

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE GAS



“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE COV DE LOS SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN”

REALIZADO POR:
ING. QUÍM. FRANCELIS C. CÓRCEGA LEIVA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE GAS

BARCELONA, ABRIL 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE GAS



“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE COV DE LOS SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN”

Ing. Químico Francelis C. Córcega Leiva

Autor

Firma

Revisado y aprobado por:

Ing. Químico Oly Guerra (M. Sc.)

Asesor Académico

Firma

Ing. Forestal Javier Oliveros

Asesor Industrial

Firma

BARCELONA, ABRIL 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE GAS



“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE COV DE LOS SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN”

Jurado:

Ing. Químico Oly Guerra (M. Sc.)
Asesor Académico

Ing. Forestal Javier Oliveros
Asesor Industrial

Ing. Químico Maritza Millán (M. Sc.)
Jurado

Ing. Mecánico Orlando M. Ayala (Ph. D.)
Jurado

BARCELONA, ABRIL 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los trabajos de grado son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento expreso del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario.”

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

Dios, Señor de todo el universo, mi príncipe Franco de Jesús, mi rey Fernando Javier, mis padres Ofelia y Arquímedes, mi hermanita Fabi, mi abuelita Chica Leiva, y mis compañeros de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

En los grandes pasos que he dado en mi vida hay algunas personas que siempre están presentes, hoy a mis veintiocho años de edad, debo agradecerles por acompañarme a lo largo de este camino que afortunadamente he recorrido, camino que me ha hecho crecer, madurar y ver que lo más importante no es alcanzar la felicidad como una utopía, a medida que crecemos nos involucramos más en este complejo mundo social, nos ponemos barreras. Cuando aprendamos que la felicidad está aquí, no es un sueño lejano, es nuestra cuando nos dedicamos a apreciar los pequeños detalles: una sonrisa, un cariño, una mirada, una palmada en el hombro, una mano extendida, una palabra de aliento, entonces, hay mucho que agradecer.....

Escribir en una página todas las personas que de alguna u otra forma me ayudaron para que este producto sea lo que ustedes pueden apreciar, sería imposible, pero sí les voy a hacer mención de quienes tienen un reconocimiento especial:

Dios, el Todopoderoso, mi madre Ofelia, la persona con más paciencia que he conocido, mi esposo Fernando, por tu amor y en especial por esa llamada telefónica, a mi niño Franco por cambiarme mi vida y regalarme cada día alegría, a mi padre Arquímedes, por brindarme la educación que hoy tengo, a mi abuelita Chica, con su gran energía, a Fabi, mi nita, con tu carácter particular, siempre siempre, has estado allí cuando te necesito, a mis tutores Oly y Javier, por su orientación y guía durante este trabajo, a mis amigos, a mis compañeros de trabajo. Muchas Gracias!!!!!!

Recuerden, la tierra es la casa que le dejaremos a nuestros hijos,
debemos cuidarla....

RESUMEN

En la planta de Extracción San Joaquín se tienen instalados dos sistemas de deshidratación del gas con trietilenglicol, compuesto afín a la absorción de aromáticos, entre ellos los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno), sustancias altamente tóxicas para los seres humanos. Los BTEX pertenecen a los compuestos orgánicos volátiles (COV), conjuntamente con otros hidrocarburos. Cuando el glicol se regenera se emanan al ambiente los COV absorbidos en la torre contactora. En este estudio se determinó teóricamente que la emisión de COV es de 21656,8 kg/d, excediendo los límites establecidos por el Decreto venezolano 638 y la "Clean Air Act" de EEUU. Se realizó un análisis de dispersión a cada una de las corrientes de tope de los rehervidores, obteniéndose que el benceno, compuesto cancerígeno, es el contaminante de mayor alcance (Tren A= 85,86 m, Tren B= 81,59 m), y según los cálculos teóricos se puede encontrar a nivel de suelo en condiciones atmosféricas promedio. Se compararon los límites de exposición establecidos por la norma COVENIN 2253:2001 y la "OSHA". Adicionalmente, se realizaron recomendaciones para disminuir las emisiones en las condiciones de operación actual y se desarrolló una propuesta basada en el proceso de condensación para cumplir con las normas vigentes.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I	18
EL PROBLEMA	18
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2.- OBJETIVOS	20
1.2.1.- Objetivo general	20
1.2.2.- Objetivos específicos	20
1.3.- JUSTIFICACIÓN	21
CAPÍTULO II	22
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2.- GAS NATURAL	23
2.3. PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN	27
2.3.1.- Sistema de deshidratación con glicol	29
2.4.- COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)	33
2.4.1.- Límites establecidos	35
2.4.2.- Efectos de los BTEX	39
2.5.- ANÁLISIS DE DISPERSIÓN	42
2.5.1.- Modelo gaussiano	44

2.5.2.- Modelos numéricos	50
2.5.3.- Modelos estadísticos o empíricos	51
2.5.4.- Modelos físicos	52
2.6.- SIMULADOR CANARY BY QUEST ®.....	52
2.7.- SIMULADOR HYSYS	59
2.8.- TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES	60
2.8.1.- Incineración.....	60
2.8.2.- Condensación	61
2.8.2.1.- Proceso R-BTEX	63
2.8.2.2.- Proceso MTR- PerVap.....	64
CAPÍTULO III	66
MARCO METODOLÓGICO	66
3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN	66
3.2.- ETAPAS DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	66
3.2.1.- Revisión bibliográfica	66
3.2.2.- Caracterización de COV emitidos al ambiente por los rehervidores de trietilenglicol	67
3.2.3.- Simulación del análisis de dispersión de los gases emitidos por los rehervidores mediante el software “CANARY by Quest ®”	69
3.2.4.- Comparación de las cantidades emitidas de BTEX y COV con las normativas nacionales e internacionales y su impacto ambiental	73
3.2.5.- Identificación del área de riesgo.....	74
3.2.6.- Elaboración de propuestas que permitan minimizar las emisiones de gases BTEX y COV a la atmósfera.....	74
3.2.6.1.- Simulación de una propuesta para minimizar las emisiones de COV mediante el programa HYSYS	74
3.3.- INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	79

3.4.- RECURSOS REQUERIDOS	80
CAPÍTULO IV.....	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
4.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
4.1.1.- Caracterización de COV emitidos al ambiente por los rehervidores de trietilenglicol	80
4.1.2.- Análisis de dispersión de los gases emitidos por los rehervidores de glicol.....	85
4.1.3.- Evaluación de alternativas para minimizar la emisión de COV de la planta de Extracción San Joaquín.....	104
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA.....	122
APÉNDICE A	127

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 2.1. Descripción del proceso de la planta de Extracción San Joaquín	27
Figura 2.2. Contactor de trietilenglicol	30
Figura 2.3. Separador trifásico de glicol “flash tank”	31
Figura 2.4. Filtros de glicol	31
Figura 2.5. Intercambiadores de glicol rico / glicol pobre	32
Figura 2.6. Rehervidor de glicol	32
Figura 2.7. Esquema de elevación del perfil de concentración de un penacho	46
Figura 2.8. Correlaciones para σ_y basadas en las clases de estabilidad A-F de Pasquill (Gifford, 1961)	48
Figura 2.9. Correlaciones para σ_z basadas en las clases de estabilidad A-F de Pasquill (Gifford, 1961)	49
Figura 2.10. Comparación de una exposición instantánea y una de tiempo de una columna visible de humo	50
Figura 2.11. Método convencional de control de emisiones de BTEX	62
Figura 2.12. Proceso R-BTEX	64
Figura 2.13. Proceso MTR-PerVap	65
Figura 3.1. Ventanas del simulador CANARY by Quest ®	69
Figura 3.2. Ventanas de selección de materiales en CANARY by Quest ®	70
Figura 3.3. Ventanas de condiciones ambientales en CANARY by Quest ®	71
Figura 3.4. Ventanas de descripción del fluido de descarga en CANARY by Quest ®	72
Figura 3.5. Ventanas de datos para la dispersión de vapor en CANARY by Quest ®	73

Figura 3.6. Ventana de componentes	75
Figura 3.7. Ventana para definir el paquete de fluidos	76
Figura 3.8. Diagrama de proceso en HYSYS	77
Figura 3.9. Ventana de datos de una columna de destilación	77
Figura 4.1. Dispersión del benceno aguas abajo del viento - Tren "A"	95
Figura 4.2. Concentración del benceno a nivel de suelo - Tren "A"	96
Figura 4.3. Dispersión del benceno aguas abajo del viento - Tren "B"	97
Figura 4.4. Concentración del benceno a nivel de suelo - Tren "B"	97
Figura 4.5. Área de riesgo	100
Figura 4.6. Área de riesgo - Vista aérea de los trenes de proceso	101
Figura 4.7. Área de riesgo a diferentes estabilidades de Pasquill	102
Figura 4.8. Área de riesgo a diferentes estabilidades de Pasquill – Vista aérea de los trenes de proceso	103
Figura 4.9. Propuesta para minimizar las emisiones de COV	112

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Límites de componentes mayoritarios y minoritarios de gas en el sistema de transporte troncales de libre acceso. Norma COVENIN 3568-2: 2000	26
Tabla 2.2. Límites de exposición a algunos compuestos tóxicos según la “OSHA”	35
Tabla 2.3. Límites de exposición a algunos compuestos tóxicos según la norma COVENIN 2253:2001	36
Tabla 2.4. Límites de emisión de COV según Decreto 638	39
Tabla 2.5. Puntos de ignición, inflamación y límites de inflamabilidad de los BTEX	42
Tabla 2.6. Clases de estabilidad de Pasquill	48
Tabla 4.1. Composición de las corrientes de tope de los rehervidores. Trenes “A” y “B”	82
Tabla 4.2. Emisiones diarias de los rehervidores de glicol. Trenes “A” y “B”	83
Tabla 4.3. Composición utilizada en el análisis de dispersión	85
Tabla 4.4. Datos en el punto de descarga	86
Tabla 4.5. Datos ambientales	86
Tabla 4.6. Diferencia en el uso del componente metano en lugar del componente agua para la dispersión de gases en CANARY - Tren “B”	87
Tabla 4.7. Dispersión de gases tren “A” según la norma COVENIN 2253:2001	90
Tabla 4.8. Dispersión de gases tren “A” según la “OSHA”	91
Tabla 4.9. Dispersión de gases tren “B” según la norma COVENIN 2253:2001	93
Tabla 4.10. Dispersión de gases tren “B” según la “OSHA”	94
Tabla 4.11. Efecto de las variaciones de humedad relativa y temperatura ambiental en los resultados de dispersión. Tren “B”	98

Tabla 4.12. Arrastre de hidrocarburos en el flash tank - Tren "A"	105
Tabla 4.13. Arrastre de hidrocarburos en el flash tank - Tren "B"	106
Tabla 4.14. Resultados de la simulación de la propuesta para minimizar las emisiones de COV	113
Tabla 4.15. Composición de las corrientes de salida del separador trifásico – Tren "A"	114
Tabla 4.16. Composición de las corrientes de salida del separador trifásico – Tren "B"	115
Tabla A.1. Composición en mg/kg de los hidrocarburos en el Tren A	128
Tabla A.2. Composiciones máscas de las corrientes de entrada y salida del rehervidor. Trenes "A" y "B"	130
Tabla A.3. Flujos máscos de las corrientes asociadas al rehervidor de glicol- Tren "A"	133
Tabla A.4. Composición molar y máscica de la corriente de tope del rehervidor de glicol- Tren "A"	135
Tabla A.5. Flujos máscos de corrientes asociadas al rehervidor de glicol- Tren "B".	136
Tabla A.6. Composición molar y máscica de la corriente de tope del rehervidor de glicol- Tren "B"	137
Tabla A.7. Caudal estimado de entrada de BTEX al rehervidor, cuando el flujo de glicol al contactor es de 80 gpm - Tren "A"	138
Tabla A.8. Caudal estimado de entrada de BTEX al rehervidor, cuando el flujo de glicol al contactor es de 80 gpm - Tren "B"	139

INTRODUCCIÓN

El gas natural representa una fuente de energía muy importante para el ámbito nacional e internacional, ofrece ventajas que sobrepasan las características, disponibilidad, eficiencia y manejo de otros combustibles.

Antes de la llegada del gas a los consumidores finales es necesario el desarrollo de una serie de procesos que forman parte de su cadena de valor, entre ellos: exploración, producción, procesamiento, transporte y distribución. PDVSA Gas es el holding encargado en el país de lo asociado con este hidrocarburo. Dentro del área de procesamiento se encuentra el Complejo Criogénico de Oriente, cuya función es extraer los líquidos de gas natural (LGN) y fraccionarlos para la obtención de propano, butanos, gasolina y residual, los cuales tienen un alto valor comercial en el mercado. Conjuntamente con el LGN, se obtiene el gas residual que se utiliza como materia prima y combustible en numerosas industrias en el mercado interno, y está formado por metano, principalmente, y otros compuestos en proporciones menores.

