores.

Hay muchos ejemplos y he aquí algunos de ellos. La reducción catalítica selectiva de NO_x a N_2 puede ser seguida por oxidación selectiva del bióxido de azufre a trióxido de azufre. Después se forma ácido sulfúrico seguido por la absorción de ácido sulfúrico del gas de chimenea.³⁰

Los QBN pueden ser utilizados en conjunción con la RCS o la RSNC para lograr una mayor *DRE* en total que cualquiera de estas podrían lograr por sí solas. La inyección de agua/vapor puede ser usada con la RCS para lograr una *DRE* mayor de la que la RCS puede lograr por sí sola. La requema de combustible y la RCS pueden ser usadas juntas así como por separado, para obtener la reducción máxima de NO_x .⁵⁷

COMBUSTIÓN INTERNA

Ahora nos dirigimos hacia la combustión interna, que generalmente ocurre a presiones elevadas. Una vez más, dividimos las tecnologías entre las técnicas para la prevención de la contaminación y las tecnologías de adición. Esto se muestra en la Tabla 4.

Estas técnicas pueden ser usadas en combinación. Las técnicas para la prevención de la contaminación no tienen que ser usadas por separado. Las técnicas de adición pueden ser usadas en secuencia después de una técnica de prevención de la contaminación cuando no imponen

demandas conflictivas sobre el proceso.

Tabla 4. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Interna

Prevención de Contaminación	Control de Adición
Quemadores de Bajo NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS)
Inyección de Vapor/Agua	Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS)
Combustión Catalítica	Reducción Catalítica No Selectiva (RCNS)
Relación Aire-Combustible y Tipo de Encendido	Plasma No Térmico
Carga Pre-Estratificada	
Quemado Magro	

COMBUSTIÓN INTERNA: MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

QUEMADORES DE BAJO NO_x (QBN)

Combinando el uso de QNB con una relación aire/combustible cuidadosamente controlada e inyección de agua/vapor puede generar emisiones tan bajas como 10 ppm de las turbinas de gas.⁴⁶

INYECCIÓN DE VAPOR O AGUA

Para reducir la temperatura de combustión, se puede mezclar vapor o agua con el flujo de aire. Esto disminuye la temperatura de combustión por debajo de 1,400°F para limitar la generación de NO_x a alrededor de 40 ppm.⁴⁶ Esto puede causar que aumente la concentración de CO e hidrocarburos sin quemar emitidos por una turbina. Sin embargo, éstos pueden ser quemados ya sea por un lecho de catalizador, dispositivo de poscombustión, u otra etapa de combustión. Este combustible y calor que de otra manera serían desperdiciados también pueden ser recuperados en calderas de cogeneración.

COMBUSTIÓN CATALÍTICA

Se usa un catalizador para reaccionar el combustible con el aire a una temperatura menor de la normal, a la cual no ocurre la generación de cantidades significantes de NO_x. Se han reportado emisiones por debajo de 1 ppm.⁴⁶ Sin embargo, si esta combustión es para una turbina, la eficiencia de la turbina puede depender del logro de una temperatura más alta. Cuando se encuentra presente un catalizador, Ud. sólo necesita asegurar que los NO_x no se formarán a la temperatura de combustión que resulte.

Esta tecnología tiene un costo de capital, operación y mantenimiento porque existe una inversión inicial sustancial y un costo de reemplazo para el catalizador. La necesidad de reemplazo y, por lo tanto, los costos de reemplazo generalmente son guiados por las impurezas en el combustible. Sin embargo, la combustión catalítica probablemente genera el nivel más bajo de NO_x térmicos.

RELACIÓN DE AIRE-COMBUSTIBLE Y TIPO DE ENCENDIDO

Para los motores de combustión interna, el retraso de la inyección o encendido por chispa, o una relación aire-combustible que se aleja de las condiciones estequiométricas reducirán la temperatura máxima. Una temperatura pico más baja limitará la cantidad de la formación de NO_x. Esta técnica puede lograr una eficiencia de control de hasta el 50 por ciento.^{19, 48}

Cuando un catalizador de tres secciones es utilizado para motores con encendido de chispa, el gas de escape no debe contener más del 0.5 por ciento de oxígeno. Esta técnica puede lograr una efectividad de hasta un 98 por ciento.

El uso del encendido por plasma (una corriente alterna o sistema AC) en vez de un sistema de encendido por una chispa de corriente directa (DC) también puede permitir un mayor alejamiento *fuel lean* (magro en combustible) de la relación estequiométrica. Se ha reportado que las emisiones de NO_x provenientes de motores de combustión interna que usan el encendido por plasma pueden ser reducidas por hasta un 97 por ciento.^{20,21, 45}

El retraso de la inyección de combustible en un motor con encendido por compresión (diesel) puede reducir las emisiones de NO_x. La cantidad de esta reducción dependerá del motor, el sistema de válvulas, y el combustible. Un retraso excesivo del tiempo puede causar una inestabilidad de combustión o mal encendido.⁴⁸ Sin embargo, se encontrarán algunas afirmaciones de alta efectividad con un retraso ostentablemente excesivo.

CARGA PRE-ESTRATIFICADA (CPE)

La CPE se refiere a un motor equipado con una cámara de precombustión que recibe una mezcla lo suficientemente rica en aire/combustible para encender con confiabilidad. Esta cámara de precombustión dispara un chorro de llama dentro de la cámara principal de combustión (cilindro). La cámara principal de combustión tiene una mezcla magra en combustible que necesita una llama de precombustión para encenderla con confiabilidad. La llama inyectada también produce un vórtice en la cámara principal de combustión que actúa como combustión de carga estratificada. Esto enciende la mezcla magra del cilindro principal con funcionamiento seguro. LA CPE puede lograr emisiones de NO_x de 2 gramos por caballo de fuerza-hora (g/hp-hr) o 140 ppm.⁴⁸

QUEMA POBRE

Los motores accionados por gas natural que operan con una relación aire/combustible pobre en combustible son capaces de lograr emisiones bajas en NO_x. Estos pueden lograr menos de 1.0 gramo por caballo de fuerza-hora de acuerdo al despacho *RACT-BACT-LAER Clearinghouse*

(RBLC) (<http://www.epa.gov/ttn/catc>, después seleccione RBLC).

COMBUSTIÓN INTERNA: TECNOLOGÍA AÑADIDA DE CONTROL

REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (RCS)

Tal como con las calderas, la RCS puede ser utilizada para obtener hasta un 90 por ciento de NO_x . Cuando se usa con un QBN o inyección de vapor/agua, los NO_x pueden reducirse a 5-10 ppm.⁴⁶ Con motores de encendido por compresión, los catalizadores de zeolita logran una *DRE* del 90 por ciento o mayor, mientras que los catalizadores con metales de base pueden lograr una *DRE* del 80 al 90 por ciento.⁴⁸

REDUCCIÓN CATALÍTICA NO SELECTIVA (RCNS)

La RCNS es la misma técnica utilizada en aplicaciones automovilísticas como un convertidor catalítico de tres secciones. No requiere la inyección de un agente reductor porque utiliza a los hidrocarburos sin quemar como un agente reductor. El catalizador requiere que el escape tenga no más del 0.5 por ciento de oxígeno. Esta técnica utiliza una mezcla rica en combustible que, combinada con la presión reversa proveniente del flujo de escape a través del catalizador, aumenta el consumo de combustible *brake-specific* (específico de freno) del motor. Sin embargo, se puede lograr un control del 90 al 98 por ciento de NO_x .⁴⁸

REACTORES DE PLASMA NO TÉRMICOS

Este planteamiento utiliza un plasma no térmico para ionizar amoníaco, urea, hexano, metano u otros agentes reductores inyectados dentro del gas de chimenea. Combinados con el efecto de la temperatura, el plasma no térmico ioniza el agente reductor que reacciona con los óxidos de nitrógeno logrando una *DRE* del 94 por ciento. Esto disminuye la cantidad de sustancias químicas reductoras que "se cuele" sin reaccionar.^{20,44} El uso del plasma no térmico fue desarrollado para ionizar contaminantes y actúa como un catalizador para controlar NO_x en el escape de diesel.³⁶

¿AFECTA EL TIPO DE COMBUSTIBLE Y DE COMBUSTIÓN LA MITIGACIÓN?

Si, lo hacen. De nuevo aquí, encontramos un espectro de tipos, casi suficientes para que cada turbina de gas, motor de combustión interna, caldera, u horno parezcan únicos. El tipo de combustible puede variar con la vena de la mina de la que se obtuvo el carbón, el pozo en el campo petrolero de donde provino el petróleo crudo, la refinería para combustibles basados en petróleo, o el proveedor de gas natural. Por tanto la concentración de impurezas variará entre las fuentes, refinerías, y proveedores. Aún el "gas natural" (propano, butano, y monóxido de carbono) puede causar que varíe la composición del "gas natural".

El tipo de sistema de combustión (quemador de bajo NO_x , aire de sobrefuego, encendido tangencial, encendido de pared, etc.) también algunas veces limitará las opciones a veces. Cada tipo de caldera, cada tipo de combustible, cada sistema de combustión, y cada construcción de

una caldera impone restricciones sobre lo que es posible. No es posible tratar cada combinación de sistema de combustión y combustible en detalle en este boletín técnico; sin embargo, trataremos de mostrar el cuadro pintado mientras pintamos con brochazos anchos.

La selección de combustible y sistema de combustión a menudo depende de: (1) qué puede o no puede ajustarse; (2) si los ductos son adecuados para la sorción; (3) qué efecto tendrá sobre el mantenimiento de la caldera; (4) el perfil de la temperatura en el flujo; (5) cómo se puede modificar el sistema de combustión; (6) qué tipos de quemadores pueden ser utilizados; y (7) qué puede ser ya sea añadido o modificado. La lista no se termina aquí, sino que continúa. Consideremos algunos combustibles tomando en cuenta estas limitaciones.

COMBUSTIBLES SÓLIDOS

Al quemar un combustible sólido (tal como el carbón), el control de la combustión se logra primero logrando que el quemador principal gasifique la fracción volátil de un combustible. La fracción volátil es acarreada fuera del material carbonizado por el flujo de aire, oxidada en el flujo de aire, y se vuelve gas de chimenea. El material carbonizado necesita más aire de combustión para quemar y proporcionar todavía más calor, parte del cual se utiliza para volatilizar combustible adicional. Para controlar la temperatura de combustión, usted tradicionalmente limitaría el aire de combustión a través de la fracción de material carbonizado. La fracción volátil es oxidada en aire de sobrefuego o en una etapa secundaria de quemador y su aire debe ser controlado por separado. El balance del aire de combustión entre estas etapas debe ser corregida por la composición de combustible utilizado, la carga de la caldera, y las cargas transitorias. Debido a que todos estos parámetros variarán continuamente, se recomiendan previsiones para hacer ajustes de balanceo dinámicamente.

El carbón pulverizado puede ser quemado de manera similar al aceite. La llama es generalmente bien definida y, dependiendo del tamaño de las partículas, el *char* (residuo de combustible cuando todos los productos volátiles han sido quemados) puede permanecer en suspensión en el gas de chimenea a lo largo de la quema. La fracción volátil se quema en el aire aún al estar quemándose el material carbonizado. Si las partículas son demasiado gruesas, el material carbonizado sigue quemándose en su trayectoria después de abandonar la llama, pero deja de quemarse a cierto punto. El tecnicismo para esto es "carbón sin quemar (CSQ)", "carbón en la ceniza (CEC)", o "pérdida de encendido (PDE)". Estos términos se refieren al carbón en el material carbonizado que no se quema a lo largo de la trayectoria. El CSQ es minimizado moliendo las partículas y clasificándolas de manera que las mayores sean regresadas al molino de rodillo o triturador. Las partículas se volverán cenizas sueltas si son lo suficientemente pequeñas. Un CSQ en un rango del 0.5 al 5 por ciento se considera aceptable. Por lo tanto, el tamaño de las partículas en el momento de encendido es importante. Las preocupaciones principales son por controlar la estequiometría y la temperatura de combustión para minimizar el carbón sin quemar en la ceniza.

La biomasa es otro combustible sólido, pero la quema del material carbonizado de la biomasa es de menor preocupación que con el carbón. La biomasa no puede ser pulverizada en partículas más pequeñas, pero puede quemarse en cenizas en un tiempo corto. Tal como con la quema de

todo material carbonizado, la ceniza y la ceniza suelta son problemas, pero pueden ser tratadas con una llave de escoria o depósito de cenizas, casa de bolsas, y/o precipitador electrostático.

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Los combustibles líquidos se queman como la fracción volátil del combustible sólido siempre que las gotitas sean suficientemente pequeñas. Los combustibles líquidos generalmente tienen un contenido menor de nitrógeno que los combustibles sólidos. La combustión de líquidos y gases puede ser controlada mucho más fácilmente que el material carbonizado del combustible sólido porque la combustión es menos dependiente de la historia de los últimos minutos transcurridos de demanda. La combustión también es completada esencialmente sin ceniza residual. La relación combustible-aire puede ser usada para controlar la temperatura de combustión y puede ser ajustada para minimizar la generación de NO_x . La llama puede ser bien definida y la combustión es esencialmente completada dentro de la llama. Por lo tanto, la quema de aceite o líquido del gas es diferente de la quema de carbón debido a que generalmente hay: menos nitrógeno en el combustible, una falta de material carbonizado, una quema completa dentro de la llama y una falta de cenizas.

COMBUSTIBLES SEMI-SÓLIDOS

Los combustibles semisólidos son residuos de las refinerías. No se queman en limpio como los destilados y seguidos ni siquiera son líquidos a temperatura ambiental. Muchas impurezas típicamente presentes en el petróleo crudo están concentradas en el combustible residual semisólido. Estos combustibles pueden contener más nitrógeno que carbón, pero por lo general contienen menos azufre.⁵⁰ Por lo tanto, los combustibles semisólidos se encuentran en medio del carbón y el aceite. A menudo tienen algo menos de impurezas que el carbón (aunque pueden tener más impurezas), pero sí producen cenizas.

COMBUSTIBLE GASEOSO

El gas natural es desulfurizado antes de ser enviado por una tubería. Por lo tanto, el gas natural casi no contiene azufre, esencialmente no contiene impurezas, y no tiene cenizas. Lo único que varía es el contenido de calor por metro cúbico. Este desacuerdo es causado por la suplementación del gas natural con propano, gas de petróleo líquido (butano), monóxido de carbono, u otros combustibles gaseosos. Como resultado, la relación aire a combustible debe ser controlable para compensar por los cambios en la relación estequiométrica.

SISTEMAS DE COMBUSTIÓN

Para obtener ventaja de una tecnología de reducción de NO_x específica, un sistema de combustión debe ya sea poseer ciertas características, o las modificaciones del sistema necesarias deben ser técnica y económicamente posibles. Por lo tanto, al identificar las tecnologías de prevención de la contaminación y control de emisiones, debemos considerar primero el diseño del sistema de combustión. Los tipos principales de sistemas de combustión se muestran en la Tabla 5.²³

Tabla 5. Sistemas Comunes de Combustión

Tipo de Unidad de Combustión	Combustible
Calderas de fondo seco - encendidas por la pared, por el frente o al opuesto	carbón pulverizado, gas, o líquido
Calderas de fondo seco - encendidas tangencialmente	carbón pulverizado, gas, o líquido
Calderas de fondo húmedo (llave de escoria) - quemadores tipo ciclón	carbón pulverizado, gas, o líquido
Lecho fluidizado	carbón
Fogoneros con parrilla corrediza	carbón triturado
Fogoneros con parrilla extendedora	carbón triturado
Turbinas de gas	gas y líquido
Motores de combustión interna	gas y líquido

Cada tecnología de reducción de NO_x tiene implementaciones diferentes, historias de desarrollo diferentes, y por lo tanto, una posición comercial diferente. La selección de la tecnología debe ocurrir después de un estudio de ingeniería para determinar la factibilidad técnica y económica de cada tecnología de NO_x . Esto incluye cómo puede ser implementada cada tecnología y su costo. Las opciones pueden ser limitadas por la incapacidad de ajustar el flujo de aire del sistema de combustión adecuadamente, ductos que se encuentran a la temperatura equivocada, o ductos que son demasiado cortos para proporcionar un mezclado adecuado. Estos problemas pueden ser resueltos, pero pueden requerir demasiadas modificaciones para hacerlos económicos.

CALDERAS DE FONDO SECO - ENCENDIDAS EN LA PARED, POR EL FRENTE O EL LADO OPUESTO

Las calderas de fondo seco de carbón pulverizado, gas, y combustible líquido han utilizado quemadores de bajo NO_x para inyectar combustible y aire proveniente de las paredes inferiores. Las calderas encendidas por el frente tienen quemadores sobre una pared. Las calderas encendidas en el lado opuesto tienen quemadores sobre las paredes al frente y al fondo. Estas calderas utilizan típicamente métodos que reducen las temperatura máxima, reducen el tiempo de residencia a la temperatura pico, o reducen los NO_x químicamente (métodos 1, 2 y 3). Estos métodos son utilizados para calderas de termoeléctricas en las que la eficiencia de combustión es de toda importancia. La oxidación de los NO_x con absorción y remoción de nitrógeno (métodos 4 y 5) representan tecnologías más nuevas que pueden ser aplicadas en el futuro. El uso de un sorbente (método 6) ya se encuentra en uso en algunas calderas. Véa la Tabla 6 para las tecnologías de NO_x utilizadas para calderas de fondo seco encendidas por la pared, por el frente o al opuesto.

Tabla 6: Tecnologías de NO_x Utilizadas en Calderas de Fondo Seco Encendidas en la Pared, por el Frente o el Lado Opuesto.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reducir la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requemado de Gas Natural (RGN) Quemadores de Bajo NO _x (QBN) Optimización de la Combustión Quemadores Fuera de Servicio (QFS) Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor (IAV) Precalentamiento Reducido del Aire	50-70%
2. Reducir el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Escalonificación del Combustible de Combustión Inyectar vapor	50-70%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requema de Combustible (RC) Quemadores de Bajo NO _x (QBN)	35-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Inyectar Oxidante Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No Existen Datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

CALDERAS DE FONDO SECO - ENCENDIDAS TANGENCIALMENTE

Las calderas de fondo seco incendidas tangencialmente por carbón pulverizado, gas, o combustible líquido utilizan propulsores a chorro desde cada esquina de un horno para inyectar combustible y aire de combustión en un remolino. La mezcla inyectada de combustible y aire de combustión forma una bola de fuego en el centro de la caldera. Esta configuración de encendido se usa en termoeléctricas medianas y calderas industriales grandes. Esta técnica de combustión mantiene a las temperaturas de la llama bajas (método 1). Además, la reducción química de NO_x (método 3) se usa con frecuencia. Las técnicas de oxidación de NO_x (método 4) podrían ser usadas en el futuro. Los sorbentes (método 6) ya son utilizados en algunas calderas. Véa la Tabla 7 para las tecnologías utilizadas en las calderas de fondo seco incendidas tangencialmente.

Tabla 7: Tecnologías de NO_x Utilizadas en Calderas de Fondo Seco Encendidas Tangencialmente.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reducir la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requemado de Gas Natural (RGN) Optimización de la Combustión Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor (IAV) Precalentamiento Reducido del Aire	50-70%
2. Reducir el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Escalonificación del Combustible de Combustión Inyectar Vapor	50-70%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC)	35-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No existen datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

CALDERAS DE FONDO HÚMEDO CON LLAVE DE ESCORIA

Las calderas de fondo húmedo con llave de escoria usan quemadores de ciclón para crear una llama intensa. La llama es tan caliente que derrite la ceniza, que a su vez se convierte en escoria que debe ser removida a través de una llave de escoria. Se sabe que estas calderas tienen una mayor generación de NO_x debido a que la temperatura de combustión es tan alta. Como resultado esta técnica de combustión a alta temperatura no es usada ampliamente porque la concentración de NO_x debe ser necesariamente mayor. La remoción de nitrógeno no combustible como un reactivo del proceso de combustión (método 5) se aplica aquí. Reducir el tiempo de residencia a la temperatura pico, la reducción química de NO_x y la oxidación de NO_x con absorción (métodos 2, 3 y 4) también se aplican a este sistema de combustión. Además, algunas calderas con llaves de escoria pueden estar usando sorbentes (método 6). Hay reportes recientes de que se ha usado la reducción de la temperatura máxima (método 1) de manera que la ceniza apenas se derrita. Véa la Tabla 8 para las tecnologías de NO_x usadas en las calderas de fondo

húmedo con llave de escoria.

Tabla 8: Tecnologías de NO_x Utilizadas en las Calderas de Fondo Húmedo, llave de escoria.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requema de Gas Natural (RGN) Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor (IAV) Precalentamiento Reducido del Aire	50-70%
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Escalonificación del Combustible de Combustión Inyectar vapor	20-50%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC)	35-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Removal of nitrogen	Usar Oxígeno en Vez de Aire Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No existen datos
6. Usar un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

LECHO FLUIDIZADO

La combustión en lecho fluidizado ocurre en un lecho de carbón aplastado a través del cual fluye aire ascendente para hacer que las partículas de carbón se comporten como un fluido. La tubería de la caldera puede estar ya sea sumergida en el lecho o expuesta a los gases calientes después de que abandonan el lecho. El lecho fluidizado es controlado por temperatura (método 1). El lecho también es una región químicamente reductora en la cual el oxígeno disponible es consumido por carbón (método 3) que reduce la ionización del nitrógeno. El aire en exceso es inyectado (método 2) sobre el lecho fluidizado para completar la combustión de CO y otros materiales quemables. Esto permite la adición de piedra caliza pulverizada (método 6) al carbón en el lecho fluidizado. Los óxidos de azufre reaccionan enseguida con la piedra caliza para formar yeso, un producto comerciable. El yeso debe ser separado de la ceniza. Como resultado, la generación de NO_x puede ser limitada esencialmente a los NO_x inmediatos y NO_x combustibles. Véa la Tabla 9 para las tecnologías de NO_x utilizadas para las unidades de combustión en lecho fluidizado.

Tabla 9: Tecnologías de NO_x Utilizadas en las Unidades de Combustión con Lecho Fluidizado.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requema de Gas Natural (RGN) Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA)	No existen datos
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Inyectar Vapor	No existen datos
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC)	35-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No Existen Datos
6. Usar un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

FOGONEROS CON PARRILLAS CORREDIZAS

Los fogoneros con parrillas corredizas causan que el carbón se mueva a medida que se quema. Así el *char* de combustión se encuentra en una zona distinta mientras las sustancias volátiles son liberadas y quemadas en otra zona. Estos fogoneros son utilizados comúnmente con calderas industriales que son más pequeñas que las termoeléctricas. Reducir la temperatura máxima, la reducción química de NO_x, y los sorbentes (métodos 1,3 y 6) se aplican por lo general. Quizás la oxidación de NO_x (método 4) se aplique en el futuro. Véa la Tabla 10 para las tecnologías utilizadas para los fogoneros con parrillas separadoras.

FOGONEROS CON PARRILLAS SEPARADORAS

Los fogoneros con parrillas separadoras lanzan carbón sobre la parrilla en una forma controlada. El carbón es triturado, pero las partículas son típicamente más grandes que el carbón pulverizado. Por lo tanto, la combustión de las sustancias volátiles empieza mientras el carbón se encuentra en

Tabla 10: Tecnologías Utilizadas para los Fogoneros con Parrillas Separadoras.

Método de Reducción de NO _x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requema de Gas Natural (RGN) Optimización de la Combustión Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor Precalentamiento Reducido del Aire	35-50%
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Escalonificación del Combustible de Combustión	50-70%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC)	55-80%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Inyectar Oxidante Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No Existen Datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

vuelo y la combustión del material carbonizado ocurre sobre la parrilla. Este sistema es utilizado con calderas algo mayores que los fogoneros con parrillas corredizas. Puede ser utilizado en plantas generadoras de energía, pero este sistema de combustión se usa principalmente para calderas industriales. Tal como los fogoneros con parrillas separadoras, reduciendo la temperatura máxima, la reducción química de NO_x, y los sorbentes (métodos 1, 3 y 6) se aplican por lo general. Quizás la oxidación de NO_x (método 4) se aplique en el futuro. Véa la Tabla 11 para las tecnologías de NO_x utilizadas para fogoneros con parrillas separadoras.

TURBINAS DE GAS

Las turbinas de gas utilizan el ciclo Brayton con un quemador para elevar la temperatura del gas después de la compresión y antes de la expansión a través de la turbina. Las turbinas usan principalmente los plan teamientos que consisten en reducir la temperatura máxima y reducir el tiempo de residencia (métodos 1 y 2) para limitar las emisiones de NO_x. Debido a que la adición de partículas al flujo del aire introduciéndose a la turbina aceleraría la erosión de las aspas de la turbina, los sorbentes (método 6) sólo podrían aplicarse después de la expansión en la turbina. La reducción de NO_x (método 3) ha sido utilizado para tratar los gases de escape. Muchos

Tabla 11: Tecnologías de NO_x Utilizadas en Fogoneros con Parrillas Separadoras.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requema de Gas Natural (RGN) Optimización de la Combustión Aire de Sobrefuego (ASF) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor Precalentamiento Reducido del Aire	50-65%
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Escalonificación del Combustible de Combustión	50-65%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC)	35-80%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Inyectar Oxidante Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	60-80%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No Existen Datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	60-90%

operadores de turbinas aseveran que usan "prácticas de combustión buenas" que reducen las partículas que producen emisiones visibles (que ellos consideran como contaminación), pero no dicen nada sobre las emisiones de NO_x que no son visibles.

Las unidades de co-generación utilizan una turbina de gas y proveen combustión de aire precalentado por una caldera. El tubo de escape de una turbina de gas es típicamente 10-15% oxígeno y puede ser usado para proveer vapor a otra turbina, un calentador de proceso, un calentador ambiental o la combinación de estos. Si la turbina es usada para generar electricidad, puede restringir lo que puede hacerse. Partículas sorbentes pueden ser introducidas a un flujo después de dejar una turbina de gas para poder controlar los NO_x. También, se han tenido algunos éxitos en la reducción de la concentración de NO_x cuando se ha quemado combustibles de biomasa. Véa la Tabla 12 para las tecnologías de NO_x utilizadas en turbinas de gas..

Tabla 12: Tecnologías de NO_x Utilizadas en Turbinas de Gas.

Método de Reducción de NO_x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Requemado de Gas Natural (RGN) Quemadores de Ultrabajo NO _x Inyectar Agua o Vapor Precalentamiento Reducido del Aire Combustión Catalítica	70-85%
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Escalonificación del Aire de Combustión Inyectar Vapor	70-80%
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) Requemado de Combustible (RC) Quemadores de Bajo NO _x (QBN)	70-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	No Existen Datos
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	No Existen Datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Ductos	60-90%

MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los motores de combustión interna usan una relación de aire a combustible y sincronización de encendido/inyección para controlar la temperatura máxima y el tiempo de residencia. Esto puede reducir la concentración de NO_x que es generada al reducir la temperatura pico (método 1). Los ajustes a la sincronización de las válvulas puede reducir el tiempo de residencia a la temperatura pico (método 2) para controlar la formación de NO_x. La reducción química de NO_x (método 3) es utilizada en los convertidores catalíticos para reducir los NO_x a N₂. Algunos motores estacionarios usan el método 3 y la oxidación de NO_x (método 4) a la vez. Un reactor de plasma no termal fue desarrollado para el tratamiento de las emisiones de diesel, pero de acuerdo a nuestros conocimientos aún no se ha comercializado. Un sistema de ignición de plasma permite mayor libertad en la relación de aire a combustible y la sincronización del encendido de motores con encendido por chispa. Véa la Tabla 13 para las tecnologías de NO_x utilizadas por motores estacionarios de combustión interna.