En la planta de Extracción San Joaquín, perteneciente al Complejo Criogénico de Oriente, se utilizan temperaturas muy bajas para la obtención del LGN. El gas natural de alimentación contiene vapor de agua que debe ser retirado antes de llegar al proceso criogénico, para evitar la formación de hidratos. Aproximadamente, el 90 % del vapor de agua del gas de entrada es despojado mediante un sistema de deshidratación por trietilenglicol. Este producto es capaz de arrastrar compuestos aromáticos e hidrocarburos (compuestos orgánicos volátiles - COV) durante la absorción, que luego son emanados a la atmósfera en la regeneración del glicol. Los COV son

altamente tóxicos para la salud de los seres humanos, en especial el grupo conocido como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno). En este estudio se determinará la cantidad actual emitida al ambiente por los rehervidores de glicol y se realizará un análisis de dispersión con el objetivo de identificar las áreas de riesgos. Adicionalmente, se evaluarán alternativas para la mitigación de estos compuestos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de Extracción San Joaquín forma parte del Complejo Criogénico de Oriente, es la más grande instalada en el país, procesa 1000 MMPCND y obtiene una producción de 48.000 BPD de LGN y 920 MMPCND de gas residual. Los procesos utilizados son: válvulas Joule – Thompson (J-T) y turboexpansores, su objetivo es la disminución de presión y temperatura a niveles criogénicos.

El gas de alimentación a la planta de Extracción San Joaquín contiene vapor de agua, el cual puede condensar debido a la conducción de calor a través de las tuberías de transporte y al incremento de presión en la entrada. A medida que disminuye la temperatura en un gas saturado el contenido de agua en forma de vapor disminuye, ocasionando agua libre, y si se manejan temperaturas por debajo de la de formación de hidratos se pueden obtener sólidos que generarían el taponamiento de las líneas de flujo y equipos, corrosión y daños en los turboexpansores, afectando la continuidad operacional. Por esta razón, se utilizan en la planta dos etapas de deshidratación del gas natural, la primera absorción con trietilenglicol y la segunda adsorción mediante tamices moleculares.

El trietilenglicol es un producto afín a los compuestos aromáticos como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), así como a otros compuestos orgánicos volátiles (COV) presente en el gas, los cuales son absorbidos en el

Contactor y liberado a la atmósfera durante los procesos de regeneración del glicol. El benceno es un compuesto tóxico, mutagénico y fácilmente inflamable, el tolueno, el xileno y el etilbenceno son nocivos y fácilmente inflamables, todos tienen efectos sobre la salud y dependiendo de las concentraciones y el tiempo a las cuales está expuesto el ser humano, pueden ir desde irritación de las mucosas hasta cefaleas, falta de coordinación, colapso, coma e incluso la muerte.

Este tipo de compuestos están regulados por normas nacionales e internacionales, para medios ambientes de trabajo. En la planta de Extracción San Joaquín no se han encontrado antecedentes de evaluación de estos compuestos en los vapores de agua a la salida de la chimenea del rehervidor. Por esta razón, se hace necesario determinar la cantidad de COV, en especial, de BTEX que es emitida a la atmósfera, con el objetivo de garantizar a los trabajadores un medio ambiente dentro de los límites permitidos, para no causar daños a su salud y cumplir con lo establecido en el artículo 53 de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) [1]. Para ello, se analizarán las corrientes de entrada a los rehervidores mediante técnicas de laboratorio, por ejemplo, cromatografía de gases, y posteriormente, se efectuarán balances de masa en los equipos.

Adicionalmente, se realizarán análisis de dispersión para determinar cuál es el área de riesgo y se evaluarán alternativas que permitan reducir las emisiones y la concentración de estos compuestos a las normas establecidas: Decreto 638 de la legislación venezolana, “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica” [2] y la norma COVENIN 2253:2001 “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”

[3]. Los resultados se compararán con los estándares internacionales de la “Occupational Safety and Health Administration (OSHA)” [4] y de la “Clean Air Act” [5].

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- Objetivo general

Evaluar la generación, dispersión y mitigación de las emisiones ambientales de COV de los rehervidores del sistema de deshidratación con glicol de la planta de Extracción San Joaquín.

1.2.2.- Objetivos específicos

Caracterizar los COV emitidos al ambiente por los rehervidores de trietilenglicol de la planta de Extracción de San Joaquín, en especial los BTEX.

Simular un análisis de la dispersión de los gases emitidos por los rehervidores de la planta deshidratadora de glicol mediante el software “CANARY by Quest®”.

Comparar las cantidades emitidas de estos gases con las normativas nacionales e internacionales y su impacto ambiental.

Identificar las áreas de riesgo donde las concentraciones de COV causen efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos.

Evaluar alternativas que minimicen las emisiones de COV en la planta de Extracción San Joaquín.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

La planta de Extracción San Joaquín es una de las plantas estratégicas que existen a nivel nacional, debido a que genera el mayor aporte de gas residual al mercado interno, su continuidad operacional es fundamental para la economía del país. La seguridad, salud y bienestar del personal son necesarios para el normal desenvolvimiento de las labores de trabajo, así como, lograr la protección del ambiente para minimizar el impacto en el entorno.

Los hidrocarburos livianos (C_1 - C_6) y el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno son parte de una clasificación general conocida como compuestos orgánicos volátiles (COV), y están catalogados como agentes tóxicos para el hombre. Debido a que actualmente están siendo descargados directamente a la atmósfera, es necesario tomar medidas para determinar cuál es la cantidad de estos contaminantes que son emitidos anualmente, y cómo se puede reducir el riesgo de afectación, manteniendo la planta a máxima capacidad. Esto es esencial para proteger al personal y cumplir con las normativas vigentes de la legislación venezolana, entre ellas, la LOCYMAT [1], COVENIN 2253:2001 [3] y el Decreto 638 [2].

Este estudio se fundamenta en garantizar la seguridad de cada trabajador que labora en la planta de Extracción San Joaquín, y en reducir el impacto a las comunidades cercanas, ocasionado por la emisión de gases tóxicos y por la posible llegada de estos compuestos a la vegetación y los suelos, debido a las precipitaciones atmosféricas.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En mayo del año 1999, se realizó una evaluación del Complejo Muscar con diferentes especialistas en el área ambiental de la Universidad de Oriente, donde se determinó que las emisiones de BTEX excedían los límites establecidos por el Decreto 638 [2] de la legislación venezolana (1,3 kg/h) y de los departamentos en EEUU de Oklahoma (0,54 Ton/año), Louisiana (0,12 Ton/año), y Colorado (0,023 Ton/año). La cantidad emitida de BTEX del Complejo al momento del estudio fue de 213,93 kg/h equivalentes a 1874,03 Ton/año [6].

En enero del año 2004, se realizó la caracterización de las fuentes fijas de las emisiones de la planta de Extracción San Joaquín, durante el proceso se incluyeron los gases de combustión de la caja de fuego, pero no los vapores de tope procedentes de la regeneración del trietilenglicol [7]. Se realizó una revisión de los documentos controlados por el departamento de Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional, relacionados con la calidad del aire desde el año 1992, y se ubicó una nota técnica de Intevep, año 1996 (Ref. TEEA/ 1-96-0003), donde se indica la toma de muestras de COV en los puntos incluidos en esta evaluación, sin embargo, no se encontraron registros de los resultados obtenidos [8].

En el año 2004, la planta ACCROVEN San Joaquín inició la instalación de un sistema de incineración de los vapores de tope provenientes de la deshidratación de glicol para adecuarse a las normativas vigentes [9]. Cabe destacar, que esta planta recibe gas proveniente de Producción Gas Anaco.

En agosto del año 2006, la Superintendencia de Estudios y Asesorías pertenecientes a la Gerencia de Ingeniería Operacional de Gas, culminó la Conceptual correspondiente a la “Evaluación de Emisiones de Gases BTEX en la planta de Refrigeración San Joaquín”, por solicitud de la Superintendencia Técnica Extracción San Joaquín. El estudio arrojó que los niveles de emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos (“HAP”) excederían en más de 1600 por ciento los límites establecidos en “Clean Air Act” [5], si la planta operara los 365 días del año. Por otro lado, las concentraciones de compuestos BTEX superan los límites de exposición de la “OSHA” [4] justo a la descarga de la chimenea. Recomiendan la realización de un análisis de dispersión para completar el estudio [10].

2.2.- GAS NATURAL

Es una mezcla de hidrocarburos parafinados que incluye metano en mayor proporción y, otros hidrocarburos en proporciones menores y decrecientes. Esta mezcla contiene, generalmente impurezas, tales como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y otros gases inertes.

La producción del gas natural en sus inicios estuvo asociada a la producción del petróleo, y la mayor parte del gas era desperdiciado hacia quemadores. A partir del año 1975 hasta el presente, los esfuerzos han estado dirigidos a industrializar esta área con el objetivo de maximizar la

utilización del gas. En 1999, se promulgó la Ley Orgánica de Hidrocarburos Gaseosos adquiriendo mayor valorización, dando paso al desarrollo de múltiples proyectos.

El gas natural es utilizado como materia prima en numerosos procesos: en programas de inyección para la recuperación de petróleo y en otras operaciones de producción, en la obtención de Líquidos del Gas Natural (LGN) y en los procesos de sulfuración con el fin de mejorar la calidad de los derivados del petróleo, entre otros [11].

El gas natural con alto contenido de propano y más pesados es enviado a las plantas de extracción para la obtención de LGN, producto de alto valor comercial, su costo se ubicó por encima de 40 \$/BBL en el año 2008, la tasa de cambio vigente para la fecha era de 2,15 Bs.F./\$.

El gas o sus componentes fraccionados representan una fuente de energía importantísima para la población venezolana, contribuye al avance social y al desarrollo del aparato productivo nacional. A continuación se describen algunos de los usuarios dentro del mercado interno:

Residenciales: emplean el gas para usos típicos de vivienda, por ejemplo, para cubrir las necesidades domésticas tales como cocción de alimentos y agua caliente, a partir de la utilización de cocinas, hornos, calentadores de agua, refrigeradores, etc.

Comerciales: usuarios que usan el fluido para actos de comercio (con actividad principal de compra, venta y permutas) y de prestación de servicios. Son usuarios habituales los establecimientos gastronómicos (bares, restaurantes, confiterías), y hoteles. También se consideran los

establecimientos de salud y educación privada, la banca pública y privada y el abastecimiento de alimentos (mercados, grandes almacenes, etc.).

Industriales: usuarios que tienen como actividad el proceso de elaboración de productos, transformación de materias primas, reparación de maquinarias y equipos, y fabricaciones varias.

Centrales eléctricas: usuarios que emplean el gas para la generación de energía eléctrica.

Entes oficiales: son usuarios de esta categoría los entes centralizados y descentralizados, los establecimientos del área pública de la salud como hospitales, módulos de salud, salas de primeros auxilios, los centros de educación públicos y en general, todos los organismos oficiales de cualquier jurisdicción, excluyendo en todos los casos aquellos cuya principal función sea un proceso productivo de bienes o la prestación de servicios con retribuciones explícitas en precios o tarifas.

GNV - Gas natural vehicular: son usuarios las estaciones de servicio, que lo expenden para utilización como combustible en vehículos.

Las características del gas enviado al mercado interno nacional para la venta están definidas por la norma COVENIN 3568-2:2000 y se presentan en la tabla 2.1 [12].

Tabla 2.1. Límites de componentes mayoritarios y minoritarios de gas en el sistema de transporte troncales de libre acceso. Norma COVENIN 3568-2:2000

NOMBRE	Límite	Valor (% Molar)	
Metano (C1)	Mín.	80,0	
Etano (C2)	Máx.	12,0	
Propano (C3)	Máx.	3,0	
Butano y más pesados (C4+)	Máx.	1,5	
De estos, hidrocarburos insaturados total	Máx.	0,2	
Dióxido de carbono (CO ₂)	Máx.	8,5	
Nitrógeno (N ₂)	Máx.	1,0	
Hidrógeno (H ₂)	Máx.	0,1	
Oxígeno (O ₂)	Máx.	0,1	
Monóxido de carbono (CO)	Máx.	0,1	
COMPONENTES EN TRAZAS			
NOMBRE	Límite	Unidad	Valor
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	Máx.	mg/m ³ ppm molar	7,3 2
Azufre total para gas no odorizado	Máx.	mg/m ³ ppm molar	8 8
Azufre total para gas odorizado	Máx.	mg/m ³ ppm molar	9 6
Agua	Máx.	mg/m ³ [lb/10 ⁶ SF C]	12 7

2.3. PLANTA DE EXTRACCIÓN SAN JOAQUÍN

La planta de Extracción San Joaquín tiene como objetivo principal, extraer los líquidos del gas natural (producción de LGN C3+), para su envío a la Planta de Fraccionamiento Jose. Está ubicada en el campo de San Joaquín a 12 kilómetros al oeste de Anaco, Estado Anzoátegui. Fue diseñada para procesar 800 MMPCED de gas de alimentación, recobrando el 90 % de propano. En el año 1992, se realizó un rediseño “revamping” para aumentar su capacidad a 1000 MMPCED, con un recobro de 93% de C3+. Dispone de dos (02) trenes idénticos, cada uno procesa el 50% de la alimentación. Cuando se opera en modo de recobro de etano, la máxima recuperación está limitada a un 40 %, debido a la temperatura de congelamiento del dióxido de carbono. La descripción del proceso se puede visualizar en la figura 2.1 [13].