Table 13: Tecnologías de NO_x Actualmente Utilizadas en Motores Estacionarios de Combustión Interna.

Método de Reducción de NO _x	Técnicas Disponibles Actualmente	Eficiencia
1. Reduciendo la temperatura máxima	Relación Aire/Combustible Sincronización de la Ignición/Tipo de Ignición Combustión Pre-Estratificada	20-97%
2. Reduciendo el tiempo de residencia a la temperatura máxima	Sincronización de la Válvula	No Existen Datos
3. Reducción Química de NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción Catalítica No Selectiva (RCNS)	80-90%
4. Oxidación de NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico (RPNT)	80-95%
5. Remoción de Nitrógeno	Combustible Ultra Bajo en NO _x	No Existen Datos
6. Uso de un Sorbente	Sorbente en Ductos de Escape	60-90%

¿CUANTO CUESTA LA REDUCCIÓN Y EL CONTROL DE NO_x?

El costo de la reducción y el control de NO_x ha ido cambiando rápidamente con reducciones dramáticas en años recientes. La Tabla 14 presenta el costo en 1993 tal como se encuentra en el documento de *Alternative Control Techniques Document NO_x Emissions from Industrial/Commercial/Institutional (ICI) Boilers* (EPA 453/R-94-022), Técnicas Alternativas para Emisiones de NO_x Provenientes de Calderas Industriales, Comerciales e Institucionales.

El *EPA Region III Low NO_x Control Technology Study (1994)*, Estudio sobre la Tecnología de Controles de Bajo NO_x de la Región III de la EPA en 1994, afirma que los quemadores de bajo NO_x tenían efectos tanto beneficiosos sobre los costos de operación como perjudiciales para los quemadores, su expectativa de vida, y las calderas en que fueron instalados. La calidad del carbón y algunos diseños de calderas causaron que los NO_x permanecieran altos aún después de que los quemadores de bajo NO_x fueron instalados. Los costos capitales se encontraron en un rango de \$1.91 a \$54.24 por kW. Los costos de operación se encontraron en un rango de \$-23,000 (una ganancia) a \$1,113,750 por año. Por tanto, no se pudieron obtener presupuestos confiables del costo respecto a la operación de quemadores de bajo NO_x. La calidad del carbón, la capacidad de

Tabla 14. Costos de los Controles de NO_x en 1993.

Dispositivo de Control	Capital Baja	Capital Alta	Operación Baja	Operación Alta	Baja	Alta
	\$/MMBTU	\$/MMBTU	\$/MMBTU	\$/MMBTU	\$/tonelada	\$/tonelada
QBN	650	8.300	340	1.500	240	4.300
QBN + RGC					650	7.630
RSNC	1.600	3.300	680	1.200	N/A	N/A
(ESTIMACIÓN PARA 1994)					700	1.300
RCS	2.400	20.000	1.500	5.800	1.810	10.900
(ESTIMACIÓN PARA 1993)					500	2.800

la caldera y el diseño del quemador estuvieron entre las variables que influenciaron este costo. Muchas plantas ni siquiera pudieron dar un presupuesto. La reducción catalítica no selectiva cuesta entre \$700 y \$1,300 por tonelada de NO_x reducido. La reducción catalítica selectiva cuesta entre \$500 y \$2,800 por tonelada de NO_x reducido.²⁵ Sin embargo, el costo por tonelada de NO_x removida para todas las tecnologías parece ser cada vez menor.

Estos costos varían de acuerdo a la técnica de control, tipo de combustible, grado de combustible, tamaño de caldera, motor o turbina, tipo de caldera, o turbina y otros factores. Otros costos también cambiaban con el tiempo. Por lo tanto usted necesita examinar los costos de estas tecnologías de control de NO_x para una aplicación específica y a un tiempo particular.

Estos presupuestos de costo preliminares serán reducidos todavía más a manera que se gane experiencia de operación, se agudice la competencia, y las iteraciones de diseño eliminen el alto mantenimiento o los rasgos que acortan la vida. La confianza en esta perspectiva del futuro está basada en reportes de que algunos usuarios de quemadores de bajo NO_x que ya habían observado en 1994 que los costos de operación podrían ser reducidos para hacer que la incorporación de esta tecnología redituara una ganancia neta. Los costos de la RCS y la RNCS también podrían haber disminuido todavía más allá puesto que hoy ya existe competencia por estas tecnologías.

Este análisis fue respaldado por las cantidades de costo de 1997. Estas se presentan en la Tabla 15. Esta tabla proviene de *Analyzing Electric Power Generation Under the CAAA*²⁶ (El Análisis de la Generación de Energía Eléctrica Bajo la Enmienda del Acta de Aire Limpio). Parece ser que la competencia y los diseños mejorados todavía están guiando los costos hacia abajo. La tabla fue presentada en esa publicación y se presenta aquí para su conveniencia.

Tabla 15. Costos de los Controles de NO_x en 1997.

Generación de Energía Eléctrica Bajo la Enmienda del Acta de Aire Limpio (CAAA) -- Presupuesto de Costos²⁶					
Tipo de Caldera	Tipo de Control	Costo de Capital, \$/kW	O & M Fijos, \$/kW/año	O& M Variables, mil/kWh	% de Control
Incendiado por Pared	QBN sin ASF	16,8	0,25	0,05	67,5
Incendiado por Pared	QBN con ASF	22,8	0,35	0,07	67,5
Incendiado Tang.	QBN con ASF	32,3	0,49	0	47,3
QBN Inc.Tang. con ASFS		34,7	0,53	0	52,3
QBN Inc.Tang. con AASF		46,7	0,71	0,02	57,3
Quemadores de Celda	Control de Combustión No Conectado	22,8	0,34	0,07	60
Ciclón	Requemado de Carbón	70,7	1,07	0,25	50
Fondo Húmedo	Control de Combustión	9,6	0,14	0,05	50
Incendiado Vertical	Control de Combustión	10,8	0,17	0,05	40
	RCS -Vel.Baja de NO _x	69,7	6,12	0,24	70
	RCS -Vel.Alta de NO _x	71,8	6,38	0,4	80
	RNCS -Vel.Baja de NO _x	16,6	0,24	0,82	40
	RNCS-Ciclón	9,6	0,14	1,27	35
	RNCS -Vel.Alta de NO _x	19	0,29	0,88	35
	Requem. Gas Nat. -Bajo	32,4	0,49		40
	Requem. Gas Nat. -Alto	32,4	0,49		50

Nótese que en la Tabla 8 se usan los siguientes acrónimos:

QBN es un quemador de bajo NO_x

AASF son ambos aires de sobrefuego: acoplado de cerca y por separado

ASF es aire de sobrefuego acoplado de cerca

Control de Combustión es control combinado

ASFS es el aire de sobrefuego por separado

El *The Institute of Clean Air Companies* (Instituto de Compañías de Aire Limpio) también sugiere que en 1999 la RCS costará entre \$50 y \$80 por kW para un *retrofit* (agregación de equipo a unidades existentes), que se relaciona a entre \$400 y \$1,800 por tonelada de NO_x que es destruido.³⁴ Su presupuesto de costo para la RNCS varía entre \$5 y \$15 por kW, que se relaciona a entre \$400 y \$2,000 por tonelada de NO_x que es destruido.³⁵ La efectividad de costo no se correlaciona únicamente con la capacidad de la caldera - otras variables tales como el tipo y la

calidad del combustible, el tipo de caldera, el diseño de RNCS/RCS, etcétera entran dentro del análisis.

Aunque el estudio *Performance of Selective Catalytic Reduction on Coal-fired Steam Generating Units* (Funcionamiento de la Reducción Catalítica Selectiva en Unidades Generadoras de Vapor que Utilizan Carbón) trataba de Alemania, citó un rango de costo reciente para la RCS de \$52 a \$77 por kW, con unidades de *retrofit* tendiendo hacia costos más bajos. Así, los costos en Alemania fueron muy parecidos a los costos en los Estados Unidos, excepto que los costos de *retrofit* son generalmente más altos en los Estados Unidos.

La Tabla 16, Costos de Unidades para Tecnologías de NO_x para Fuentes Estacionarias No Utilitarias, proviene del reporte *Ozone Transport Rulemaking Non-Electricity Generating Unit Cost Analysis* (Análisis de Costo para Unidades No Generadoras de Electricidad, Reglamentación del Transporte de Ozono). El reporte fue preparado para la EPA por *Pechan-Avanti Group*. Indica las eficiencias y los presupuestos de costo para varias tecnologías de NO_x para el año 2007. Esto parece ser una estimación conservadora de la eficiencia y el costo. Las eficiencias indicadas en la tabla tienden a ser menores que las eficiencias demostradas actualmente. Los costos se basaron en información histórica y, por lo tanto, deben ser presupuestos altos debido a que los costos de la tecnología de NO_x parecen ir descendiendo con el tiempo. La tabla se incluyó aquí para indicar la eficiencia relativa y el costo de las tecnologías de NO_x para tipos específicos de sistemas de combustión.

El documento *Alternative Control Techniques Document--Emissions from Stationary Reciprocating Internal Combustion Engines* (Técnicas Alternativas de Control--Emisiones Provenientes de Motores Estacionarias de Combustión Interna), contiene algoritmos de costo para las técnicas de prevención de la contaminación y tecnología de control aplicadas a los motores de combustión interna. Los costos para la eliminación de NO_x van desde \$250 a \$1,300 por tonelada para motores mayores de 1,000 caballos de fuerza. Para motores menores el costo va de \$400 a mayor de \$3,500 por tonelada.

¿SON SUFICIENTES ESTOS MÉTODOS?

SI, estos métodos son suficientes para alcanzar el objetivo actual de reducir las emisiones de NO_x por 2 millones de toneladas debajo de las emisiones de 1980.⁴⁷ El objetivo parece estar fijo en un nivel que se puede lograr basándose en el estado de la tecnología de NO_x en 1996. Sin embargo, tendremos que ver si la realización de nuestro objetivo actual proporciona el alivio requerido. Un grupo de normas todavía más exigente pudiera ser necesario en algún tiempo futuro.

Como una nación de alta tecnología y con una gran población urbana y suburbana, dependemos de los automóviles, autobuses, aviones, ferrocarriles, y camiones para la transportación. Además dependemos de la energía eléctrica para las computadoras, las luces, el aire acondicionado y el comercio. Por lo tanto, parecemos estar atrapados en un dilema, puesto que, mientras que dependemos de la transportación, los vehículos producen la mayoría de nuestros NO_x. Mientras

Tabla 16: Costos Unitarios para las Tecnologías de Control de NO_x para Fuentes Estacionarias que No Son Termoeléctricas.

Tipo de Fuente/Tipo de Combustible	Tecnología de Control	Porcentaje de Reducción (%)	Temporada de Ozono Efectividad de Costo (\$1990/tonelada)	
			Pequeña*	Grande*
Calderas de ICI - Carbón/Pared	RNCS	40	1,870	1,380
Calderas de ICI - Carbón/Pared	QBN	50	3,490	2,600
Calderas de ICI - Carbón/Pared	RCS	70	2,910	2450
Calderas de ICI - Carbón/CQR	RNCS - Urea	75	1,220	910
Calderas de ICI - Carbón/Fogonero	RNCS	40	1,810	1,350
Calderas de ICI - Carbón/Ciclón	RNCS	35	1,480	1,110
Calderas de ICI - Carbón/Ciclón	Requemado de Carbón	50	3,730	710
Calderas de ICI - Carbón/Ciclón	NGR	55	3,730	710
Calderas de ICI - Carbón/Ciclón	RCS	80	1,840	1,560
Calderas de ICI - Aceite Residual	QBN	50	940	1,020
Calderas de ICI - Aceite Residual	RNCS	50	5,600	1,950
Calderas de ICI - Aceite Residual	QBN + RGC	60	2,670	920
Calderas de ICI - Aceite Residual	RCS	80	3,460	1,840
Calderas de ICI - Aceite Destilado	QBN	50	2,810	4,950
Calderas de ICI - Aceite Destilado	RNCS	50	10,080	3,520
Calderas de ICI - Aceite Destilado	QBN + RGC	60	5,960	1,810
Calderas de ICI - Aceite Destilado	RCS	80	6,480	3,460
Calderas de ICI - Gas Natural	QBN	50	1,950	1,560
Calderas de ICI - Gas Natural	RNCS	50	8,400	2,930
Calderas de ICI - Gas Natural	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Calderas de ICI - Gas Natural	OT + IA	65	1,620	760
Calderas de ICI - Gas Natural	RCS	80	5,190	2,770
Calderas de ICI - Leña/Corteza/CQR	RNCS - Urea	55	2,090	1,430
Calderas de ICI - Leña/Corteza/CQR	RNCS - Amoníaco	55	1,660	1,210
Calderas de ICI - ASM/ Fogonero	RNCS - Urea	55	2,610	1,830
Calderas de ICI - Gas de Proceso	QBN	50	1,950	1,560
Calderas de ICI - Gas de Proceso	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Calderas de ICI - Gas de Proceso	OT + IA	65	1,620	760
Calderas de ICI - Gas de Proceso	RCS	80	4,990	2,570
Calderas de ICI - Coque	RNCS	40	1,870	1,380
Calderas de ICI - Coque	QBN	50	3,490	2,600
Calderas de ICI - Coque	RCS	70	2,910	2,450
Calderas de ICI - GPL	QBN	50	2,810	4,950
Calderas de ICI - GPL	RNCS	50	10,000	3,440
Calderas de ICI - GPL	QBN + RGC	60	5,960	1,810
Calderas de ICI - GPL	RCS	80	6,240	3,220
Calderas de ICI - Bagasse	RNCS - Urea	55	2,090	1,430
Calderas de ICI - Residuos Líquidos	QBN	50	940	1,020
Calderas de ICI - Residuos Líquidos	RNCS	50	5,560	1,910
Calderas de ICI - Residuos Líquidos	QBN + RGC	60	2,670	920
Calderas de ICI - Residuos Líquidos	RCS	80	3,320	1,710
Motores de Combustión Interna - Aceite	IR	25	1,840	1,160
Motores de Combustión Interna - Aceite	RCS	80	4,690	1,850