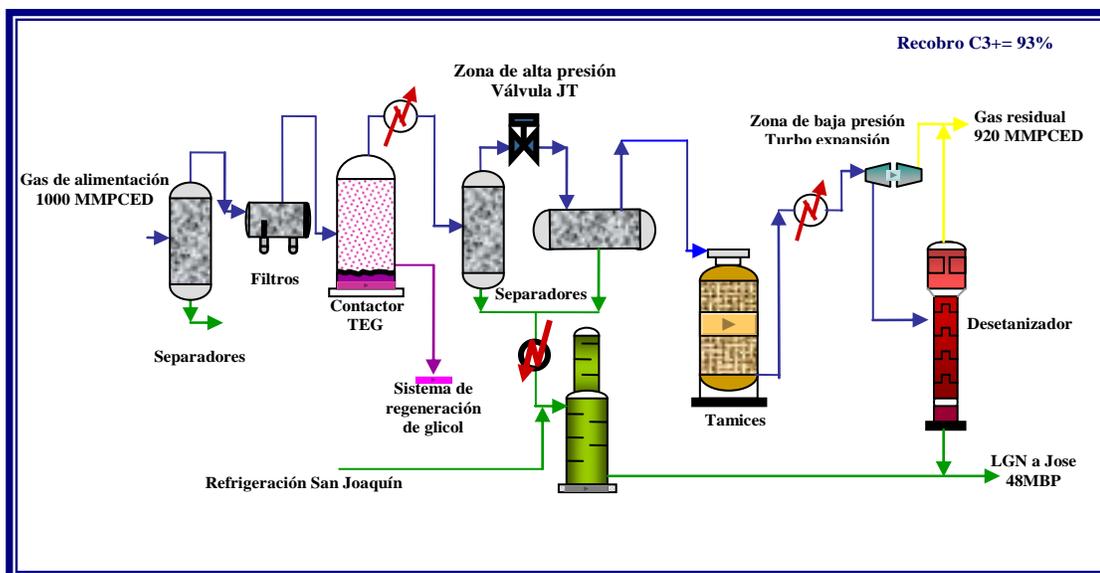


Figura 2.1. Descripción del proceso de la planta de Extracción San Joaquín.

La alimentación de la planta llega a través de cinco (05) gasoductos provenientes de los campos Santa Rosa, San Joaquín, Santa Ana y El Toco. El gas de entrada se recibe en unos separadores para disgregar cualquier líquido que haya sido arrastrado.

El vapor que sale de estos depuradores se combina en un cabezal común y luego se divide para dirigirse a los dos trenes de proceso. El gas que entra a cada tren se combina con una corriente de vapor de 3,5 MMPCED que viene del depurador de descarga del compresor de tope de la torre estabilizadora, y pasa por una primera etapa de deshidratación utilizando un contactor con trietilenglicol (TEG), donde el contenido de agua se reduce hasta un punto de rocío de 270 K (26 °F) a $6,86 \times 10^6$ Pa (980 psig). El gas deshidratado que sale del contactor se divide en cuatro corrientes que se enfrían hasta 291 K (64 °F) en cuatro intercambiadores de calor, luego se unen y entran a la primera etapa de expansión a través de las válvulas J-T, donde su presión se reduce a $6,03 \times 10^6$ Pa (860 psig), con la consiguiente reducción de temperatura hasta 284 K (51 °F). En esta primera etapa de expansión se extrae del gas una parte de los líquidos, los cuales son enviados a la torre estabilizadora. El caudal que pasa por cada tren está determinado por la velocidad de los compresores de gas residual.

Luego el gas pasa a la segunda etapa de deshidratación con tamices moleculares para reducir el contenido de agua hasta menos de 0,1 ppm en volumen. El sistema consiste en cuatro torres de adsorción, tres de ellas están en operación, mientras la cuarta se está regenerando. Posteriormente, el gas es enfriado a través de tres intercambiadores hasta 230 K (-29 °F) y se dirige al separador de entrada de la segunda etapa de expansión, los líquidos recolectados son enviados a la torre desetanizadora y el gas se conduce hacia al turboexpansor para disminuirle la presión y temperatura hasta

$1,62 \times 10^6$ Pa (220 psig) y 194 K (-110 °F), respectivamente, los líquidos producidos son enviados a la desetanizadora. El gas separado en la segunda etapa de expansión se recomprime para ser transportado al mercado interno.

La desetanizadora separa etano y más livianos (metano y dióxido de carbono) con algunas trazas de propano en el tope que constituye el gas residual. El producto de fondo consiste en propano y más pesados. Esta torre opera a $1,48 \times 10^6$ Pa (200 psig) y contiene veintiocho platos de válvulas. La columna tiene un rehervidor lateral y un rehervidor de fondo. El reflujo necesario para la operación de la columna se obtiene con un condensador parcial. El producto líquido del fondo de la desetanizadora se bombea y se combina con el producto líquido de la estabilizadora, y a continuación con el producto líquido del segundo tren. Esta corriente combinada constituye el LGN, bajo las especificaciones de calidad requeridas, y se transporta a través de un poliducto hasta la planta de Fraccionamiento Jose.

2.3.1.- Sistema de deshidratación con glicol

El gas a una presión de $6,86 \times 10^6$ Pa (980 psig) y una temperatura de 316 K (110 °F) entra al contactor de trietilenglicol donde se coloca en contracorriente con una solución de glicol pobre en agua, a un caudal de 85 gpm y 99,1% de TEG en peso. El contactor contiene un empaque estructurado donde se realiza la transferencia de masa para reducir el punto de rocío de agua hasta 270 K (26 °F) [13], (figura 2.2).



Figura 2.2. Contactor de trietilenglicol

El glicol rico en agua se dirige hacia el sistema de regeneración que opera a baja presión (atmosférica) y alta temperatura, 469 – 472 K (385 – 390°F), con el objetivo de retirar el agua absorbida en el contactor (D2-10/20302). En primer lugar, fluye a través de un serpentín ubicado en el tope de la columna del rehervidor para proporcionar enfriamiento a los vapores de salida de agua, luego se dirige al intercambiador de glicol pobre / rico (D2.10/20317.1) donde intercambia calor con una solución pobre de glicol caliente. Posteriormente, pasa a un separador trifásico “flash tank” (D2-10/20323) que opera a $4,46 \times 10^5$ Pa (50 psig) donde parte del hidrocarburo absorbido es separado en fase gaseosa o líquida (figura 2.3).



Figura 2.3. Separador trifásico de glicol “flash tank”

Después del paso de filtración, el glicol rico intercambia calor con un glicol pobre caliente en el intercambiador de glicol rico / pobre (D2.10317.2,.3) hasta 436 K (325 °F), (figura 2.5). Este glicol luego se alimenta a la bandeja superior de la columna regeneradora de glicol y se dirige al Rehervidor de Glicol (D2.10318).

El glicol fluye hacia un filtro de elementos para retirar cualquier partícula sólida que pueda ser arrastrada, se dispone de un filtro en espera, luego una parte de glicol a razón de 15 gpm se envía a un filtro de carbón activado para retirar los hidrocarburos o productos de la degradación del glicol presentes (figura 2.4).



Figura 2.4. Filtros de glicol

Después del paso de filtración, el glicol rico intercambia calor con un glicol pobre caliente en el intercambiador de glicol rico / pobre (D2.10317.2,.3) hasta 436 K (325 °F), (figura 2.5). Este glicol luego se alimenta a la bandeja superior de la columna regeneradora de glicol y se dirige al Rehervidor de Glicol (D2.10318).



Figura 2.5. Intercambiadores de glicol rico / glicol pobre

En el rehervidor de glicol (D2.10318) la corriente se calienta hasta 469 – 472 K (385 – 390°F) a presión atmosférica bajo fuego directo, y el agua se extrae por ebullición de la selección de glicol rico. Los vapores resultantes suben por los platos de la columna destiladora donde todo glicol vaporizado se condensa y es depurado por el glicol que cae por las bandejas y el reflujo creado por el serpentín. El vapor restante, el cual es en su mayoría agua, se ventila a la atmósfera (figura 2.6).



Figura 2.6. Rehervidor de glicol

El glicol concentrado o pobre se rebosa a través de una columna empacada en el rehervidor y fluye por gravedad a través de los intercambiadores de glicol rico / pobre donde se enfría hasta 366 K (200 °F) e ingresa al acumulador de glicol (D5.10301).

Mediante una bomba se incrementa la presión del glicol hasta $7,03 \times 10^6$ Pa (1020 psig) y se envía a un enfriador por aire, donde se controla que la temperatura de entrada de glicol esté 9,4 K (15 °F) por encima de la temperatura de entrada del gas al contactor, para evitar condensación de hidrocarburos durante la fase de absorción, culminando así el ciclo de regeneración.

2.4.- COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

Los compuestos orgánicos volátiles son aquellos que tienen una presión de vapor alta y una solubilidad en agua baja. Lo comprenden hidrocarburos y otras sustancias. Muchos de ellos son reactivos (excluyendo el metano) en el aire y provocan efectos considerables sobre la salud y el ambiente. Todos los compuestos orgánicos contienen carbono y constituyen los componentes básicos de la materia viviente y de todo derivado de la misma. Muchos de los compuestos orgánicos que se utilizan no se hallan en la naturaleza, sino que se obtienen sintéticamente para las fabricaciones de pinturas, productos farmacéuticos y refrigerantes, entre otros [14]. El hidrocarburo más abundante es el metano con unas concentraciones ambientales entre 1 y 6 ppm. Algunas sustancias menos abundantes pero más reactivas son: óxido de etileno, formaldehído, fosgeno, benceno, tetracloruro de carbono y CFC. Casi todos estos son cancerígenos conocidos o sospechados. Estos compuestos pueden producir irritación de ojos,

garganta y pulmones así como la inhibición del crecimiento de las plantas [15].

Los términos COV e hidrocarburos no son idénticos, pero a menudo se usan como si lo fueran. Hablando estrictamente, un hidrocarburo solo contiene átomos de carbono e hidrógeno.

Probablemente, los COV constituyen la segunda clase más extendida y diversa de emisiones, después de las partículas. En el año 1985, estuvieron entre 30 y 90 kg per cápita en la Comunidad Europea, Alemania Occidental, el Reino Unido, Irlanda y los Países Bajos. Las principales fuentes emisoras fueron: distribución de gas, vertederos, combustibles fósiles sólidos, naturales, evaporación de disolventes y el transporte de carretera [15].

Los estándares de calidad del aire no impusieron unos límites para las concentraciones de COV y este hecho se debió a que no existe un límite seguro para la mayoría de estos compuestos. Por ejemplo, el benceno es un cancerígeno conocido para el que no se sabe ningún límite umbral de seguridad. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1987 ha afirmado que una concentración de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno en el aire impone una probabilidad de 4×10^{-6} en desarrollar leucemia a lo largo de su vida. Sin embargo, las autoridades han fijado los límites de emisión para determinadas industrias dependiendo del tipo de sustancia [15]. Los BTEX forman parte de los compuestos orgánicos volátiles.

Los COV o VOC “volatile organic compound” son parte del problema de los oxidantes fotoquímicos (“smog”, ozono), como se representa en la siguiente ecuación [16]:



Algunos COV son poderosos absorbedores del infrarrojo, contribuyendo de esta forma en el problema invernadero.

2.4.1.- Límites establecidos

Los límites de exposición, según la “Occupational Safety and Health Administration”, de algunos COV se presentan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Límites de exposición a algunos compuestos tóxicos según la “OSHA”[4]

Nombre	Límite – 8h (ppm)	Límite techo (ppm)	Máximo valor aceptable por encima del límite techo- 8h	
			Concentración (ppm)	Tiempo de exposición
Propano	1000	-	-	-
Pentano	1000	-	-	-
Hexano	500	1000	-	-
Ciclohexano	300	-	-	-
Heptano	500	-	-	-
Octano	500	-	-	-
Benceno	10	25	50	10 min
Etil- Benceno	100	-	-	-
Tolueno	100	300	500	10 min
Xileno	100	150	-	-
Naftaleno	10	-	-	-

En Venezuela la norma COVENIN 2253: 2001, que se titula: Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición (3era. revisión), de fecha 31/10/2001, es la que rige los límites de exposición y en la tabla 2.3 se presentan los valores para los compuestos en estudio.

Tabla 2.3. Límites de exposición a algunos compuestos tóxicos según la norma COVENIN 2253:2001[3]

Nombre	CAP (ppm)	LEB (ppm)
Metano	C	-
Etano	C	-
Propano	1389	-
Butano	800	-
Pentano	600	-
Ciclopentano	600	-
Hexano	500	1000
Ciclohexano	300	-
Heptano	400	500
Octano	300	-
Benceno , (A1)	0,5	2,5
Etil- Benceno	100	150
Tolueno, (A4)	50	188
Xileno, (A4)	100	150
Naftaleno, (A4)	10	15

Algunas definiciones de la norma son describen a continuación:

C: “asfixiante simple”, son aquellos gases o vapores que aún estando presentes en el aire en altas concentraciones actúan principalmente como simples asfixiantes, sin provocar otros efectos fisiológicos importantes.