Tipo de Fuente/Tipo de Combustible	Tecnología de Control	Porcentaje de Reducción (%)	Temporada de Ozono Efectividad de Costo (\$1990/tonelada)	
			Pequeña*	Grande*
Motores de Combustión Interna - Gas	IR	20	2,430	1,320
Motores de Combustión Interna - Gas	RELACION AF	20	3,730	900
Motores de Combustión Interna - Gas	AF + IR	30	3,430	1,080
Motores de Combustión Interna - Gas	L-E (Velocidad Mediana)	87	890	N/A
Motores de Combustión Interna - Gas	L-E (Velocidad Baja)	87	4,000	1,500
Motores de Combustión Interna - Gas	RCS	90	5,547	1,075
Motores de CI - Gas, Diesel, GPL	IR	25	1,840	1,160
Motores de CI - Gas, Diesel, GPL	RCS	80	4,690	1,850
Turbinas de Gas - Aceite	Inyección de Agua	68	3,080	1,540
Turbinas de Gas - Aceite	RCS + Inyección de Agua	90	4,240	1,860
Turbinas de Gas - Gas Natural	Inyección de Agua	76	3,590	1,750
Turbinas de Gas - Gas Natural	Inyección de Vapor	80	2,490	1,190
Turbinas de Gas - Gas Natural	QBN	84	1,170	240
Turbinas de Gas - Gas Natural	RCS + QBN	94	4,850	1,140
Turbinas de Gas - Gas Natural	RCS + Inyección de Vapor	95	3,750	1,570
Turbinas de Gas - Gas Natural	RCS + Inyección de Agua	95	5,040	2,060
Turbinas de Gas - Combustible para Propulsión	Inyección de Agua	68	3,080	1,540
Turbinas de Gas - Combustible para Propulsión	RCS + Inyección de Agua	90	4,240	1,860
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	QBN	45	8,290	2,320
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	QBN + RCG	48	10,130	4,000
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	RNCS	60	6,210	3,230
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	QUBN	74	5,110	1,450
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	RCS	75	18,970	12,520
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	QBN + RNCS	78	7,160	3,630
Calentadores de Proceso - Aceite Destilado	QBN + RCS	92	18,770	10,910
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	QBN + RGC	34	8,330	3,290
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	QBN	37	6,010	1,690
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	RNCS	60	3,730	2,050
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	QUBN	73	3,080	860
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	QBN + RNCS	75	4,730	2,510
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	RCS	75	10,560	7,170
Calentadores de Proceso - Aceite Residual	QBN + RCS	91	11,170	6,550
Calentadores de Proceso - Gas Natural	QBN	50	5,250	4,290
Calentadores de Proceso - Gas Natural	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Calentadores de Proceso - Gas Natural	RNCS	60	5,560	3,740
Calentadores de Proceso - Gas Natural	QUBN	75	3,580	2,870
Calentadores de Proceso - Gas Natural	RCS	75	24,840	16,760
Calentadores de Proceso - Gas Natural	QBN + RNCS	80	6,960	5,080
Calentadores de Proceso - Gas Natural	QBN + RCS	88	23,880	16,500
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	QBN	50	5,250	4,290
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	RNCS	60	5,560	3,740
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	QUBN	75	3,580	2,870
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	RCS	75	24,840	16,760
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	QBN + RNCS	80	6,960	5,080
Calentadores de Proceso - Gas de Proceso	QBN + RCS	88	23,880	16,500
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	QBN	45	8,290	2,320

Tipo de Fuente/Tipo de Combustible	Tecnología de Control	Porcentaje de Reducción (%)	Temporada de Ozono Efectividad de Costo (\$1990/tonelada)	
			Pequeña*	Grande*
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	QBN + RGC	48	10,130	4,000
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	RNCS	60	6,210	3,230
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	UQBN	74	5,110	1,450
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	RCS	75	18,970	12,520
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	QBN + RNCS	78	7,160	3,630
Calentadores de Proceso - Gas Propano Líquido	QBN + RCS	92	18,770	10,910
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	QBN + RGC	34	8,330	3,290
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	QBN	37	6,010	1,690
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	RNCS	60	3,730	2,050
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	UQBN	73	3,080	860
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	QBN + RNCS	75	4,730	2,510
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	RCS	75	10,560	7,170
Calentadores de Proceso - Otro Combustible	QBN + RCS	91	11,170	6,550
Manufactura de Acido Adípico	Reducción Térmica	81	1,000	1,000
Manufactura de Acido Adípico	Absorción Extendida	86	210	210
Manufactura de Acido Nítrico	Absorción Extendida	95	840	840
Manufactura de Acido Nítrico	RCS	97	1,010	1,010
Manufactura de Acido Nítrico	RNCS	98	940	940
Recipiente - Manufactura de Vidrio	Empuje Eléctrico	10	17,050	17,050
Recipiente - Manufactura de Vidrio	Precalentado del <i>cullet</i>	25	2,240	2,240
Recipiente - Manufactura de Vidrio	QBN	40	4,040	4,040
Recipiente - Manufactura de Vidrio	RNCS	40	3,320	3,320
Recipiente - Manufactura de Vidrio	RCS	75	4,550	4,550
Recipiente - Manufactura de Vidrio	OXY-Encendido	85	10,960	10,960
Manufactura de Vidrio - Plano	Empuje Eléctrico	10	5,540	5,540
Manufactura de Vidrio - Plano	QBN	40	1,660	1,660
Manufactura de Vidrio - Plano	RNCS	40	1,380	1,380
Manufactura de Vidrio - Plano	RCS	75	1,490	1,490
Manufactura de Vidrio - Plano	OXI-Encendido	85	4,530	4,530
Manufactura de Vidrio - Prensado	Empuje Eléctrico	10	20,910	20,910
Manufactura de Vidrio - Prensado	Precalentado del <i>cullet</i>	25	1,930	1,930
Manufactura de Vidrio - Prensado	QBN	40	3,570	3,570
Manufactura de Vidrio - Prensado	RNCS	40	3,080	3,080
Manufactura de Vidrio - Prensado	RCS	75	5,170	5,170
Manufactura de Vidrio - Prensado	OXI-Encendido	85	9,310	9,310
Manufactura de Cemento - Seco	Endendido de Horno Medio	30	1,110	1,110
Manufactura de Cemento - Seco	QBN	30	1,340	1,340
Manufactura de Cemento - Seco	RNCS - Basado en Urea	50	1,280	1,280
Manufactura de Cemento - Seco	RNCS - Basado en NH ₃	50	1,490	1,490
Manufactura de Cemento - Seco	RCS	80	6,850	6,850
Manufactura de Cemento - Húmedo	Encendido de Horno Medio	30	1,010	1,010
Manufactura de Cemento - Húmedo	QBN	30	1,260	1,260
Manufactura de Cemento - Húmedo	RCS	80	5,840	5,840
Molinos de Hierro y Acero - Recalentado	LEA	13	3,160	3,160
Molinos de Hierro y Acero - Recalentado	QBN	66	720	720
Molinos de Hierro y Acero - Recalentado	QBN + RGC	77	900	900
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	QBN	50	1,350	1,350
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	QBN + RGC	60	1,790	1,790
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	RNCS	60	3,130	3,130
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	QBN + RNCS	80	3,460	3,460

Tipo de Fuente/Tipo de Combustible	Tecnología de Control	Porcentaje de Reducción (%)	Temporada de Ozono Efectividad de Costo (\$1990/tonelada)	
			Pequeña*	Grande*
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	RCS	85	8,490	8,490
Molinos de Hierro y Acero - Recocido	QBN + RCS	90	9,070	9,070
Molinos de Hierro y Acero - Galvanizado	QBN	50	1,170	1,170
Molinos de Hierro y Acero - Galvanizado	QBN + RGC	60	1,370	1,370
Combustores de Residuos Municipales	RNCS	45	2,140	2,140
Incineradores de Residuos Médicos	RNCS	45	8,570	8,570
Calentones de Espacio - Aceite Destilado	QBN	50	2,810	4,950
Calentones de Espacio - Aceite Destilado	RNCS	50	10,000	3,440
Calentones de Espacio - Aceite Destilado	QBN + RGC	60	5,960	1,810
Calentones de Espacio - Aceite Destilado	RCS	80	6,240	3,220
Calentadores de Espacio - Gas Natural	QBN	50	1,950	1,560
Calentadores de Espacio - Gas Natural	RNCS	50	8,330	2,860
Calentadores de Espacio - Gas Natural	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Calentadores de Espacio - Gas Natural	OT + IA	65	1,620	760
Calentadores de Espacio - Gas Natural	RCS	80	4,990	2,570
Reformadores Encendidos por Amoníaco, No Gas	QBN	50	1,950	1,560
Reformadores Encendidos por Amoníaco, No Gas	RNCS	50	8,330	2,860
Reformadores Encendidos por Amoníaco, No Gas	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Reformadores Encendidos por Amoníaco, No Gas	OT + IA	65	1,620	760
Reformadores Encendidos por Amoníaco, No Gas	RCS	80	4,990	2,570
Reformadores Encendidos por Amoníaco y Aceite	QBN	50	940	1,020
Reformadores Encendidos por Amoníaco y Aceite	RNCS	50	5,560	1,910
Reformadores Encendidos por Amoníaco y Aceite	QBN + RGC	60	2,670	920
Reformadores Encendidos por Amoníaco y Aceite	RCS	80	3,320	1,710
Hornos de Cal	Encendido de Horno Medio	30	1,110	1,110
Hornos de Cal	QBN	30	1,340	1,340
Hornos de Cal	RNCS - Basada en Urea	50	1,280	1,280
Hornos de Cal	RNCS - Basada en NH ₃	50	1,490	1,490
Hornos de Cal	RCS	80	6,850	6,850
Incineradores Comunitarios e Industriales	RNCS	45	2,140	2,140
Incineradores Industriales	RNCS	45	2,140	2,140
Hornos Recuperadores de Pulpa de Sulfato	QBN	50	1,950	1,560
Hornos Recuperadores de Pulpa de Sulfato	RNCS	50	8,330	2,860
Hornos Recuperadores de Pulpa de Sulfato	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Hornos Recuperadores de Pulpa de Sulfato	OT + IA	65	1,620	760
Hornos Recuperadores de Pulpa de Sulfato	RCS	80	4,990	2,570
Prod. de Amoníaco; Desulfurización de Alimento	QBN + RGC	60	6,110	1,420
Producción de Plásticos - Específicos; (ABS) Resina	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Manufactura de Almidón; Operaciones Combinadas	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Manufactura de Productos Secundarios del Coque; Encendido Bajo del Horno	RNCS	60	3,130	3,130
Fundición Primaria del Cobre; Horno de Fund. Repetida	QBN + RGC	60	1,790	1,790

Tipo de Fuente/Tipo de Combustible	Tecnología de Control	Porcentaje de Reducción (%)	Temporada de Ozono Efectividad de Costo (\$1990/tonelada)	
			Pequeña*	Grande*
Producción de Hierro; Horno Explosivo; Estufas de Calentamiento Explosivo	QBN + RGC	77	900	900
Producción de Acero; Contenedores de Remojo	QBN + RGC	60	1,790	1,790
Equipo Encendido por Combustible; Calentadores de Proceso; Gas Propano	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Prod. Secund. de Aluminio; Horno de Fund. y Repetición	QBN	50	1,350	1,350
Fundiciones de Acero; Horno de Tratamiento por Calor	QBN	50	1,350	1,350
Equipo Encendido por Combustible; Hornos; Gas Natural	QBN	50	1,350	1,350
Concreto Asfáltico; Secador Rotatorio, Planta Conv.	QBN	50	5,250	4,290
Manufactura de Arcilla Cerámica; Secado	QBN	50	5,250	4,290
Lavado del Coque-Secador Térmico; Lecho Fluidizado	QBN	50	3,490	2,600
Manuf. Fibra de Vidrio, Tipo Textil, Horno de Recup.	QBN	40	4,040	4,040
Arena/Grava; Secador	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Unidades de <i>Cracking</i> con Cat. Fluido; Un. de <i>Cracking</i>	QBN + RGC	55	7,610	5,890
Recubierto Conv. de Producto; Baño de Lavado en Ácido	QBN	50	5,250	4,290
Producción de Gas Natural; Compresores	RCS	20	5,547	1,075
En Proceso; Coque Bituminoso; Horno de Cemento	RNCS - Basada en Urea	50	1,280	1,280
En Proceso; Coque Bituminoso; Horno de Cal	RNCS - Basada en Urea	50	1,280	1,280
En Proceso; Coque Bituminoso; Genérico	RNCS	40	1,420	1,060
Uso de Combustible en Proceso; Aceite Residual; Gen.	QBN	37	6,010	1,690
Uso de Combustible en Proceso; Gas Natural; Gen.	QBN	50	5,250	4,290
En Proceso; Gas de Proceso; Horno de Coque/ Explosión	QBN + RGC	55	7,610	5,890
En Proceso; Gas de Proceso; Gas del Horno de Coque	QBN	50	5,250	4,290
Operaciones de Recubrimiento de Superficies; Calentadores de Recubr. de Superficies; Gas Natural	QBN	50	5,250	4,290
Residuos Tóxicos; Guv.; Otros Incineradores; Fango	RNCS	45	2,140	2,140

NOTA: *Los valores del costo por tonelada de fuentes pequeñas son utilizados para estimar los costos de control para todas las fuentes con emisiones de NO_x en 1995 por debajo de 1 tonelada diaria. Si el valor de base diario de NO_x en la temporada de ozono es de una tonelada o más, se utiliza el valor del costo por tonelada de las fuentes grandes.