CAP: “concentración ambiental permisible”, es la concentración promedio ponderada en el tiempo de sustancias químicas a las que se cree pueden estar expuesto los trabajadores, repetidamente durante ocho (08) horas diarias y cuarenta (40) horas semanales, sin sufrir daños adversos a la salud.

LEB: “límite de exposición breve”, es la concentración que nunca debe excederse durante la jornada de trabajo y a la cual se cree que pueden estar expuestos los trabajadores durante un periodo de quince (15) minutos máximo, sin sufrir:

a) Irritación.

b) Daño tisular crónico.

c) Narcosis de intensidad suficiente como para aumentar la propensión a accidentes.

d) La reducción de su capacidad para ponerse a salvo por medios propios.

T: límite techo, es la concentración que no debe sobrepasarse en ningún instante durante la jornada de ocho (08) horas.

A1: cancerígeno confirmado en humanos, basado en el peso de la evidencia de estudios epidemiológicos o evidencia clínica convincente en humanos expuestos.

A4: no clasificado como cancerígeno en humanos, existe información inadecuada en la cual se puede basar para clasificar el agente en términos cancerígeno en humanos o animales.

Las exposiciones por encima del CAP y hasta el LEB no deben ser mayores de quince (15) minutos y no más de cuatro (04) veces al día, con intervalos entre exposición de al menos sesenta (60) minutos, siempre que no se exceda la concentración promedio ponderada (CAP) en ocho (08) horas.

Para aquellas sustancias que no tengan asignado un límite de exposición breve (LEB), ni límite techo (T), se permite que se excedan tres (03) veces pero no más de cinco (05) veces el valor de las CAP, durante un período total de treinta (30) minutos en la jornada de trabajo, siempre que el resto de la misma no exceda la concentración promedio ponderada en el tiempo (CAP).

Los límites de emisión de los COV están normados por el Decreto 638 de la legislación venezolana (“Norma sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica”, de fecha 19/05/1995) y se presentan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Límites de emisión de COV según Decreto 638 [2]

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

La base legal de las leyes sobre la contaminación del aire en Estados Unidos está dada por la “Clean Air Act” de 1963, con sus enmiendas de 1970, 1977 y 1990. En la enmienda de 1990 se listaron 189 materiales como contaminantes peligrosos del aire o “hazardous air pollutants, HAP”, donde se establece que la máxima emisión para una sustancia es de 10 Ton/año y para cualquier combinación de ellas es de 25 Ton/año. Los BTEX están definidos como HAP [5].

2.4.2.- Efectos de los BTEX

A continuación se presentan los riesgos a la exposición de BTEX [17]:

BENCENO: puede causar taquicardia, dolores de cabeza, irritación del sistema respiratorio, ojos, nariz y piel, vértigo, narcosis, dermatitis, anorexia, edema pulmonar, fatiga, debilidad, perturbaciones mentales, náuseas, cambios cromosómicos, parálisis respiratoria, muerte, entre otros. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Es un cancerígeno conocido, está reportado como causante de leucemia aguda después de 2 años de exposición continua. El benceno produce alteraciones en la médula de los huesos y puede generar una disminución del número de

glóbulos rojos, lo que a su vez puede provocar anemia. También puede originar hemorragias y puede afectar al sistema inmunitario, aumentando la probabilidad de contraer infecciones. Algunas mujeres que respiraron niveles altos de benceno durante varios meses sufrieron menstruaciones irregulares y disminución del tamaño de los ovarios. El benceno puede pasar de la sangre de la madre al feto. En las crías de animales expuestos a este componente durante la preñez han presentado bajo peso de nacimiento, retardo en la formación de huesos y mutaciones genéticas.

Inflamabilidad: peligro de fuego al exponerse directamente al calor o llama. El vapor es más pesado que el aire y puede viajar distancias considerables hasta alcanzar alguna fuente de ignición y reinflamarse.

Recomendaciones médicas: examen médico de control cada 6 meses. Practicar exámenes hematológicos con vigilancia estricta de ellos. Al detectar cambios leves remitir a especialidad. Test de diagnóstico: fenol en la orina.

ETILBENCENO: irritación de los ojos, piel, tracto respiratorio y mucosas, dolores de cabeza, dermatitis, narcosis, conjuntivitis, erosión corneal, sensación de constricción en el pecho, quemaduras de la piel, ataca el sistema nervioso central, edema pulmonar, entre otros. Su inhalación puede formar gotas del compuesto en los pulmones y causar neumonía.

Inflamabilidad: alto riesgo de fuego al exponerse al calor o llama. Los vapores pueden reinflamarse.

Recomendaciones médicas: examen médico periódico de las funciones del hígado, riñones, hematología completa. Excluir todas las personas con enfermedades en la sangre, hígado y riñones.

TOLUENO: irritación de los ojos, nariz, piel y sistema respiratorio, fatiga, confusión, dolores de cabeza, pérdida de la memoria, náuseas, debilidad, euforia, pupilas dilatadas, insomnio, dermatitis, conjuntivitis, quemaduras de la córnea, vértigo, tos, bronquitis, neumonía química, narcosis, fatiga de los músculos, ataca el sistema nervioso, daños del riñón, hígado, entre otros. Umbral de olor 0,17 ppm. Si el tolueno tiene benceno como impureza, su inhalación continua o prolongada puede causar leucemia.

Inflamabilidad: riesgo moderado de fuego y explosión al exponerse a la llama o materiales oxidantes. Altamente inflamable, forma mezclas explosivas con el aire.

Recomendaciones médicas: examen médico anual con estudio de ojos, sistema nervioso central, conteo de hemoglobina, análisis de orina, funciones hepáticas. Excluir al personal con enfermedades en el sistema nervioso central, hígado y enfermedades de la sangre. Test: tolueno en sangre.

XILENO: irritación de los ojos, piel y garganta, vértigo, excitación, adormecimiento, anorexia, náuseas, vómitos, dolor abdominal, falta de coordinación, dermatitis, coma, problemas gastrointestinales y efectos sobre la sangre.

Inflamabilidad: riesgo elevado de incendio al exponerlo al calor o la llama. Durante un evento de este tipo, se deben utilizar protección respiratoria completa de suministro de oxígeno debido a los vapores tóxicos generados.

Recomendaciones médicas: tratamiento sintomático.

A continuación en la tabla 2.5 se muestran los puntos de ignición, de inflamación y los límites de inflamabilidad en aire del benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.

Tabla 2.5. Puntos de ignición, inflamación y límites de inflamabilidad de los BTEX [17]

NOMBRE	Punto de ignición	Punto de inflamación	Límites de inflamabilidad en aire (% Vol)	
			Inferior	Superior
Benceno	833 K / 1040 °F	262 K / 12 °F	1,3	7,1
Etil- Benceno	705 K / 810 °F	288 K / 59 °F	1,2	6,8
Tolueno	809 K / 997 °F	278 K / 40 °F	1,27	7,0
Xileno	736 K / 865 °F	300 K / 81 °F	1,0	7,0

2.5.- ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

En el establecimiento de modelos que permitan predecir la concentración de contaminantes en el aire, la meteorología juega un papel fundamental. Los dos parámetros de máximo interés para los especialistas en contaminación son: la estabilidad atmosférica y la velocidad del viento. En general, las atmósferas estables (gradientes verticales de temperatura o inversiones bajas) y las velocidades bajas de viento conducen a concentraciones más altas a nivel del suelo (de fuentes a nivel de suelo o bajo nivel). Las atmósferas inestables y las velocidades altas de viento conducen a concentraciones más bajas a nivel de suelo. Existen otros parámetros considerados durante la realización de los modelos, entre ellos:

temperatura del aire / suelo, humedad relativa, dirección del viento predominante y efectos topográficos en la meteorología.

Casi todos los modelos son balances de materiales, es decir, una contabilidad del contaminante en estudio en unidades de masa/tiempo, ejemplo: g/s. La ecuación general es la siguiente [16]:

$$\begin{aligned} (\text{Velocidad de acumulación}) &= (\text{gastos de entrada}) - (\text{gastos de salida}) & (2.2) \\ &+ (\text{Velocidad de creación}) - (\text{Velocidad de destrucción}) \end{aligned}$$

El predecir la evolución de un contaminante dentro de la atmósfera es casi imposible, debido a los complejos factores involucrados: la meteorología, el origen de las emisiones, y el proceso [15].

Las emisiones de contaminantes en la atmósfera son de interés a tres escalas:

Microescala: del orden de 1 km (ej. penachos de chimeneas).

Mesoescala: del orden de 100 km (ej. vientos montaña / valle).

Macroescala: del orden de miles de km (ej. altas / bajas sobre océanos y continentes).

El problema de la dispersión de los contaminantes atmosféricos requiere ser modelado debido a la creciente preocupación por la calidad del aire, la salud poblacional, la protección del medio, la visibilidad y el impacto de los contaminantes.

Se han desarrollado muchas técnicas para predecir la concentración de contaminantes en un punto, que incluyen modelos matemáticos para estimar la calidad del aire, algunas son [15]:

Modelo gaussiano: se emplea en su mayoría para la estimación de contaminantes no reactivos.

Modelo numérico: se requieren resolver ecuaciones de balance de materia, energía y cantidad de movimientos tridimensionales.

Modelo estadístico o modelo empírico: se emplean si las ecuaciones sobre los procesos fisicoquímicos es inadecuada para utilizar un modelo gaussiano o numérico.

Modelo físico: se utilizan túneles de viento para la investigación.

2.5.1.- Modelo gaussiano

Se considera una fuente puntual, como la chimenea de una fábrica (que en realidad no es un punto sino un área pequeña) y se intenta calcular la concentración en la dirección del viento que resulta. El modelo gaussiano realiza las siguientes suposiciones:

No existe variación ni en la velocidad ni en la dirección del viento entre el foco y el receptor.

Todo el vertido permanece en la atmósfera, es decir, no reacciona ni se deposita en forma de lluvia o partículas. Cualquier penacho que impacta en el terreno rebota en su totalidad.

La dispersión describe exactamente una distribución de Gauss.

Lo normal es que las columnas de humo suban una distancia considerable por encima de la chimenea, porque son emitidas a temperaturas más elevadas que las atmosféricas y con una velocidad vertical. La altura efectiva (h_e) de la pluma es [15]:

$$h_e = h_s + \Delta h \quad (2.3)$$

donde, h_e = altura efectiva del penacho

h_s = altura de la chimenea

Δh = ganancia en altura del penacho debido a su velocidad y flotabilidad

A medida que la pluma avanza aguas abajo en la dirección del viento, se asume que el perfil de concentración por difusión adquiere una distribución gaussiana (figura 2.7). Si el desarrollo del penacho se efectúa en las tres dimensiones, el modelo debe tomar en cuenta los cambios en los tres ejes (x,y,z), Entonces, la concentración de un contaminante (C) en cualquier punto sería proporcional al caudal (Q) y a la curva de Gauss (G) e inversamente proporcional a la velocidad del viento (U) [15]:

$$C(x, y, z) \propto \frac{1}{U} Q G \quad (2.4)$$

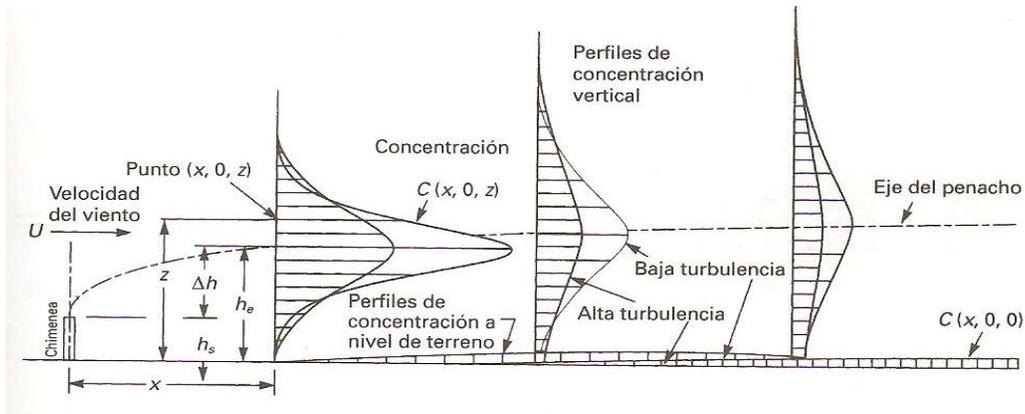


Figura 2.7. Esquema de elevación del perfil de concentración de un penacho [15]

De esta forma, la concentración del contaminante en una pluma en cualquier punto x , y o z puede calcularse con la siguiente ecuación de difusión [15]:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.5)$$

Donde, Q = cualquier propiedad por unidad de tiempo, e.j. kg/s , m^3/s

C = cualquier propiedad por unidad de volumen, e.j. kg/m^3 , m^3/m^3 o ppb

σ_y , σ_z = coeficientes de difusión, en m, en función de la distancia x
Aguas abajo del viento

El sistema de coordenadas para la ecuación 5 está dado por:

$x = 0$ en el foco (chimenea).

$y = 0$ en la línea central de la pluma.

$z = 0$ en el terreno.

Cuando la altura efectiva del foco emisor es H , entonces la coordenada z en la línea central de la pluma es $(z - H)$, y la ecuación 5 queda de la siguiente forma:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.6)$$

Los coeficientes de dispersión, σ_y , σ_z , pueden ser obtenidos mediante gráficos basados en las clases de estabilidad (figuras 2.8 y 2.9). La estabilidad está relacionada tanto con la turbulencia atmosférica como con el gradiente vertical de temperatura y las situaciones de inversión térmica. Una atmósfera “neutra” ocurre cuando el gradiente de temperatura ambiental es igual al gradiente de temperatura seca adiabática, es decir, la velocidad de enfriamiento es igual a $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$, aproximadamente. En este caso, si el volumen de aire se desplaza en sentido ascendente o descendente, su temperatura se ajustará a la de los alrededores. En cualquier nueva posición, no experimenta ninguna fuerza que lo incite a ajustar su posición nuevamente, es decir, la gravedad no intentará moverlo hacia abajo o hacia arriba [15]. A continuación en la tabla 2.6 se muestran las categorías de Pasquill de estabilidad de la atmósfera.

Tabla 2.6. Clases de estabilidad de Pasquill [18]

Velocidad del viento (m/s)	Insolación diurna			Día o Noche Cubierto (8/8)	Condiciones nocturnas Nubosidad		
	Fuerte	Moderado	Ligero		Seminub. > 4/8	Despejado 3/8	3/8
< 2	A	A-B	B	D	-	-	
2-3	A-B	B	C	D	E	F	
3-4	B	B-C	C	D	D	E	
4-6	C	C-D	D	D	D	D	
> 6	C	D	D	D	D	D	

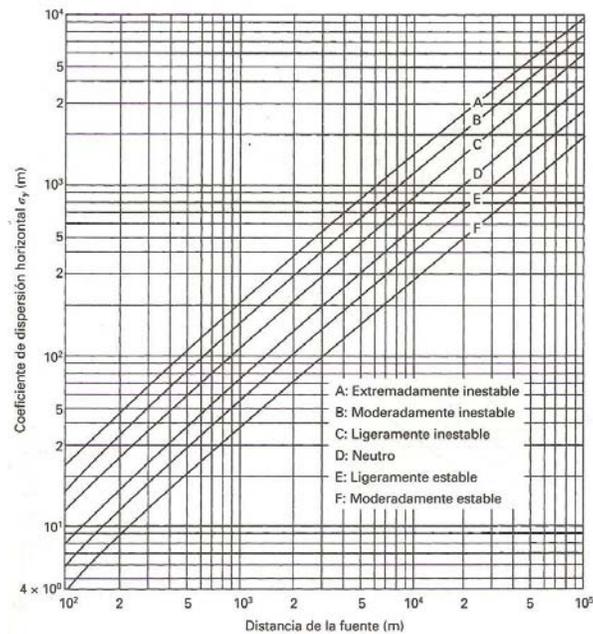


Figura 2.8. Correlaciones para σ_y basadas en las clases de estabilidad A-F de Pasquill (Gifford, 1961) [15]

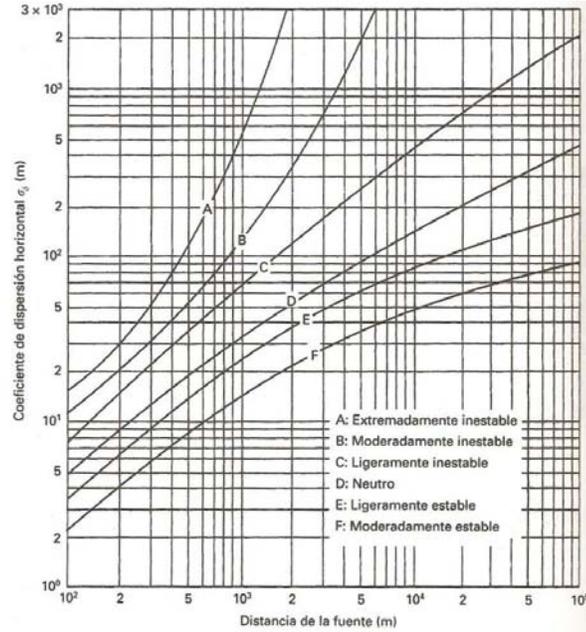


Figura 2.9. Correlaciones para σ_z basadas en las clases de estabilidad A-F de Pasquill (Gifford, 1961) [15]

La difusión molecular en la columna de humo no representa la única causa del mezclado con el aire circundante, la razón más importante es el mezclado turbulento a gran escala. En una toma instantánea de tiempo la pluma aparecerá con una forma similar a una serpiente, pero se va rotando de manera aleatoria causado por el movimiento turbulento de la atmósfera, sin embargo, la forma global sería semejante, lo que genera que en el tiempo parezca uniforme y simétrica (figura 2.10). Los resultados obtenidos por los cálculos de columna de humo gaussiana deben considerarse como promedios durante periodos de al menos 10 minutos y, de preferencia 30 minutos [16].

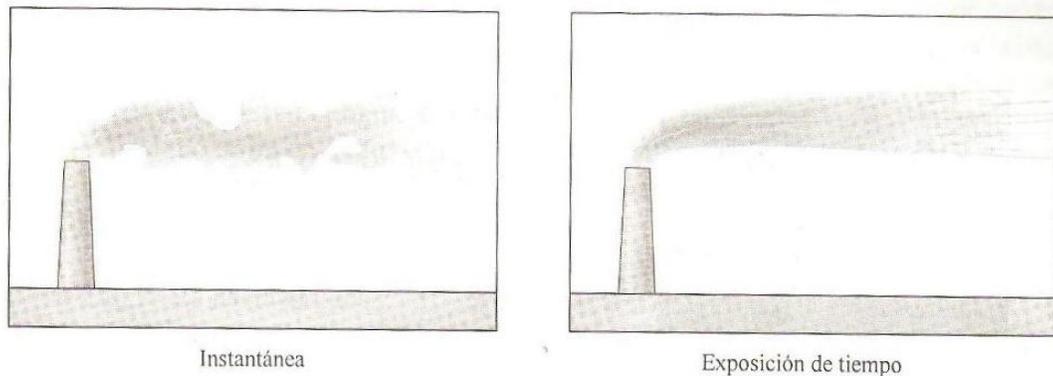


Figura 2.10. Comparación de una exposición instantánea y una de tiempo de una columna visible de humo

La técnica gaussiana es la que se usa mayormente para contaminantes no reactivos, proporciona una excelente aproximación matemática a la dispersión de contaminantes. La mayoría de modelos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos son gaussianos.

2.5.2.- Modelos numéricos

Este tipo de modelos es usado cuando los contaminantes analizados están reaccionando y formando contaminantes secundarios. Son mucho más apropiados que los modelos gaussianos para análisis de una fuente de área urbana cuando están involucrados contaminantes reactivos; pero requieren bases de datos mucho más extensas y complejas, por lo cual no son usados ampliamente.

Sus aplicaciones más comunes son para la formación de ozono y en el estudio de la conversión de SO_2 y NO_x para formar sulfatos y nitratos que contribuyen a la lluvia ácida [19].

Los modelos numéricos son obtenidos a partir de las características químicas y físicas, relacionadas con los fenómenos de transporte, difusión, transformación y remoción de contaminantes

2.5.3.- Modelos estadísticos o empíricos

Las técnicas estadísticas o empíricas son frecuentemente empleadas donde los procesos químicos y físicos no poseen una clara interpretación científica, o en situaciones donde no se cuente con una fiable y completa base de datos.

Están basados en técnicas estadísticas o semi-empíricas para analizar tendencias, relaciones de la calidad del aire, las mediciones atmosféricas y para predecir la evolución de situaciones de contaminación de corto plazo. Lo anterior se hace utilizando análisis de distribución de frecuencias, análisis de series de tiempo y otros métodos estadísticos.

Los modelos empíricos sólo pueden ser aplicados en las localidades que dieron origen a las base de datos utilizadas, y únicamente un estudio profundo de los criterios de elaboración de estos modelos pueden lograr su extrapolación a otros sitios [20].

Poseen limitaciones por cuanto no se pueden establecer relaciones causa-efecto; sin embargo son muy útiles para realizar predicciones de corto plazo en tiempo real en donde se cuenta con información de concentraciones y sus tendencias.

2.5.4.- Modelos físicos

Los modelos físicos tratan de simular los procesos atmosféricos por medio de una representación a escala reducida de la verdadera situación.

Estos modelos involucran el uso de túneles de viento, canales de agua u otros medios para modelar fluidos. Requieren un alto nivel técnico especializado, así como el acceso a los recursos necesarios. Pueden ser muy útiles para simular situaciones de flujo complejo, con terrenos muy irregulares, donde se presentan edificaciones o sobre alturas del terreno sobresalientes. Es aplicable a un grupo de fuentes agrupadas en unos pocos kilómetros cuadrados [19].

Esta es la mejor técnica y la más aproximada a la realidad, sin embargo, es poco utilizado por los recursos que se deben disponer. Una de las limitaciones de los modelos físicos radica en la casi nula capacidad de relacionar las emisiones con la calidad del aire, ya que no pueden incluirse las condiciones meteorológicas ni las fuentes existentes en una zona.

2.6.- SIMULADOR CANARY BY QUEST ®

La herramienta de simulación CANARY by Quest ® permite predecir la magnitud y severidad de las consecuencias que pueden resultar cuando se libera un fluido inflamable o tóxico a la atmósfera [21].

Los riesgos que pueden modelarse mediante este programa son:

Nubes de vapores inflamables creadas por la descarga de gases o líquidos inflamables.

Nubes de vapores tóxicos creadas por la descarga de gases o líquidos tóxicos.

Radiación emitida por incendios de charco, antorchas, mechurrios y “BLEVE” (boiling liquid expanding vapour explosion).

Sobrepresión por ondas expansivas creadas por la explosión de nubes de vapor confinadas o no confinadas.

El funcionamiento de este programa para el cálculo de dispersión de vapores tóxicos puede resumirse de la siguiente forma [21]:

Propiedades del fluido: el fluido se define dentro del programa mediante la composición y las condiciones de presión y temperatura en el punto de descarga. El simulador utiliza esta información para calcular las propiedades termodinámicas de la corriente mediante la ecuación de estado de Peng – Robinson:

$$Z^3 - (1 - B) \times Z^2 + (A - 3B^2 - 2B) \times Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (2.7)$$

$$\text{donde, } Z = \frac{PV}{RT} \quad (2.8)$$

$$A = \frac{a \times P}{R^2 \times T^2} \quad (2.9)$$

$$\alpha = 1 + m \times (1 - T_r^{0.5})^2 \quad (2.10)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (2.11)$$

$$m = 0.37464 + 1.54226 \times w - 0.26992 \times w^2 \quad (2.12)$$

$$a = \frac{0.45724 \times R^2 \times T^2}{P_c} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{b \times P}{R \times T} \quad (2.14)$$

$$b = \frac{0.0778 \times R \times T_c}{P_c} \quad (2.15)$$

Z = factor de compresibilidad

P = presión del sistema, kPa

V= volumen específico del fluido, m³/kgmol

R= constante universal de los gases ideales, 8,314 m³.kPa/kgmol.K

T = temperatura absoluta, K

T_c = temperatura pseudo -crítica, K

P_c = presión pseudo -crítica, kPa

T_r = temperatura pseudo – reducida

Condiciones ambientales: se deben describir los siguientes datos ambientales que alimentarán los modelos de simulación: velocidad del viento, altura a la cual fue medida la velocidad del viento, estabilidad ambiental (Pasquill- Guifford), humedad relativa, temperatura ambiente, temperatura de

la superficie cerca del punto de descarga, tipo de superficie que mejor describe el área donde se localiza la descarga.

Modelos de cálculos: dependiendo del tipo de análisis a realizar, CANARY dispone de los siguientes métodos: modelo de radiación para incendios de charco, modelo de radiación para antorchas y mechurrios, modelo para bolas de fuego, modelo para descarga de fluidos desde rupturas en recipientes o tuberías, modelo de dispersión de una descarga tipo “jet”, modelo de dispersión de gases pesados, modelo para el cálculo de la sobrepresión generada en una explosión, modelo para la explosión de una nube de vapor.

El modelo utilizado por el simulador para el análisis requerido en este proyecto es llamado “Momentum jet dispersion model”, el cual predice el desplazamiento de una descarga tóxica o inflamable, de un fluido regulado y liberado tipo “jet”, aguas abajo del punto de descarga en la dirección del viento. A continuación se describe la metodología empleada:

Se asume que el flujo perpendicular al flujo principal en el penacho es despreciable, que los perfiles de velocidad y concentración en la corriente son similares en todas las secciones, que el transporte molecular en la corriente es despreciable y que el transporte turbulento longitudinal es despreciable cuando se compara con el transporte convectivo longitudinal.