N/A = no es aplicable. La población de motores de velocidad mediana que utilizan gasolina se consideran pequeños.

consumimos energía eléctrica como parte de nuestra economía de mercado, la generación de energía eléctrica también genera por encima del 40 por ciento de nuestros NO_x provenientes de fuentes estacionarias en 1995.³⁴

También necesitamos generar menos NO_x sin tomar en cuenta el nivel de ionización del nitrógeno. Actualmente en 1999, no somos capaces de hacer esto. Por lo tanto, debemos hacer lo mejor que podamos y esperar que aguantemos mientras buscamos el descubrimiento y la reducción de costo de la "tecnología mejor" que sea capaz de alcanzar el objetivo de sustentabilidad. El material de referencia sugiere que la tecnología de prevención de la contaminación y control de vanguardia en 1999 es capaz de alrededor de un 94 a 99 por ciento de control de NO_x o 1 a 5 ppm de NO_x .^{27,28}

Como todos conocemos, la tecnología a la vanguardia siempre cuesta más debido a que la ingeniería aún no ha cambiado de factibilidad a reducción de costo, y la competencia en la tecnología no está completamente desarrollada. Por lo tanto, podemos esperar que la tecnología sea más económica con el tiempo y también que mejore su capacidad. Deberíamos esperar observar un cambio de objetivo con el tiempo a medida que avanza la tecnología, y a medida que el objetivo alcanzable se vuelve más exigente y más posible económicamente. Una vez, las capacidades que tenemos hoy parecían más allá de la imaginación, y los costos parecían prohibitivos. Vivimos en un tiempo interesante donde la tecnología de prevención, reducción, y control de NO_x se está volviendo más capaz y más económica.

CONCLUSIONES

1. Los combustibles diversos requieren diferentes técnicas de combustión, reducción y control. Los carbones diversos poseen un contenido variable de ingredientes volátiles. El contenido de nitrógeno del combustible es importante, como lo son el contenido de azufre, plomo, mercurio y otros contaminantes. Se han desarrollado combustibles ultrabajos en nitrógeno y ya son competitivos en costo. De este modo, podemos lograr algún control de NO_x a partir de las concentraciones disminuidas de nitrógeno en el combustible sin invertir en diseños modificados de quemadores.²⁹
2. El diseño de la caldera, el motor de combustión interna, o la turbina de gas tiene un efecto principal en la operación. La formación de NO_x tiende a aumentar con un aumento de la capacidad de la caldera, debido a que las calderas más grandes tienden a tener una combustión más intensa con mayores temperaturas de combustión y un mayor tiempo de residencia para los gases de chimenea. Lo mismo parece ser cierto para los motores y las turbinas.
3. La escalonificación de la combustión es implícita en varias técnicas de prevención de la contaminación. La aplicación en conjunto (o el uso de tecnología de control híbrida) de técnicas de control de NO_x (primero RNCS, después RCS en el ducto, y después sorción antes del precipitador electrostático a lo que se le refiere como "lustrar") se ha utilizado para lograr una reducción en total de más de 90 por ciento del NO_x y 80 por ciento del SO_x , aún sin usar quemadores de bajo NO_x para disminuir la generación de NO_x .

4. La combustión de gas natural y destilados de petróleo puede ser controlada de una manera casi igual que la combustión de carbón pulverizado. Las mayores diferencias entre el carbón y el gas natural o aceite son que el gas y el aceite: (1) generalmente son más bajos en azufre y ceniza; (2) por lo general son más bajos en nitrógeno; y (3) probablemente son más bajos en plomo y mercurio. De este modo, el gas y el aceite no desactivan el catalizador usado en la reducción catalítica selectiva (RCS) a la misma velocidad que lo hacen el carbón o los combustibles semisólidos.
5. Los productos semisólidos de petróleo pueden en realidad tener niveles más altos de azufre, nitrógeno y otras impurezas que el carbón. No tienen tanto material carbonizado o ceniza como el carbón, pero tienen más que los destilados más ligeros.
6. Debemos esperar que tendencia en declive del costo de la tecnología de control continúe a medida que se adquiere experiencia, las técnicas de encendido se adaptan a los combustibles, las fallas en el diseño son corregidas, y aparecen nuevos diseños. Debemos esperar ver a los costos volverse menores por la competencia entre los proveedores de tecnologías con éxito.
7. La tecnología de control de NO_x parece capaz de más que sólo alcanzar el objetivo actual de la *EPA* y esto debe proporcionar créditos de emisión que pueden ser intercambiados con aquellas firmas que decidan continuar emitiendo emisiones controladas deficientemente. La venta de estos créditos por plantas sobrecontroladas pueden contrarrestar aún más cualquier costo neto que se incurra en adoptar estas tecnologías.
8. Los sistemas de control de NO_x ya se encuentran disponibles. La disponibilidad de estas tecnologías fue parte de la base del *NOx SIP Call* y los reglamentos del Título IV.
9. Ha habido una incentiva económica para hacer la combustión más eficiente y para innovar las maneras de controlar los óxidos de nitrógeno. Sin embargo, la cantidad de tiempo y dinero que debe ser invertida para una prueba a toda escala de una estrategia es significativa. La aceptación requiere que una tecnología se pruebe y tenga éxito antes de que aún se contemple una prueba a mayor escala. Esto demora la aceptación de técnicas mejoradas.
10. Parece no haber ninguna tecnología de control que sea claramente superior para todos los sistemas de combustión, calderas, motores, o combustibles. A falta de un ganador en claro, uno debe seleccionar combustibles y tecnología de control NO_x o ya sea entre aquéllas ya probadas, o de un número creciente de ideas nuevas y prometedoras.
11. El fin de la búsqueda de tecnologías de control todavía no está a la vista, y la búsqueda debe continuar. Las investigaciones en el pasado deben de necesidad dar respuestas ambivalentes, porque hay tantos factores conflictivos. Sin embargo, con un costo menor de \$150 por tonelada de NO_x prevenida y con hasta el 80 por ciento de eficiencia de control, el quemador de bajo NO_x , donde es aplicable, parece estar entre las tecnologías menos caras de control de emisiones. La RCS es más cara, pero se puede obtener hasta el 94 por ciento de eficiencia de control. La RNCS

puede ser adoptada sin el costo inicial de catalizador, aunque es algo menos efectiva. Las tecnologías de QBN, RCS y RNCS son todas viables a lo largo de un amplio espectro de aplicaciones.

10. La investigación y el desarrollo tendrán que continuar para buscar respuestas más efectivas y tratar de balancearlas contra el costo y la eficiencia. El costo se reducirá a medida que la tecnología avance, se adquiera experiencia en la operación, la competencia se agudice, las fallas en diseño se corrijan, y se vuelvan disponibles mejores diseños. La confiabilidad sólo se puede adquirir con el tiempo. El costo se reducirá con el tiempo y la experiencia. Además debemos esperar que el nivel de efectividad de la tecnología de prevención y control de la contaminación mejore con el tiempo.

REFERENCIAS:

1. Nitrogen Oxides

www.ccinet.ab.ca/casa/nitrogen.htm

2. Pollution Engineering Magazine Online

www.manufacturing.net...eng/archives/1995/pol10401.95/04adp3f0.htm

3. Alternative Control Techniques - Nitric Acid and Adipic Acid Manufacturing Plants

EPA 450/3-91-026

4. Bay Journal, July/August 1996

www.gmu.edu/bios/Bay/journal/96-08/ozone.htm

5. A Graphical Explanation of a regional Ozone Episode

capita.wustl.edu/otag/reports/03epi95/03epi95.html

6. XONON

www.catalytica-inc.com/cs/nox_control.html

7. Summary of NO_x Control Technologies and Their Availability and Extent of Application,

EPA 450/3-92-004

8. Sourcebook: NO_x Control Technology Data, EPA 600/2-91-029

9. Fully Engineered Approach to Acid Rain Control, F. Bauer, Energy Engineering, Vol. 91,

No.4, 1994

10. Alternate Control Techniques Document - NO_x Emissions from Cement Manufacturing

EPA-453/R-94-004

11. *Put a Lid on NO_x Emissions*, J. Czarnecki, C. Pereira, M. Uberoi, K. Zak, *Pollution Engineering*, November 1994
12. *Combined Corona/Catalyst Process for Low-Temperature NO_x Control*
es.epa.gov/ncercqa_abstracts/sbir/other/air/helfritch.html
13. *Reducing NO_x Emissions*, B. Chambers, *Glass Industry*, May 1993
14. *Marathon Monitors*
www.marathonmonitors.com/glassnox.htm
15. *Active Control of a Natural Gas-Fired Burner*
ucicl.eng.uci.edu/research/active-control/
16. *NICE3: More Electricity, Fewer Emissions from Coal-Fired Boilers*
es.epa.gov/program/p2dept/energy/nice3/nice3-2.html
17. *Gas Reburning for High Efficiency NO_x Control Boiler Durability Assessment*, B. A. Folsom, T. Sommer, D. Engelhardt, and S. Freedman, 96-RP139.04, *Air & Waste Management Assn.*
18. *Regulatory Developments in NO_x Controls for Utility Boilers*, C. Harrison, 96-RP139.03, *Air & Waste Management Assn.*
19. *Alternative Control Techniques Document -- NO_x Emissions from Stationary Reciprocating Internal Combustion Engines*, EPA 453/R-93-032
20. *Plasma versus Thermal Effects in Flue Gas NO_x Reduction Using Ammonia Radical Injection*, K. Chess, S. Yao, A. Russell and H. Hsu, *Journal of the Air & Waste Management Association*, August, 1995, p.627
21. *CNG Installing NO_x-reduction System in Compressor Stations*, *Oil & Gas Journal*, Sept. 26, 1994
22. *NO_x Control Technology Requirements Under the United States 1990 Clean Air Act Amendments Compare to Those in Selected Pacific Rim Countries*, C. A. Miller, R. Hall, R. Stern, EPA 600/A-94-259
23. *Nitrogen Oxides Control Technology Fact Book*, Leslie L. Sloss, Noyes Data Corp., 1992
24. *Alternate Control Techniques Document -- NO_x Emissions from Industrial/Commercial/Institutional (ICI) Boilers*, EPA 453/R-94-022

25. *EPA Region 3 Low-NO_x Control Technology Study*, K. Bruce, C. Castaldi, J. Cook, D. Lachapelle, Acurex Environmental Corporation, Acurex Report FR-97-116
26. *Analyzing Electric Power Generating Under the CAAA*, Office of Air and Radiation, 1998
27. *SNRB Catalytic Baghouse Laboratory Pilot Testing*, G. Akudlac, G. Farthing, T. Szymanski, R. Corbett, *Environmental Progress*, Vol.11, No. 1, 1992
28. *Cement Kiln NO_x Control*, A. McQueen, S. Bortz, M. Hatch, and R. Leonard, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 31, No. 1 January/February 1995
29. *States' Report on Nitrogen Oxides Reduction Technology Options for Application by the Ozone Transport Assessment Group*, OTAG, 1996
30. *Retrofit control technology reducing NO_x emissions*, S. Kuehn, *Power Engineering*, February, 1994
31. *Advanced emissions control brings coal back to New Jersey*, *Power*. 1994
32. *Overview of NO_x Emission Control for Utility Boilers*, J. E. Staudt, *Proceedings of the American Power Conference*, 1993
33. *Select the Right NO_x Control Technology*, S. Wood, *Chemical Engineering Progress*, January 1994
34. *Selective Catalytic Reduction Control of NO_x Emissions*, SCR Committee of Institute of Clean Air Companies, November 1997
35. *Selective Non-Catalytic Reduction for Controlling NO_x Emissions*, SNCR Committee of Institute of Clean Air Companies, October 1997
36. *Emission Control Potential for Heavy-Duty Diesel Engines*, OMS Fact Sheet, EPA 420-F-95-009b, June 1996, www.epa.gov/omswww/noxfact2.htm
37. *Effects of Biogenic Emission Uncertainties on Regional Photochemical Modeling of Control Strategies*, S. Roselle, Atmospheric Sciences Modeling Division, Air Resources Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, *Atmospheric Environment*, Vol. 28, No. 10, pp 1757-1772, 1994, Elsevier Science Ltd.
38. *Relationships Between Respiratory Disease and Exposure to Air Pollution*, G. Oberdorster, R. Gelein, C. Johnston, P. Mercer, N. Corson, and J. Finkelstein, *International Life Sciences Institute*, Washington DC, 1998, pp 216-229