Una vez establecidas las hipótesis, se define el sistema de coordenadas, en “s” y “r”, donde “s” es la trayectoria en la longitud de la pluma y “r” es la distancia radial desde la línea central de la pluma. El ángulo entre el eje del penacho y la horizontal es denominado θ . La relación entre el

eje horizontal “x” y el eje vertical “y” con el nuevo sistema de coordenadas viene dada por:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta \quad (2.16)$$

$$\frac{dy}{ds} = \text{sen} \theta \quad (2.17)$$

Se asume que los perfiles de velocidad, concentración y densidad son cilíndricamente simétricos sobre el eje de la pluma y gaussiano en su forma. Los tres perfiles son tomados como:

$$u(s, r, \theta) = U_a \cos \theta + u^*(s) e^{-r^2 / b^2(s)} \quad (2.18)$$

donde, u = velocidad de la pluma, m/s.

Ua = velocidad del viento, m/s.

u* = velocidad de la pluma relativa al viento en la dirección aguas abajo en el eje de la pluma, m/s.

b (s)= ancho característico de la pluma a la distancia “s” desde la descarga, m.

$$\rho(s, r, \theta) = \rho_a + \rho^*(s) e^{-r^2 / \lambda^2 b^2(s)} \quad (2.19)$$

Donde, ρ= densidad de la pluma, kg /m³

$\rho^*(s)$ = diferencia de densidad entre el eje de la pluma y aire, kg /m³

λ = número turbulento de Schmidt, 1,35

$$c(s, r, \theta) = c^*(s) e^{-r^2 / \lambda^2 b^2(s)} \quad (2.20)$$

donde, c = concentración del contaminante en la pluma, kg /m³

$c^*(s)$ = concentración en la línea central de la pluma, kg /m³

La ecuación correspondiente a la mezcla del aire dentro de la pluma es la siguiente:

$$\frac{d}{ds} \left(\int_0^{b\sqrt{2}} \rho u 2\pi dr \right) = 2\pi b \rho_a \{ \alpha_1 |u^*(s)| + \alpha_2 U_a |\sin \theta| \cos \theta + \alpha_3 u' \} \quad (2.21)$$

donde: α_1 = coeficiente de mezclado para un jet libre, 0,057.

α_2 = coeficiente de mezclado para una línea térmica, 0,5.

α_3 = coeficiente de mezclado debido a la turbulencia, 1,0.

u' = velocidad de mezclado turbulento (se usa la raíz cuadrada de la fluctuación de la velocidad del viento).

Las ecuaciones de conservación de la masa, momentum y energía vienen dadas por:

$$\frac{d}{ds} \left(\int_0^{b\sqrt{2}} c u 2 \pi dr \right) = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{d}{ds} \left(\int_0^{b\sqrt{2}} (\rho u^2 \cos \theta 2 \pi dr) \right) = 2 \pi b \rho_a U_a \{ \alpha_1 |u^*(s)| + \alpha_2 U_a |\sin \theta| \cos \theta + \alpha_3 u \} + C_d \pi b \rho_a U_a |\sin^3 \theta| \quad (2.23)$$

$$\frac{d}{ds} \left(\int_0^{b\sqrt{2}} \rho u^2 \sin \theta 2 \pi dr \right) = \int_0^{b\sqrt{2}} g(\rho_a - \rho) 2 \pi r dr \pm C_d \pi b \rho_a U_a^2 \sin^2 \theta \cos \theta \quad (2.24)$$

$$\frac{d}{ds} \left(\int_0^{b\sqrt{2}} \rho u \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{a0}} \right) 2 \pi r dr \right) = \rho_a 2 \pi b \left(\frac{1}{\rho_a} - \frac{1}{\rho_{a0}} \right) \{ \alpha_1 |u^*(s)| + \alpha_2 U_a |\sin \theta| \cos \theta + \alpha_3 u \} \quad (2.25)$$

El subíndice “0” se refiere a las condiciones en el punto de descarga. Estas ecuaciones son integradas a lo largo de la trayectoria de la pluma generando los perfiles de concentración como una función de la elevación y la distancia aguas abajo.

Una vez resuelta las ecuaciones en estado estacionario, se aplica un factor de corrección cuando la duración de la descarga es muy corta y si la pluma alcanza el suelo se complementa con un modelo incluido en el CANARY para la dispersión de gases pesados, el “Heavy gas dispersion model”.

2.7.- SIMULADOR HYSYS

El programa HYSYS, versión 3.2, desarrollado por Hyprotech, Ltd, y comercializado por la empresa Aspen Technology Inc, es un simulador de procesos que permite crear modelos rigurosos en estado estacionario y modelos dinámicos para el diseño de plantas, monitoreo y análisis de problemas operacionales. HYSYS dispone de una interfaz interactiva que permite la modificación de variables de procesos en las diferentes unidades de operación para la predicción de las propiedades de los fluidos involucrados. Los siguientes ítems pueden esquematizar el funcionamiento del programa [22]:

Propiedades de los fluidos: los fluidos pueden definirse dentro del simulador utilizando cualquiera de las siguientes opciones: componentes de la librería del simulador, componentes pseudo hipotéticos, componentes definidos a los cuales se les modifica su contenido en la librería o mediante la generación de series de pseudo componentes en muestras para los ensayos de crudo o condensado. Para los fluidos de composición conocida HYSYS dispone de diferentes paquetes para el cálculo de las propiedades termodinámicas, entre ellos: Peng - Robinson, Soave - Redlich - Kwong, Wilson, Lee – Kesler – Plocker.

Unidades de operación: dentro de los equipos que pueden ser simulados en este programa se encuentran: intercambiadores de calor, separadores, bombas, columnas de destilación, expansores, compresores, tuberías, reactores, etc.

Modelos de cálculos: mediante HYSYS se pueden evaluar nuevos sistemas o evaluar algunos ya existentes, se calculan transferencias de calor, caídas de presión en tuberías, se dimensionan equipos, entre otros.

2.8.- TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES

Los principales métodos empleados para la reducción de emisiones de BTEX son la incineración y la condensación.

2.8.1.- Incineración

La incineración puede destruir hasta el 99,9 por ciento de BTEX e hidrocarburos parafínicos formando dióxido de carbono y agua [10].

En la mayoría de los casos los vapores de salida de la torre regeneradora de sistemas de deshidratación de gas con glicol tienen bajas concentraciones de hidrocarburos, requiriendo para su regeneración cantidades considerables de gas combustible para generar la combustión. En algunos países este punto es el que define la decisión durante la evaluación económica, no obstante, en Venezuela el costo del gas es considerablemente menor al de otros países (e.j. EEUU).

En toda combustión o incineración, la combustión incompleta es un problema permanente, pueden producirse productos intermedios entre los componentes originales y el dióxido de carbono y agua que por si mismo son perjudiciales (aldehídos, dioxinas, furanos). Todos los incineradores relacionados con la contaminación del aire se diseñan para que la combustión sea tan completa como resulte práctico y que las emisiones de productos de una combustión incompleta sean lo más pequeña posible [15].

Cuando el gas contaminado no se somete a las temperaturas adecuadas o el tiempo de residencia no es suficiente, es probable que se emitan grandes cantidades de BTEX con los gases de combustión.

Adicionalmente, existen otros sub-productos contaminantes que pueden producirse durante la incineración: gases ácidos, dependiendo del contenido de compuestos halogenados; óxidos de nitrógeno (NO_x), se produce en mayor proporción a medida que la combustión se genera a temperaturas más altas; óxidos de azufre (SO_x), se produce por el contenido de compuestos sulfurados en el gas contaminado; monóxido de carbono (CO) por la combustión incompleta de hidrocarburos.

2.8.2.- Condensación

Mediante este método se puede recuperar hasta un 80 por ciento del BTEX e hidrocarburos parafínicos presentes en la mezcla.

El método convencional consta de un condensador y un separador trifásico (agua, hidrocarburos, gas). Cada una de ellas contiene una fracción del BTEX absorbido (figura 2.11).

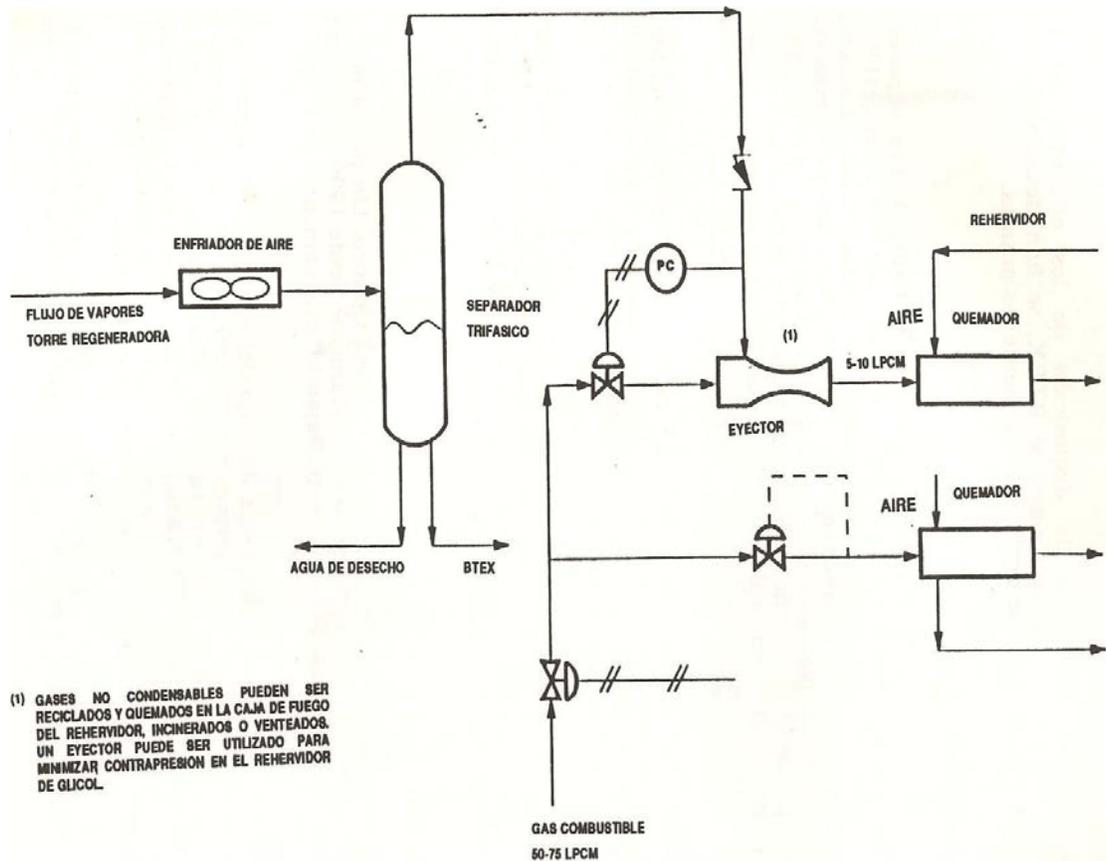


Figura 2.11. Método convencional de control de emisiones de BTEX [23]

La fase acuosa puede contener una fracción de BTEX de 1000 ppmv, aproximadamente, la cual depende de la temperatura del condensador. Este valor puede exceder algunas normativas ambientales y puede requerir tratamiento para su uso o disposición [23].

La fase hidrocarburos puede contener entre 60 y 80 por ciento de BTEX. Se debe disponer facilidades de almacenamiento porque este producto puede tener valor comercial, dependiendo de sus características.

La fase de vapor está compuesta por el gas de despojo (siempre y cuando el sistema de glicol lo utilice) y por el 20 por ciento de BTEX restante, aproximadamente. En caso de no cumplir con las regulaciones ambientales, esta corriente no puede ser descargada a la atmósfera, puede incinerarse previamente.

A partir del método convencional se han desarrollado diversas tecnologías, en busca de mejorar la disposición de los efluentes y aumentar la recuperación de BTEX.

2.8.2.1.- Proceso R-BTEX

Este proceso recupera más del 97 por ciento de los BTEX y más del 96 por ciento de los COV absorbidos por el glicol. El agua generada es limpia [23].

Una vez que los vapores salen de la torre regeneradora pasan a través de un enfriador por aire, donde son condensados algunos hidrocarburos y la mayor parte del agua. Esta corriente se dirige a un enfriador por agua donde se condensa la mayoría de los hidrocarburos gaseosos y luego pasa hacia un separador trifásico. La pequeña cantidad de hidrocarburo no condensando puede ser comprimido para ser utilizado como gas combustible, quemado o venteado, dependiendo de las regulaciones. La fase hidrocarburo se decanta y almacena para ser transportada o vendida (figura 2.12).

El agua que aún contiene BTEX se combina con el fondo de la torre de enfriamiento y se usa como elemento refrigerante en enfriador de agua. El agua pasa luego a una torre empacada donde es enfriada por aire alimentado por un soplador.

Este proceso es relativamente complejo y la corriente de venteo de la torre de enfriamiento en algunos casos no cumple con las regulaciones ambientales.

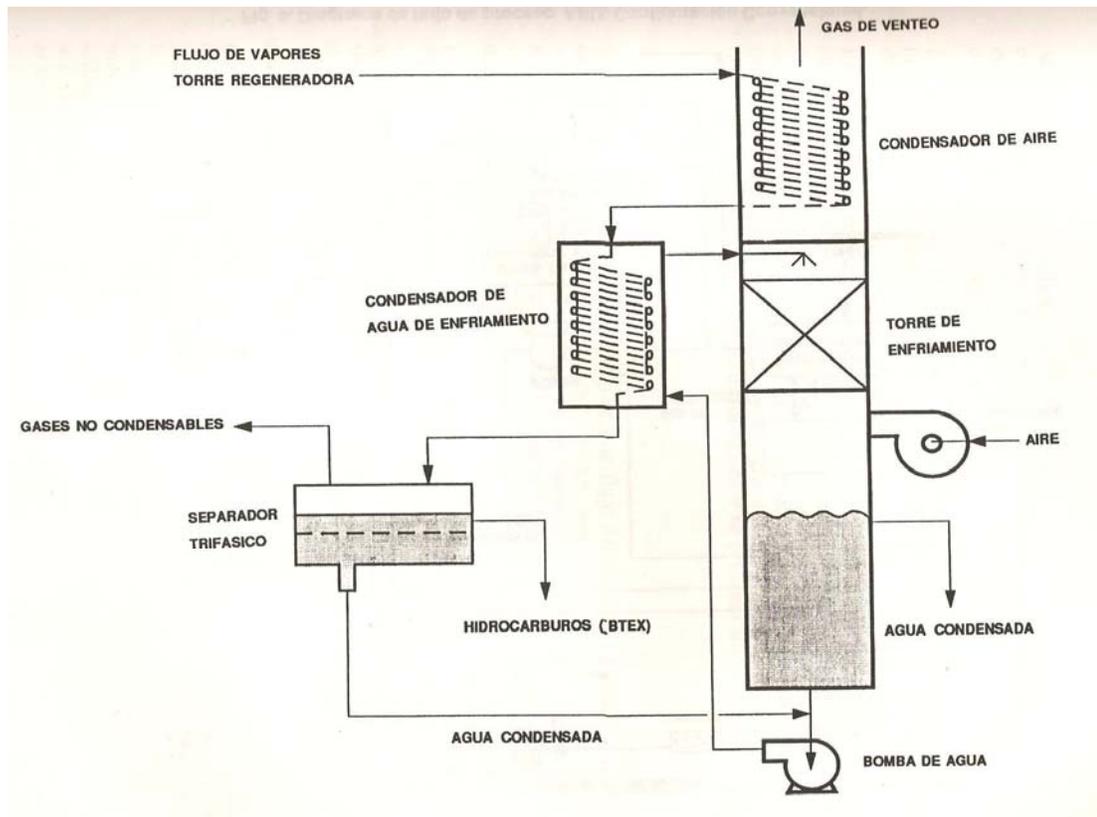


Figura 2.12. Proceso R-BTEX [23]

2.8.2.2.- Proceso MTR- PerVap

El proceso consiste de un enfriador, un separador trifásico y un sistema de membrana para remover los hidrocarburos presentes en el agua de desechos. El proceso genera un agua limpia, con un contenido de BTEX menor a 10 ppmp [23] (figura 2.13).

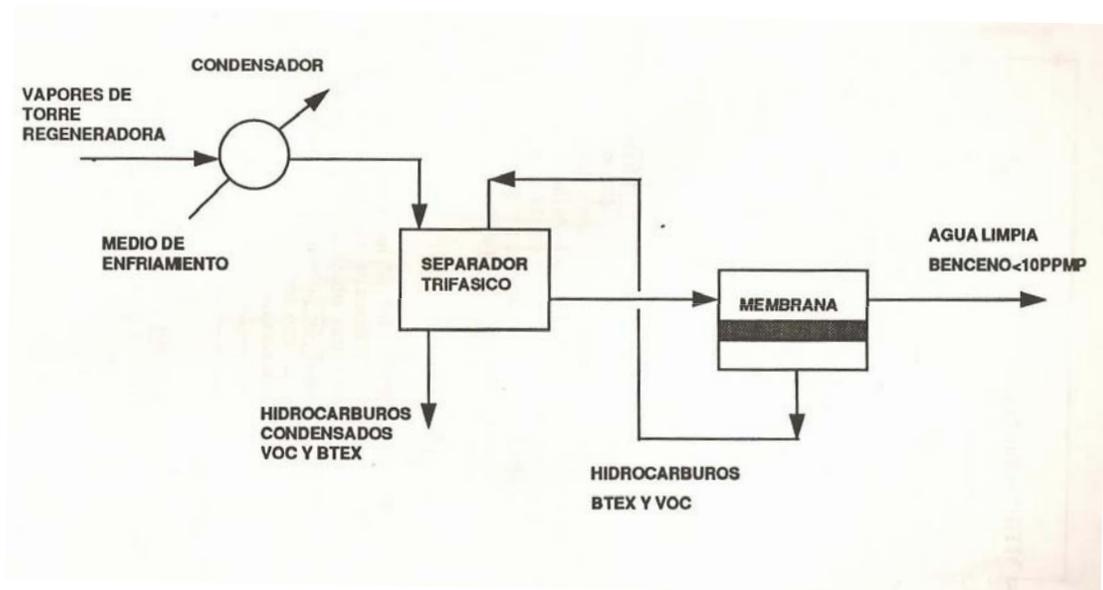


Figura 2.13. Proceso MTR-PerVap [23]

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio reúne las condiciones metodológicas para un tipo de investigación aplicada, debido a que se utilizó el conocimiento científico para dar solución a un problema presente en una de las instalaciones de la industria gasífera venezolana, la planta de Extracción San Joaquín.

3.2.- ETAPAS DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO

A continuación se describirán las etapas asociadas al desarrollo del proyecto para la evaluación de la emisión de COV en los sistemas de deshidratación:

3.2.1.- Revisión bibliográfica

Esta etapa permitió recolectar la información requerida para el proyecto, así como los estudios previos que se han realizado en plantas similares asociados al tema de evaluación. Por otro lado, se ubicaron las bases teóricas y los datos de los equipos para ejecutar el análisis de dispersión, así como las tecnologías existentes en el mercado para la disminución del contenido de BTEX y COV. Se consultaron manuales, revistas, informes técnicos, publicaciones de Internet, textos, normas, entre otros.

3.2.2.- Caracterización de COV emitidos al ambiente por los rehervidores de trietilenglicol

Un estudio realizado por Intevep para determinar cuál es el método más apropiado para calcular las emisiones de BTEX, concluye lo siguiente [23]:

El método de muestro de condensación de captura total es el más preciso para determinar las emisiones de BTEX. Sin embargo, no es práctica su utilización para unidades con capacidad de procesamiento de gas mayor a 10 MMPCED.

El método de balance de masa de glicol rico – glicol pobre es el más adecuado y práctico. Las muestras de glicol pueden ser tomadas a presión atmosférica en una botella de vidrio, llenada hasta que la espuma alcance el tope de la misma. Después el recipiente debe ser herméticamente sellado y enfriado para minimizar las posibles pérdidas de hidrocarburos.

Los métodos de captura parcial, balance de gas húmedo - gas seco y medición convencional de gases de chimenea tienen una imprecisión muy alta.

Para realizar estimaciones de emisiones de BTEX y VOC en sistemas de deshidratación de gas con glicol se recomienda la utilización del programa “GRI-GLYCalc”, debido a que este programa ha sido desarrollado para evaluar este tipo de problemas y su precisión ha sido validada en un intervalo de operación más alto que los simuladores comerciales de proceso.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se escogió el método de balance de glicol rico – glicol pobre, empleando las recomendaciones

realizadas para el muestreo. En primer lugar, se recolectaron los datos requeridos de presión, temperatura y flujo del Sistema de Control Distribuido (DCS) y del campo, y se realizaron los análisis cromatográficos, porcentaje de agua y densidad de las muestras de trietilenglicol a la entrada y salida del rehervidor, para cada sistema de regeneración. A continuación se presentan los procedimientos seguidos para realizar los análisis de laboratorio:

Determinación de hidrocarburos saturados por cromatografía de gases con detector de ionización de llama, bajo un procedimiento de estandarización interna de la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Simón Bolívar [24].

Determinación de BTEX y demás hidrocarburos aromáticos por cromatografía de gases con detector selectivo de masas, bajo un procedimiento de estandarización interna de la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Simón Bolívar [24].

Porcentaje de agua bajo la norma ASTM E 203, “Standard Test Method for Water Using Volumetric Karl Fischer Titration” [25].

Densidad mediante un procedimiento interno de la Unidad de Control de Calidad de la planta de Extracción Santa Bárbara, IL ESB-013, bajo el principio de Arquímedes [26].

Al obtener los resultados, se procedió a realizar un balance de masa para determinar el contenido de COV, en especial de BTEX emanados al ambiente.

3.2.3.- Simulación del análisis de dispersión de los gases emitidos por los rehervidores mediante el software “CANARY by Quest ®”

Una vez caracterizadas las corrientes de salida de las chimeneas de los rehervidores de glicol, se realizaron los cálculos de las dispersiones de vapores tóxicos mediante el programa de simulación CANARY by Quest ®, versión 4.0, registrado por la compañía Quest Consultants Inc [21]. Este programa está aprobado por PDVSA para la estimación de consecuencias en la norma IR-S-02 “Criterios para el Análisis Cuantitativo de Riesgos” [27].

Al iniciar el simulador aparece una pantalla que permite: crear un proyecto, introducir los datos, ejecutar la simulación, ver los resultados, editar o borrar un caso en específico (figura 3.1). Para insertar los datos se escoge “input” y se despliega una ventana donde se definen los detalles del usuario y el tipo de caso a realizar: Dispersión de vapor / Explosión de una nube de vapor “VCE”, Explosión, Incendios de charco, Antorcha / Mechurrio y Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición “BLEVE”.

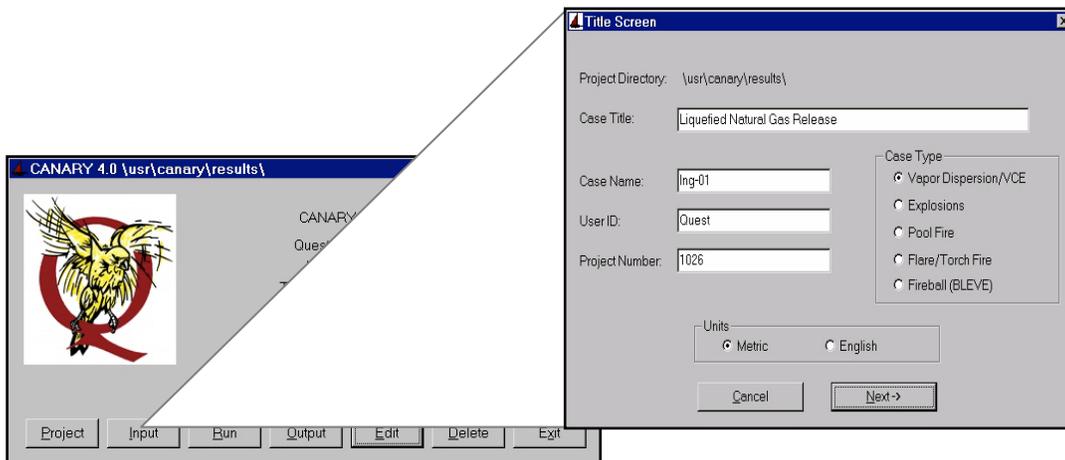


Figura 3.1. Ventanas del simulador CANARY by Quest ®

Posteriormente, se despliega una pantalla para seleccionar los componentes de la mezcla involucrados en el análisis (figura 3.2). La mezcla puede ser caracterizada por 10 componentes individuales como máximo, los cuales son escogidos de una base de datos de 250 compuestos. Se debe introducir en esta ventana las condiciones de presión y temperatura del fluido a la descarga.

ID #	Component Name	Mole Fraction
1	1 - CH4 Methane	0.94
2	2 - C2H6 Ethane	0.03
3	3 - C3H8 Propane	0.02
16	16 - N2 Nitrogen	0.005
17	17 - CO2 Carbon Dioxide	0.005
0		0
0		0
0		0
0		0
0		0
0		0

Initial Phase: Vapor Liquid 2-Phase

Sum of Mole Fractions: 1

Temperature: -161.00 C

Pressure: 115.114 kPa

Bubble point pressure: 111.151 kPa Dew point pressure: 0.0200188 kPa
 Bubble point temperature: -160.55 C Dew point temperature: -102.43 C

< Previous Cancel Next >

Figura 3.2. Ventanas de selección de materiales en CANARY byQuest ®

La ventana mostrada en la figura 3.3, representa la pantalla donde se incluyen las condiciones ambientales:

Velocidad del viento.

Altura a la cual fue medida la velocidad del viento.