39. *The SO_x-NO_x-RO_x-BO_x Flue Gas Cleanup Demonstration Project*
www.fe.doe.gov/coal_power/fs_snr.html
40. *Nitrogen Oxides: Impacts on Public Health and the Environment*, EPA 452/R-97-002
41. *Final Report, Volume II: Summary and Integration of Results*, OTAG Air Quality Analysis Workgroup, D. Guinnup and B. Collom
42. *Combined SO₂/NO_x*
www.worldbank.org/html/fpd/.../EA/mitigatn/thermair/aqsochsn.htm
43. *Cleaver-Brooks, Emissions*
www.cleaver-brooks.com/Emissions1.html
44. *Methods for Reducing NO_x Emissions*, C. Latta, Roy F. Weston Inc., *Plant Engineering*, September 1998
45. *Plasma Ignition System Reduces NO_x Emissions*, M. Manning, *Pipeline & Gas Journal*, October 1995, pp. 26-30
46. *Low-Emission Gas Turbines Using Catalytic Combustion*, S. Vatcha, *Energy Conversion Management*, Vol. 38 No. 10-13, pp. 1327-1334
47. *Factsheet: Phase I of the NO_x Reduction Program*
nsdi.epa.gov/acidrain/nox/noxfs.html
48. *Alternative Control Techniques Document -- NO_x Emissions from Stationary Reciprocating Internal Combustion Engines*. EPA-453/R-93-032, July 1993
49. *The Economic Feasibility of using Hydrogen Peroxide for the Enhanced Oxidation and Removal of Nitrogen Oxides from Coal-Fired Power Plant Flue Gases*, J. Hatwood, C. Cooper, *AWMA Journal*, March 1998
50. *Fossil Fuel Combustion, A Source Book*, W. Bartok and A. Sarofim, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons
51. *Maximum Achievable Control Technology for NO_x Emissions from Thermal Oxidation*, P. Natcher and D. Lewandowski, 94-WA74A.03, Air and Waste Management Association, Annual Meeting, Cincinnati, OH, June 19-24 1994
52. *GNOCIS - 1999 Update on the Generic NO_x Control Intelligent System*, G. Warriner, A.J.A. Sorge, M. Slatsky, J. Noblett, J. Stallings, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

53. *Obtaining Reduced NO_x and Improved Efficiency Using Advanced Empirical Optimization on a Boiler Operated in Load-Following Mode*, P. Patterson, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

54. *Simultaneous SO₂, SO₃, and NO_x Removal by Commercial Application of the EBA Process*, S. Hirano, S. Aoki, M Izutsu, and Y. Yuki, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

55. *The State of the Art in Cyclone Boiler Nox Reduction*, D. O'Connor, R. Himes, T, Facchiano, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

56. *Update on SNAP Technology for Simultaneous SO_x and NO_x Removal*, K. Felsvang, V. Boscak, S. Iversen, P. Anderson, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

57. *Advanced Reburning for SIP Call NO_x Control*, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium: The MEGA Symposium, Atlanta, August 1999

The Following are General Background References, which were used for general information. They were used in multiple places. The facts presented were also used to develop a consistent picture of NO_x generation and abatement technology in the face of many conflicting claims and pieces of data. They also were used to understand and reconcile the conflicts in data from different combustion devices.:

Performance of Selective Catalytic Reduction on Coal-fired Steam Generating Units, U.S. EPA., Acid Rain Division, 1997

Alternate Control Techniques Document - NO_x Emissions from Iron and Steel Mills
EPA-453/R-94-065

Nitrogen Chemistry and NO_x Control in a Fluid Catalytic Cracking Regenerator, X. Zhao, A. Peters, G. Weatherbee, *Industrial Engineering Chemical Research*, Vol.36, No. 11, 1997, American Chemical Society

Control of Combustion-Generated Nitrogen Oxide Emission: Technology Driven by Regulation, C. T. Bowman, *Twenty-fourth Symposium (International) on Combustion/ The Combustion Institute*, 1992, pp. 859-878

Advanced Biomass Reburning for High Efficiency NO_x Control
es.epa.gov/ncercq_abstracts/sbir/other/air/seeker.html

The Regional Transport of Ozone
www.epa.gov/ttn/otag/about_1.html

OTAG Analysis with PPM
www.epa.gov/capi/otagmain.html

About OTAG
envpro.ncsc.org/OTAGDC/about_otag.html

Air Quality Analysis Working Group
capita.wustl.edu/otag

Clean Air Technology News, Institute of Clean Air Companies, Summer 1998 and Winter 1998

Post Combustion Control of Oxides of Nitrogen Emissions from a 900 TPD Processed Refuse Fuel Boiler, J. Zakaria, L. Wolfenden, J. Mc Conlogue, G. Pierce, The 1994 National Waste Processing Conference, ASME, 1994

Cost Estimates for Selected Applications of NO_x Control Technologies on Stationary Combustion Boilers (Draft Report), The Cadmus Group, Inc. and Bechtel Power Corporation for U.S. EPA, March 1996.

Ozone Transport Rulemaking Non-Electric Generating Unit Cost Analysis, Prepared by Pechan-Avanti Group for U.S. EPA (Contract Nos. 68D40102 & 68D98052), September 17, 1998.

TECHNICAL REPORT DATA

(Please read Instructions on reverse before completing)

1. REPORT NO. EPA-456/F-00-002	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.
4. TITLE AND SUBTITLE Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ¿ Por Qué y Cómo Controlan?	5. REPORT DATE November 1999	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE
	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
7. AUTHOR(S)	10. PROGRAM ELEMENT NO.	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS Clean Air Technology Center (MD-12) Information Transfer and Program Integration Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711	11. CONTRACT/GRANT NO.	
	12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED Final
14. SPONSORING AGENCY CODE		15. SUPPLEMENTARY NOTES For more information, call the CATC Information Line at (919) 541-0800 or access the CATC Web page at www.epa.gov/ttn/catc
16. ABSTRACT This is the Spanish version of EPA-456/F-99-006a. The purpose of this document is to educate people about nitrogen oxides, how they are formed, the danger that they represent, and how emissions can be controlled. This knowledge is needed to make an informed choice of the control technology that is to be used.		
17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS		
a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, dinitrogen pentoxide, nitrous acid, nitric acid, ozone, volatile organic compounds, VOC, generation, pollution prevention, control technology, control technologies, emission control, acid rain, combustion, boilers, gas turbines, internal combustion engines, cost of emission controls, air pollution	air pollution control technology, combustion, pollution prevention, nitrogen oxides, boilers, internal combustion engines, diesel engines	
18. DISTRIBUTION STATEMENT Release Unlimited, Available from the OAQPS TTN Web Page and NTIS	19. SECURITY CLASS (<i>Report</i>) Unclassified	21. NO. OF PAGES
	20. SECURITY CLASS (<i>Page</i>) Unclassified	22. PRICE

BACHARACH[®]

MONOXOR[®] II

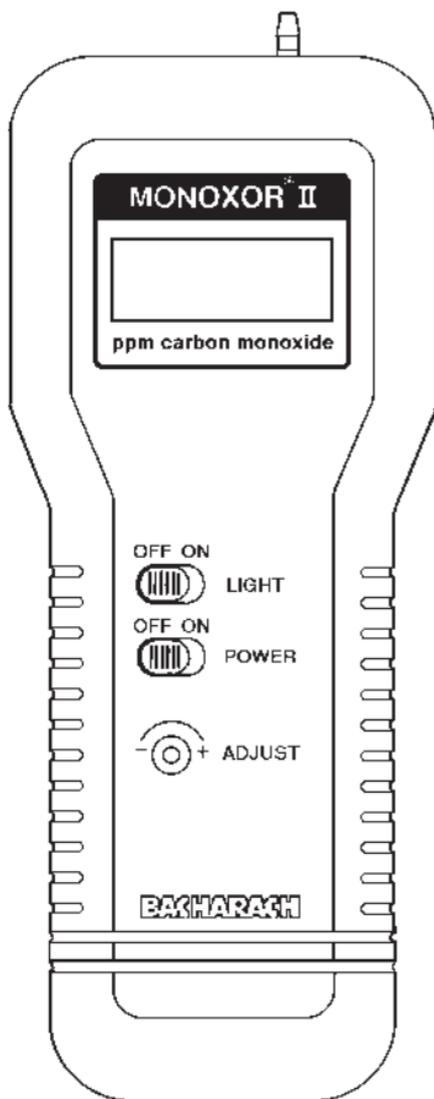
INSTRUCTION 19-9113

Portable CO Analyzer



Part No. 19-7034 & 19-7039

Rev. 7 - April 2007



Bacharach, Inc.

621 Hunt Valley Circle, New Kensington, PA 15068

PH: 724-334-5000 • FAX: 724-334-5001 • Web: www.bacharach-inc.com

E-mail: help@bacharach-inc.com

WARRANTY

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that at the time of delivery this Product will be free from defects in material and manufacture and will conform substantially to Bacharach Inc.'s applicable specifications. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty are limited to the repair or replacement, at Bacharach's option, of this Product or parts thereof returned to Seller at the factory of manufacture and shown to Bacharach Inc.'s reasonable satisfaction to have been defective; provided that written notice of the defect shall have been given by Buyer to Bacharach Inc. within one (1) year after the date of delivery of this Product by Bacharach, Inc.

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that it will convey good title to this Product. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty of title are limited to the removal of any title defects or, at the election of Bacharach, to the replacement of this Product or parts thereof that are defective in title.

All expendable items, such as electrochemical sensors, are warranted for a period of six months.

THE FOREGOING WARRANTIES ARE EXCLUSIVE AND ARE GIVEN AND ACCEPTED IN LIEU OF (I) ANY AND ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE: AND (II) ANY OBLIGATION, LIABILITY, RIGHT, CLAIM OR REMEDY IN CONTRACT OR TORT, WHETHER OR NOT ARISING FROM BACHARACH'S NEGLIGENCE, ACTUAL OR IMPLIED. The remedies of the Buyer shall be limited to those provided herein to the exclusion of any and all other remedies including, without limitation incidental or consequential damages. No agreement varying or extending the foregoing warranties, remedies or this limitation will be binding upon Bacharach, Inc. unless in writing, signed by a duly authorized officer of Bacharach.

Declaration of Conformity

Manufacturer's Name: Bacharach, Inc.
Manufacturer's Address: 621 Hunt Valley Circle
New Kensington, PA 15068

Product Name: MONOXOR II

Conforms to the following product specifications

EMC: European Directive 89/336/EEC
EN 500081-1 (Emissions)
EN 500082-1 (Immunity)

WARNING!

Because this instrument is used to detect and monitor materials and conditions which are listed by OSHA or others as potentially hazardous to personnel and property, the information in this manual must be fully understood and utilized to ensure that the instrument is operating properly and is both used and maintained in the proper manner by qualified personnel. An instrument that is not properly calibrated, operated and maintained by qualified personnel is likely to provide erroneous information, which could prevent user awareness of a potentially hazardous situation for the instrument user, other personnel and property.

If, after reading the information in this manual, the user has questions regarding the operation, application or maintenance of the instrument, supervisory or training assistance should be obtained before use. Assistance is available by calling your nearest Bacharach Service Center.

1 INTRODUCTION

The Monoxor® II is a commercial-grade portable instrument designed to display concentrations of carbon monoxide (CO) gas between 0 and 2000 ppm. This instrument shows the presence of CO in a gas sample by drawing the sample into its sensor chamber by a built-in motorized pump. Part #19-7034 comes with a probe. Part #19-7039 comes without a probe (All non-probe related functions remain the same in this instruction).

Other features and accessories of the Monoxor II include: A large, back-lit Liquid Crystal Display (LCD), which allows the display to be read in any lighting condition from direct sun-light to total darkness; a semi-detachable elastic strap that permits the instrument to be either hand held, or hung on nearby objects; a rigid stainless steel probe with handle, connected to a flexible hose that allows gas samples to be taken from cramped and confined areas (alternate probes and condensate traps may be used).

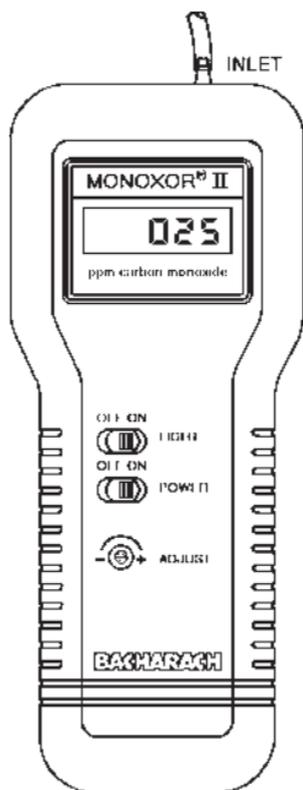


Figure 1. Monoxor II

2 TECHNICAL CHARACTERISTICS

CO Display Range	0-1999 ppm CO
Accuracy	± 10 ppm or $\pm 5\%$ of reading whichever is greater*
Response Time.....	90% of final value within 40 sec.
Battery Requirements.....	1.5 V, "C" cells, Qty. 4
Operating Time**	14 to 16 hours, alkaline cells
Operating Temp. Range	23 to 104°F (-5 to 40°C)
Relative Humidity	10 to 85% non-condensing
Weight (w/o batteries).....	12 ozs. (341 grams)
Dimensions	8.6 x 3.5 x 2.9 in. (218 x 89 x 74 mm)

* Tighter accuracy in the lower ranges, up to ± 2 ppm, may be attained if lower range calibration gases (eg. 100 ppm) are utilized.

** Times are with the backlight turned off. Continuous use of the backlight will decrease battery life.

3 PREPARING THE MONOXOR II FOR OPERATION

To prepare the instrument for operation, you must install four "C" size batteries, and (if desired) install the hose and probe as described in the following paragraphs.

For your convenience, and to ensure that the instrument will provide reliable CO indications, the CO sensor is installed and the instrument calibrated on 500 ppm of CO at the factory.

3.1 Battery Installation

Detach the elastic strap's metal clip at the bottom of the instrument, and slide off the battery cover as shown in Figure 2. Then while observing proper battery polarity, install four "C" size batteries into the instrument's battery compartment. (Recommended battery types: Duracell Alkaline or equivalent). After the batteries are installed, replace the battery cover and the elastic-strap clip.

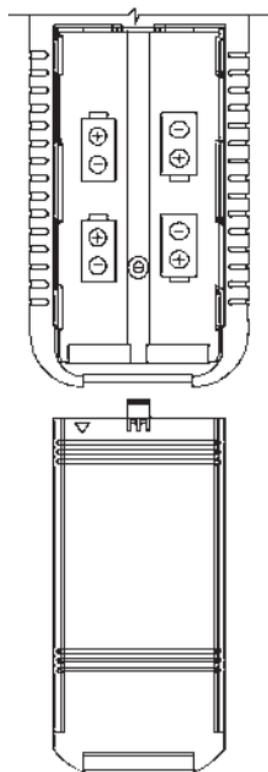


Figure 2. Battery Installation

If batteries are accidentally installed in the wrong polarity, a positive temperature coefficient (PTC) thermistor will protect the instrument's electronic circuitry. The instrument will operate once batteries are properly installed and the PTC thermistor is allowed to cool.

3.2 Probe Installation

Install the probe by sliding the end of its tubing over the gas inlet port on the top right side of the instrument as shown in Figure 3. The tubing may be difficult to slide over the gas inlet port of the unit for the first time. This was done intentionally to allow for a snug fit. If necessary, use a little dish washing liquid diluted in water or heat the end of the tube with hot tap water to help it slide onto the port.

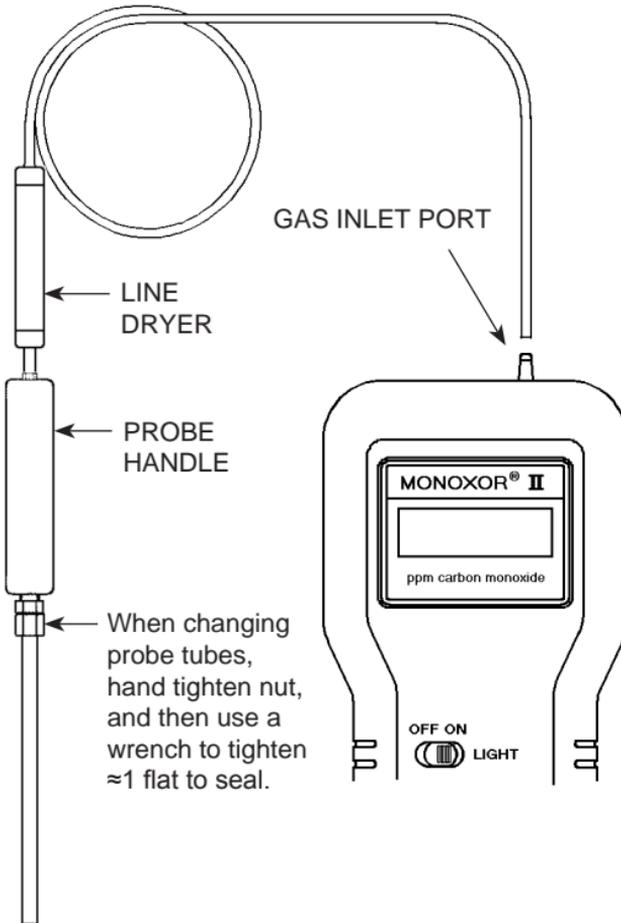


Figure 3. Probe Installation

4 OPERATION

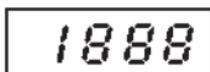
To operate the Monoxor II, you simply . . .

- Set its POWER switch to ON,
- Wait for the instrument to warm up (approx. 1 minute),
- Zero the display (if necessary),
- Take a gas sample.

Detailed operating procedures are presented below:

4.1 Power ON/OFF

Turn on the instrument by sliding its POWER switch to ON. Observe that when power is first applied, all numerical LCD segments are tested for 5–15 seconds; after which, the LCD shows the detected CO level. (A minus sign may appear during power up as the sensor stabilizes.) Turn off the instrument by sliding the POWER switch to OFF.



Important! *When storing the instrument for extended periods of time, remove the batteries and ensure that the POWER switch is OFF. The OFF position places a short across the CO sensor, thus keeping the sensor from being destabilized while not in use.*

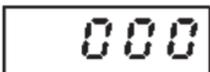
4.2 Zeroing the Instrument

After being turned on and warmed up for at least 1 minute, the instrument should indicate 000 ± 5 ppm in fresh air. If the instrument needs to be zeroed, proceed as follows:

1. Ensure that the instrument is sampling air that is free of Carbon Monoxide.

NOTE: *If the instrument was zeroed in an area where CO was present, a large **negative** CO display appears.*

2. Using a 1/8" flat-blade screwdriver, turn the ADJUST potentiometer until the LCD shows 0 ppm. The display shows negative numbers for zeroing purposes. *An instrument can be considered zeroed with a display bounce of up to ± 3 ppm.*



4.3 Backlight ON/OFF

The LCD can be read in low-light areas by setting the front panel LIGHT switch to ON. The backlight stays on until turned off, or until the POWER switch is set to OFF.

4.4 Using the Strap

The instrument's elastic strap allows the unit to be either hand-held, or hung on nearby objects.

By sliding your hand between the instrument and its elastic strap, you can hold onto the Monoxor II with a minimum of effort. The instrument's front panel slide switches can then be actuated by your thumb for one-handed operation. Or, by releasing the metal clip at the bottom of the instrument's case, you can hang the instrument by its strap on nearby objects such as nails, sheet metal, or valve handles.

4.5 Using the Probe

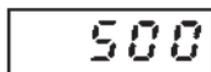
A rigid stainless steel probe with handle is used to draw a gas sample from the room, grilles, diffusers, and furnace flues through a line dryer and flexible hose into the instrument. A flexible probe option (see Section 6) is available to give easy access to hot-water heater flues and inside furnace heat exchangers.

The probe tube is detachable from the handle when sampling with a different probe is desired. See Figure 3.

Important! *The line-dryer will remove moisture from the gas sample. If the line-dryer becomes saturated, however, condensation may be observed within the hose. If this occurs, stop sampling and replace the line-dryer's filter-packing material.*

4.6 Interpreting the Display

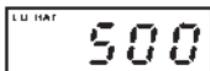
Gas Display The LCD shows CO levels in the range from 0 to 1999 ppm. The display on the right indicates a CO level of 500 ppm.



Overrange When the gas sample exceeds 1999 ppm, a “1” is displayed on the LCD. To clear an overrange condition, leave instrument turned on and sample fresh air until the LCD returns to displaying CO.



Low Battery Indications When the battery voltage becomes low, the “LO BAT” indicator appears. Although the instrument will continue to operate and give CO readings under these conditions, the batteries should be replaced as soon as possible.



When battery voltage becomes too low for the instrument to operate, a “-1” is displayed on the LCD. No CO readings are provided under these conditions.



4.7 Long-Term Storage

When storing the Monoxor II for extended periods of time, set its POWER switch to OFF and remove the batteries. The POWER OFF position places a short across the CO sensor, thus keeping it from being destabilized while not in use.

5 MAINTENANCE

The Monoxor II needs to be calibrated at regular intervals to be certain that it still meets its accuracy specification. A regular calibration schedule should be established between you and your nearest Bacharach Service Center, unless your facility has the necessary calibration equipment and personnel trained in the maintenance of gas-detection equipment. Detailed calibration, maintenance procedures and replacement parts lists are provided in the Service Manual (19-9166).

As a quick check of the instrument’s operation, perform a response check by exposing the instrument to a source of CO (e.g., cigarette smoke, smoke from a recently snuffed-out match, bottled CO). If the instrument doesn’t show the presence of CO, or if the reading is obviously in error, DO NOT use the instrument until it has been serviced by an authorized Bacharach Service Center.

NOTE: DO NOT use this simple response check as a substitute for ensuring the instrument is properly calibrated.

6 PARTS / SERVICE

6.1 Parts/Accessories List

Item	Part No.
Battery Cover	19-3029
Probe/Hose/Line Dryer Assy.	19-3084
Flexible Probe Tube (optional)	19-3104
Line Dryer Filter Packing	11-0122

6.2 Bacharach Sales / Service Centers

United States

Bacharach, Inc.
621 Hunt Valley Circle
New Kensington, PA 15068
Phone: 724-334-5051
Fax: 724-334-5723
Email: help@bacharach-inc.com

Canada

Bacharach of Canada, Inc.
250 Shields Court Unit #3
Markham, Ontario L3R 9W7
Canada
Phone: 905-470-8985
Fax: 905-470-8963
Email: bachcan@idirect.com

México

Bacharach de México
Playa Regatas No. 473 Tercer Piso
Col. Militar Marte
Delegación Iztacalco, 08830
México D.F. México
Phones: +52-555-634-7740
+52-555-634-7741
Fax: +52-555-634-7738
Email: bacharachservicio@
bacharach.com.mx

7 HAZARDS OF CARBON MONOXIDE

Carbon monoxide poisoning results in headache, nausea, chronic tiredness, confusion, dizziness, and sometimes coma or death. It effects people by cutting off the supply of oxygen to their muscles and brain. The harmful effects of carbon monoxide exposure depend on both the concentration of CO in the air and the length of exposure.

Concentration of CO in air	Inhalation time and toxic symptoms developed
50 ppm* (0.005%)	Maximum allowable concentration for continuous exposure in any 8-hour period.
200 ppm* (0.02%)	Slight headache, tiredness, dizziness, nausea after 2–3 hours.
400 ppm (0.04%)	Frontal headaches within 1–2 hours, life-threatening after 3 hours.
800 ppm (0.08%)	Dizziness, nausea and convulsions within 45 minutes. Unconsciousness within 2 hours. Death within 2–3 hours.
1,600 ppm (0.16%)	Headache, dizziness and nausea within 20 minutes. Death within 1 hour.
3,200 ppm (0.32%)	Headache, dizziness and nausea within 5–10 minutes. Death within 30 minutes.
6,400 ppm (0.64%)	Headache, dizziness and nausea within 1–2 minutes. Death within 10–15 minutes.
12,800 ppm (1.28%)	Death within 1–3 minutes.

For more information on CO ask about Bacharach's CO Regional Training Seminars.

**Maximum CO concentration for exposure at any time as prescribed by OSHA. Effects can vary significantly based on age, sex, weight and overall state of health.*

BACHARACH[®]

NONOXOR[®] II

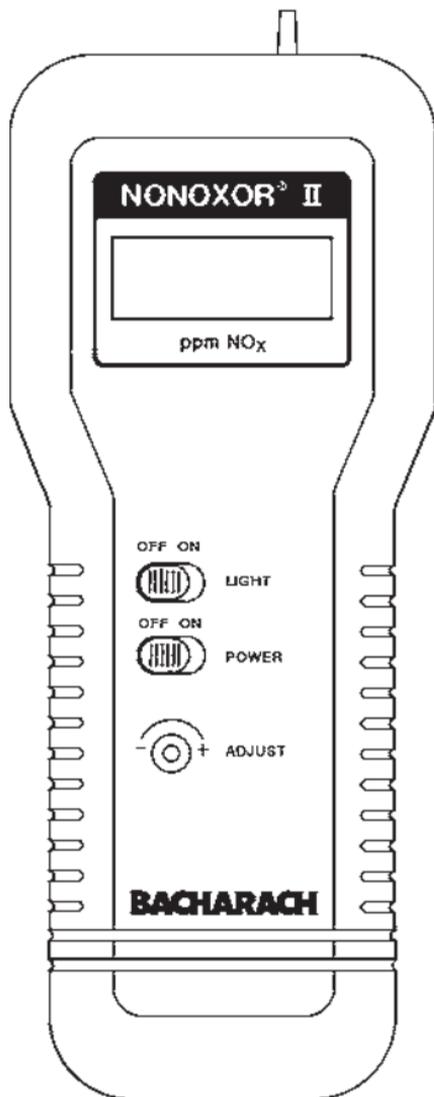
INSTRUCTION 19-9120

Portable NO_x Analyzer



Part No. 19-7036 & 19-7042

Rev. 7 - April 2007



Bacharach, Inc.

621 Hunt Valley Circle, New Kensington, PA 15068

PH: 724-334-5000 • FAX: 724-334-5001 • Web: www.bacharach-inc.com

E-mail: help@bacharach-inc.com

WARRANTY

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that at the time of delivery this Product will be free from defects in material and manufacture and will conform substantially to Bacharach Inc.'s applicable specifications. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty are limited to the repair or replacement, at Bacharach's option, of this Product or parts thereof returned to Seller at the factory of manufacture and shown to Bacharach Inc.'s reasonable satisfaction to have been defective; provided that written notice of the defect shall have been given by Buyer to Bacharach Inc. within one (1) year after the date of delivery of this Product by Bacharach, Inc.

Bacharach, Inc. warrants to Buyer that it will convey good title to this Product. Bacharach's liability and Buyer's remedy under this warranty of title are limited to the removal of any title defects or, at the election of Bacharach, to the replacement of this Product or parts thereof that are defective in title.

All expendable items, such as electrochemical sensors, are warranted for a period of six months.

THE FOREGOING WARRANTIES ARE EXCLUSIVE AND ARE GIVEN AND ACCEPTED IN LIEU OF (I) ANY AND ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE; AND (II) ANY OBLIGATION, LIABILITY, RIGHT, CLAIM OR REMEDY IN CONTRACT OR TORT, WHETHER OR NOT ARISING FROM BACHARACH'S NEGLIGENCE, ACTUAL OR IMPLIED. The remedies of the Buyer shall be limited to those provided herein to the exclusion of any and all other remedies including, without limitation incidental or consequential damages. No agreement varying or extending the foregoing warranties, remedies or this limitation will be binding upon Bacharach, Inc. unless in writing, signed by a duly authorized officer of Bacharach.

Declaration of Conformity

Manufacturer's Name: Bacharach, Inc.
Manufacturer's Address: 621 Hunt Valley Circle
New Kensington, PA 15068

Product Name: NONOXOR II

Conforms to the following product specifications

EMC: European Directive 89/336/EEC
EN 500081-1 (Emissions)
EN 500082-1 (Immunity)

WARNING!

Because this instrument is used to detect and monitor materials and conditions which are listed by OSHA or others as potentially hazardous to personnel and property, the information in this manual must be fully understood and utilized to ensure that the instrument is operating properly and is both used and maintained in the proper manner by qualified personnel. An instrument that is not properly calibrated, operated and maintained by qualified personnel is likely to provide erroneous information, which could prevent user awareness of a potentially hazardous situation for the instrument user, other personnel and property.

If, after reading the information in this manual, the user has questions regarding the operation, application or maintenance of the instrument, supervisory or training assistance should be obtained before use. Assistance is available by calling your nearest Bacharach Service Center.

1 INTRODUCTION

The Nonoxor® II is a commercial-grade portable instrument designed to display oxide of nitrogen (NO_x) concentrations gas between 0 and 2000 ppm. This instrument shows the level of NO_x in a gas sample by drawing the sample into its sensor chamber by a built-in motorized pump. Part #19-7036 comes with a probe. Part #19-7042 comes without a probe (All non-probe related functions remain the same in this instruction).

Other features and accessories of the Nonoxor II include: A large, back-lit Liquid Crystal Display (LCD), which allows the display to be read in any lighting condition from direct sun-light to total darkness; a semi-detachable elastic strap that permits the instrument to be either hand held, or hung on nearby objects; a rigid stainless steel probe with handle, connected to a flexible hose that allows gas samples to be taken from cramped and confined areas (alternate probes and condensate traps may be used).

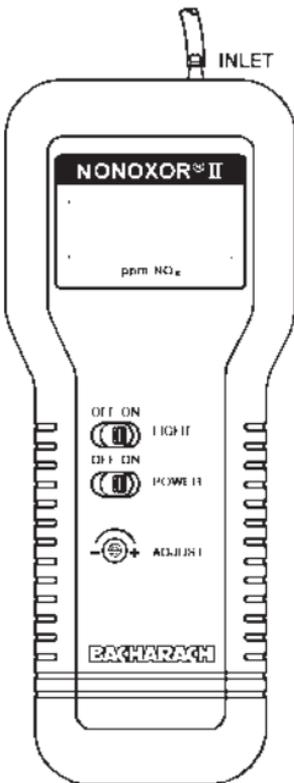


Figure 1. Nonoxor® II

2 TECHNICAL CHARACTERISTICS

NO _x Display Range	0-1999 ppm NO _x
Accuracy	±10 ppm or ±5% of reading whichever is greater
Response Time.....	90% of final value within 40 sec.
Battery Requirements.....	1.5 V, "C" cells, Qty. 4
Operating Time*	14–16 hours, alkaline cells
Operating Temp. Range	23 to 104°F (-5 to 40°C)
Relative Humidity	10–85% non-condensing
Weight (w/o batteries).....	12 ozs. (341 grams)
Dimensions	8.6 x 3.5 x 2.9 in. (218 x 89 x 74 mm)

* *Times are with the backlight turned off. Continuous use of the backlight will decrease battery life.*

3 PREPARING THE NONOXOR II FOR OPERATION

To prepare the instrument for operation, you must install four "C" size batteries, and (if desired) install the hose and probe as described in the following paragraphs.

For your convenience, and to ensure that the instrument will provide reliable NO_x indications, the NO_x sensor is installed and the instrument calibrated on a known nitric oxide concentration at the factory.

3.1 Battery Installation

Detach the elastic strap's metal clip at the bottom of the instrument, and slide off the battery cover as shown in Figure 2. Then while observing proper battery polarity, install four "C" size batteries into the instrument's battery compartment. (Recommended battery types: Duracell Alkaline or equivalent). After the batteries are installed, replace the battery cover and the elastic-strap clip.

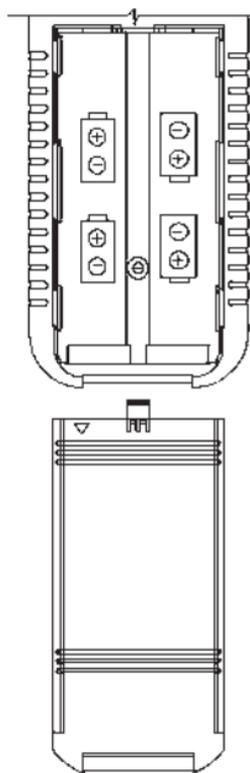


Figure 2. Battery Installation

If batteries are accidentally installed in the wrong polarity, a positive temperature coefficient (PTC) thermistor will protect the instrument's electronic circuitry. The instrument will operate once batteries are properly installed and the PTC thermistor is allowed to cool.

3.2 Probe Installation

Install the probe by sliding the end of its tubing over the gas inlet port on the top right side of the instrument as shown in Figure 3. The tubing may be difficult to slide over the gas inlet port of the unit for the first time. This was done intentionally to allow for a snug fit. Use a little dish washing liquid diluted in water or heat the end of the tube in hot tap water to help it slide onto the port.

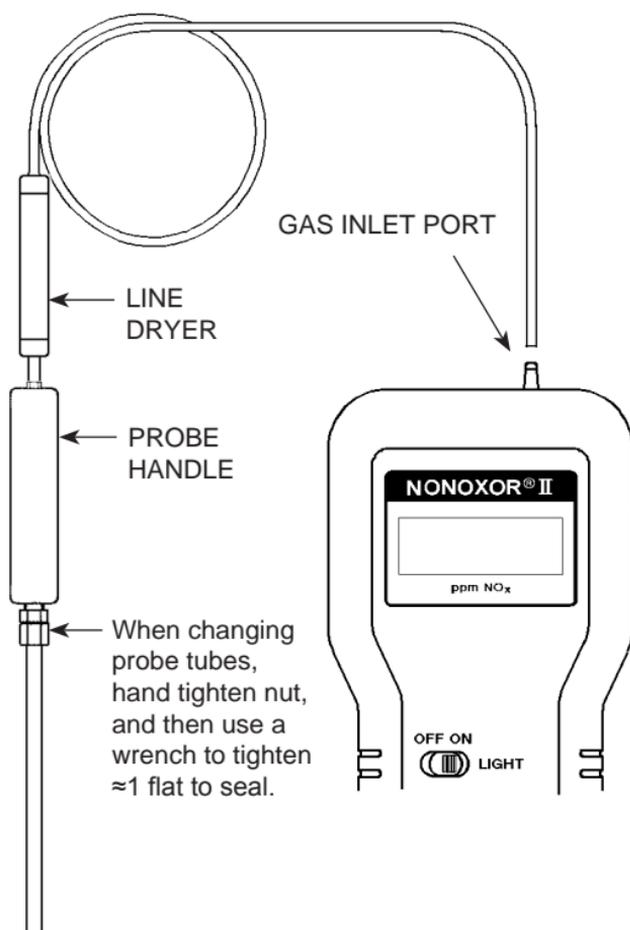


Figure 3. Probe Installation

4 OPERATION

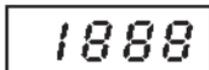
To operate the Nonoxor II, you simply . . .

- Set its POWER switch to ON,
- Wait for the instrument to warm up (approx. 1 minute),
- Zero the display (if necessary),
- Take a gas sample.

Detailed operating procedures are presented below:

4.1 Power ON/OFF

Turn on the instrument by sliding its POWER switch to ON. Observe that when power is first applied, all numerical LCD segments are tested for 5-15 seconds; after which, the LCD shows the detected NO_x level. (A minus sign may appear during power up as the sensor stabilizes.) Turn off the instrument by sliding the POWER switch to OFF.



Important! *Bias voltage must be maintained on the sensor at all times in order to ensure proper NO_x readings. This means that there must be good batteries installed in the instrument even when it's switched off. If the batteries go dead, or are removed, the sensor will need to restablize (see Section 4.7) after the installation of fresh batteries.*

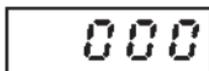
4.2 Zeroing the Instrument

After being turned on and warmed up for at least 1 minute, the instrument should indicate 000 ± 2 ppm in fresh air. If the instrument needs to be zeroed, proceed as follows:

1. Ensure that the instrument is sampling air that is free of NO .

NOTE: *An indication that the instrument was not zeroed in fresh air is when a large negative NO_x display appears when the instrument is moved into another area.*

2. Using a 1/8" flat-blade screwdriver, turn the ADJUST potentiometer until the LCD shows 0 ppm. The display shows negative numbers for zeroing purposes. *An instrument can be considered zeroed with a display bounce of up to ± 2 ppm.*



4.3 Backlight ON/OFF

The LCD can be read in low-light areas by setting the front panel LIGHT switch to ON. The backlight stays on until turned off, or until the POWER switch is set to OFF.

4.4 Using the Strap

The instrument's elastic strap allows the unit to be either hand-held, or hung on nearby objects.

By sliding your hand between the instrument and its elastic strap, you can hold onto the Nonoxor II with a minimum of effort. The instrument's front panel slide switches can then be actuated by your thumb for one-handed operation. Or, by releasing the metal clip at the bottom of the instrument's case, you can hang the instrument by its strap on nearby objects such as nails, sheet metal, or valve handles.

4.5 Using the Probe

A rigid stainless steel probe with handle is used to draw a gas sample from the room, boilers, and other combustible furnaces through a line dryer and flexible hose into the instrument. A flexible probe option (see Section 6) is also available.

The probe tube is detachable from the handle when sampling with a different probe is desired. See Figure 3.

Important! *The line-dryer will remove moisture from the gas sample. If the line-dryer becomes saturated, however, condensation may be observed within the hose. If this occurs, stop sampling and replace the line-dryer's filter-packing material.*

4.6 Interpreting the Display

Gas Display The LCD shows NO_x levels in the range from 0 to 1999 ppm. The display on the right indicates an NO_x level of 40 ppm.



Overrange When the gas sample exceeds 1999 ppm, a "1" is displayed on the LCD. To clear an overrange condition, leave instrument turned on and sample fresh air until the LCD returns to displaying NO_x.



Low Battery Indications When the battery voltage becomes low, the “LO BAT” indicator appears. Although the instrument will continue to operate and give NO_x readings under these conditions, the batteries should be replaced as soon as possible.



When battery voltage becomes too low for the instrument to operate, a “-1” is displayed on the LCD. No NO_x readings are provided under these conditions.



4.7 Long-Term Storage

Bias voltage must be maintained on the sensor at all times in order to ensure proper NO_x readings. This means that there must be good batteries installed in the instrument even when it's switched off. If the batteries go dead, or are removed, the sensor will need to restablize after the instillation of fresh batteries. Restabilization times vary proportionally to the amount of time the sensor is left without power. See Table 4-1 for typical restabilization times.

Table 4-1. Sensor Restabilization Times

Time without Power	Typical Restabilization Times
Less than 15 min.	Less than 1 min.
Less than 1 Hr.	Less than 5 min.
Less than 2 days	Less than 4 hr.
Greater than 2 days	Up to 2 days

5 MAINTENANCE

The Nonoxor II needs to be calibrated at regular intervals to ascertain that it still meets its accuracy specification. A regular calibration schedule should be established between you and your nearest Bacharach Service Center, unless your facility has the necessary calibration equipment and personnel trained in the maintenance of gas-detection equipment. Detailed calibration procedures are provided upon request from the factory. Detailed maintenance procedures and parts lists are provided in the Service Manual (19-9166).

6 PARTS / SERVICE

6.1 Parts List

Item	Part No.
Battery Cover	19-3029
Probe/Hose/Line Dryer Assy.	19-3084
Flexible Probe Tube (optional)	19-3104
Line Dryer Filter Packing	11-0122

6.2 Bacharach Sales / Service Centers

United States

Bacharach, Inc.
621 Hunt Valley Circle
New Kensington, PA 15068
Phone: 724-334-5051
Fax: 724-334-5723
Email: help@bacharach-inc.com

Canada

Bacharach of Canada, Inc.
250 Shields Court Unit #3
Markham, Ontario L3R 9W7
Canada
Phone: 905-470-8985
Fax: 905-470-8963
Email: bachcan@idirect.com

México

Bacharach de México
Playa Regatas No. 473 Tercer Piso
Col. Militar Marte
Delegación Iztacalco, 08830
México D.F. México
Phones: +52-555-634-7740
 +52-555-634-7741
Fax: +52-555-634-7738
Email: bacharachservicio@bacharach.com.mx

7 PROPERTIES & HAZARDS OF OXIDES OF NITROGEN

Properties:

Nitric oxide (NO) at room temperature is a colorless, non-flammable, toxic gas that when mixed with air forms brown fumes of nitrogen dioxide (NO₂), which is extremely reactive and a strong oxidizing agent.

In light commercial and residential combustion applications, nitric oxide gas is typically present with nitrogen dioxide in a ratio of one part NO₂ to nineteen parts NO. At normal ambient temps., nitric oxide combines with atmospheric oxygen to form nitrogen dioxide at a rate dependent on the concentration of oxygen and the square of the concentration of the concentration of nitric oxide.

Physiological Effects:

Nitric oxide, with the attendant formation of nitrogen dioxide, results in a strong respiratory irritant, which may be fatal. Symptoms may be moderate at first, and include tightness in the chest, headaches, irritation of the eyes, nausea, and a slow loss of strength. Delayed symptoms may be severe and cause increased difficulty in breathing, and pulmonary edema (abnormal fluid buildup in the lungs). Untreated cases could lead to eventual death.

PPM Level Attributes:

25 ppm - Eight-hour time-weighted average (TWA) exposure limit set by (OSHA)^{[1][2]}.

100 to 150 ppm - Exposure for 30-60 min. could lead to delayed pulmonary edema.

200 to 700 ppm - A few breaths may result in fatal pulmonary edema after 5-8 hours have passed.

First Aid:

Move the victim to fresh air and administer oxygen. If breathing has stopped, give artificial respiration. The main objective of the treatment is to provide an adequate supply of oxygen to the tissues so as to prevent, or at least minimize, the development of pulmonary edema. Oxygen must be supplied as soon as possible in amounts adequate to maintain the normal color of the skin and mucous membranes. Seek medical attention immediately.

References:

[1] *Code of Federal Regulations*, Title 19 CFR Parts 1900-1910 (Labor), Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

[2] *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 1989-90 ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 6500 Glenway Ave., Bldg. D-7, Cincinnati, OH 45211.