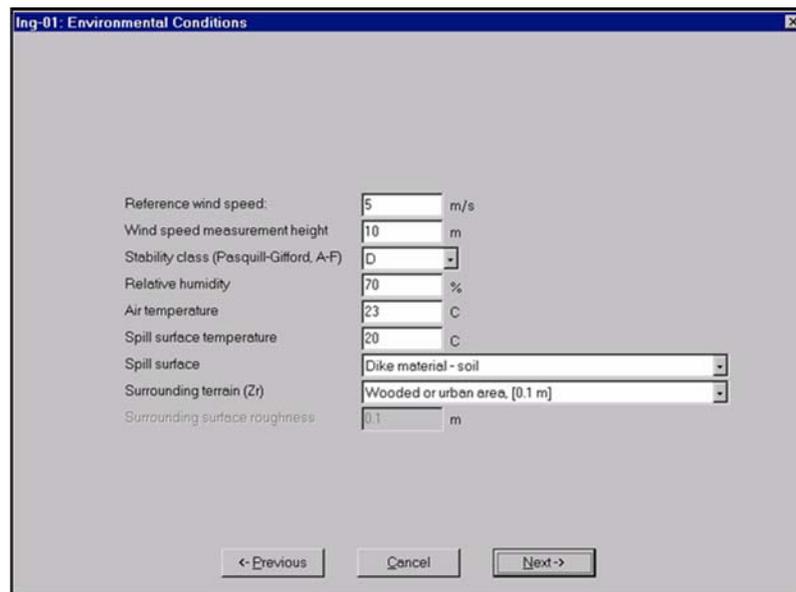
Estabilidad ambiental (Pasquill- Guifford).

Humedad relativa.

Temperatura ambiente.

Temperatura de la superficie cerca del punto de descarga.

Tipo de área que mejor describe los alrededores a la superficie de descarga (urbana, de proceso, despejada), etc.



Parameter	Value	Unit
Reference wind speed:	5	m/s
Wind speed measurement height	10	m
Stability class (Pasquill-Gifford, A-F)	D	
Relative humidity	70	%
Air temperature	23	C
Spill surface temperature	20	C
Spill surface	Dike material - soil	
Surrounding terrain (Zr)	Wooded or urban area, [0.1 m]	
Surrounding surface roughness	0.1	m

Figura 3.3. Ventanas de condiciones ambientales en CANARY byQuest ®.

Al escoger la opción “Vapor Dispersión / VCE” en la ventana donde se describe el proyecto, figura 3.1, se despliega la pantalla visualizada en la figura 3.4, donde puede escogerse entre un descarga instantánea o una descarga continua.

nh3prv: Release Description

Type of Release

Instantaneous Release Mass Released: 0 lb.

Continuous Release Release Duration: 60 minutes

Regulated Unregulated

Regulated flow rate: 2.5487 lb/s

Normal flow rate: 0 lb/s

Duration of normal flow: 0 min

Volume of vessel: 0 cu. ft.

Percent of vessel filled with liquid: 0 %

Liquid head above release point: 0 ft.

Pipe diameter: 0.255577 ft.

Release area (hole size): 0.0513331 sq. ft.

Pipe length upstream of break: 0 ft.

Pipe length downstream of break: 0.0 ft.

Height of release point: 18 ft.

Angle of release from horizontal: 90 deg.

< Previous Cancel Next >

Figura 3.4. Ventanas de descripción del fluido de descarga en CANARY by Quest ®.

El caso que se describe en este proyecto es una descarga continua y regulada debido a que el flujo liberado al ambiente es constante, para ello los datos requeridos son:

Flujo.

Diámetro de la tubería de alivio.

Área del orificio de descarga.

Altura del punto de alivio.

Ángulo de la descarga respecto a la horizontal.

El análisis de dispersión del vapor permite calcular concentraciones definidas para sustancias tóxicas o inflamables. Cuando se trata de descargas tóxicas puede determinarse el comportamiento de la mezcla o de un componente definido por el usuario, el cual deberá incluir en el programa las concentraciones de interés (figura 3.5).

Figura 3.5. Ventanas de datos para la dispersión de vapor en CANARY by Quest ®

3.2.4.- Comparación de las cantidades emitidas de BTEX y COV con las normativas nacionales e internacionales y su impacto ambiental

Se verificaron si las cantidades emanadas a la atmósfera y las concentraciones a nivel de suelo están dentro de los límites establecidos por el Decreto 638 [2] y la norma COVENIN 2253:2001 [3] de la legislación venezolana, así como dentro del estándar internacional de la “Occupational Safety and Health Administration (OSHA)” [4]. Adicionalmente, se indicaron

los posibles impactos que puedan ocasionarse sobre el ambiente y los seres humanos, si se exceden estas normativas.

3.2.5.- Identificación del área de riesgo

Con los resultados del análisis de dispersión se procedió a determinar el área de riesgo, donde las concentraciones de benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y COV en general, puedan superar los niveles de exposición establecidos por la “OSHA” [4] y la norma COVENIN 2253:2001 [3], y de esta forma afectar la salud de los seres humanos.

3.2.6.- Elaboración de propuestas que permitan minimizar las emisiones de gases BTEX y COV a la atmósfera

En esta etapa se estudiaron las diferentes opciones existentes en el mercado para disminuir el contenido de BTEX y COV emanados por los rehervidores de glicol, dentro de los límites establecidos por las normativas vigentes. Se utilizó información proveniente de los fabricantes y se desarrolló una propuesta utilizando la herramienta de simulación HYSYS, versión 3.2.

3.2.6.1.- Simulación de una propuesta para minimizar las emisiones de COV mediante el programa HYSYS

Al definir la corriente de salida del tope de los regeneradores de glicol se realizó una propuesta que permite la reducción de las emisiones de COV dentro de los límites establecidos por la legislación venezolana. Para ello fue necesaria la utilización de un programa de simulación de procesos: HYSYS.

El primer paso fue definir los componentes a emplear (figura 3.6).

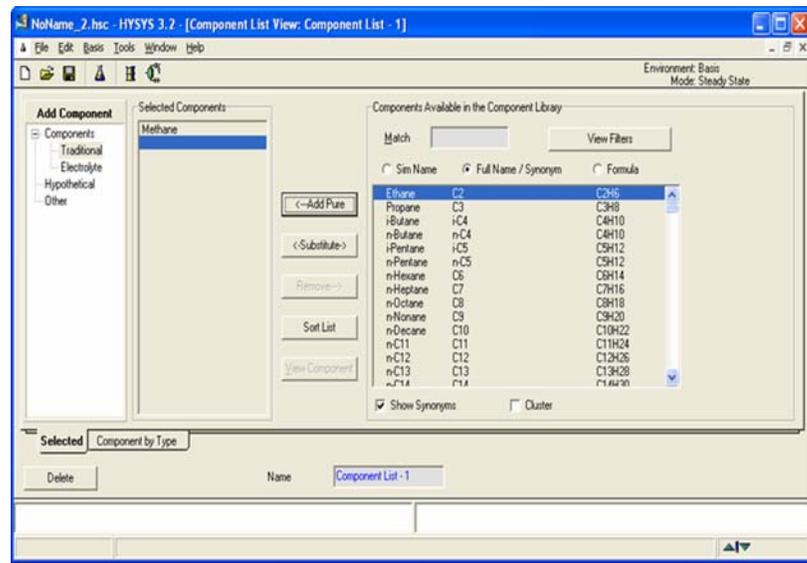


Figura 3.6. Ventana de componentes

El segundo paso es seleccionar el paquete de fluidos (fluid package), donde HYSYS recopila la información necesaria para realizar los cálculos de flash y de propiedades físicas. Esto permite definir todo lo pertinente a paquetes de propiedades, componentes, coeficientes de interacción, reacciones químicas, etc. En este caso se utilizó fue: Peng- Robinson modificado por HYSYS (figura 3.7).

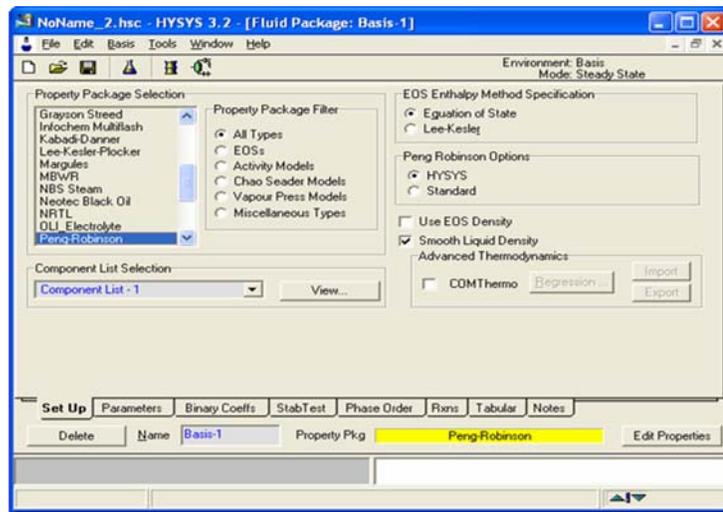


Figura 3.7. Ventana para definir el paquete de fluidos

Posteriormente, se puede iniciar la representación del diagrama de flujo de proceso, escogiendo en la barra de herramientas “Flowsheet” la opciones añadir corriente (“add stream”) o añadir operación (“add operation”) dependiendo de lo requerido, también puede seleccionarse la opción “Palette” donde se desplegará una ventana que muestra los equipos disponibles así como las corrientes (figura 3.8).

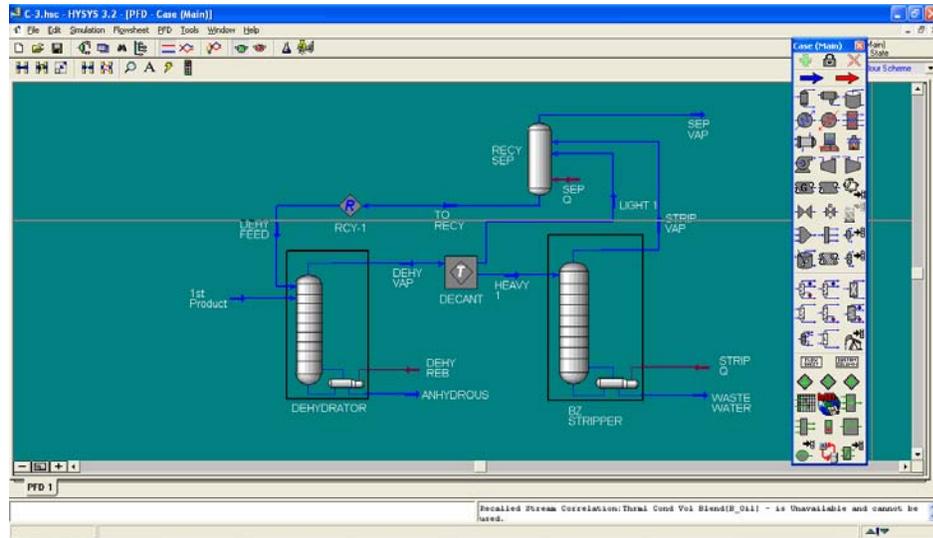


Figura 3.8. Diagrama de proceso en HYSYS

Para especificar una corriente o un equipo se deben seleccionar y hacer “doble click”, seguidamente se desplegarán la ventana correspondiente y podrán introducirse los datos. En la figura 3.9 se muestra un ejemplo para una torre de destilación.

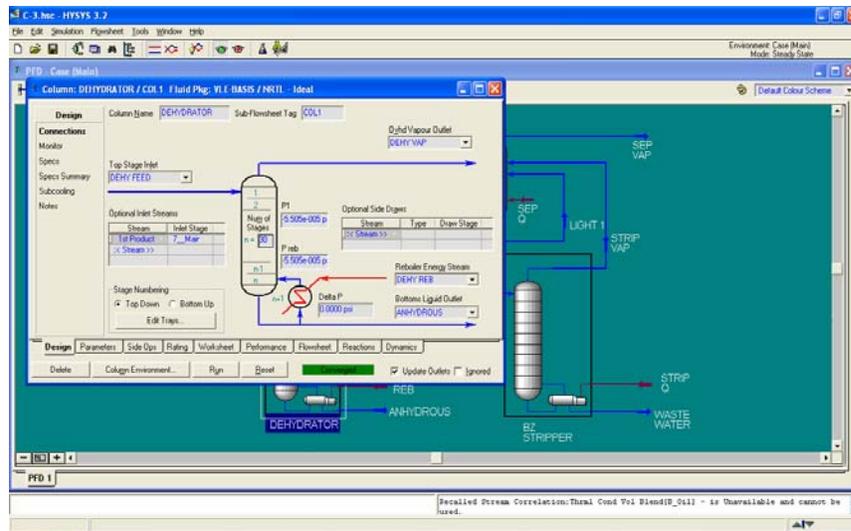


Figura 3.9. Ventana de datos de una columna de destilación

HYSYS resuelve automáticamente la simulación y a continuación se describe el código de colores que utiliza la interfaz.

Corriente de materia:

Azul claro: indica corriente fuera de especificación.

Azul oscuro: indica corriente especificada.

Corriente de energía:

Rojo: corriente fuera de especificación.

Vinotinto: corriente especificada.

Equipo u operación.

Rojo: indica equipo debidamente conectado o falta conexión.

Gris con bordes amarillos: indica que faltan parámetros por suministrar.

Gris con bordes negros: indica que el equipo está debidamente especificado.

3.3.- INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Los instrumentos y técnicas de recolección de la información a utilizados son los siguientes:

Revisión bibliográfica: mediante este instrumento se recopiló la información técnica necesaria para realizar y analizar el problema planteado, por ejemplo, ecuaciones, condiciones climatológicas, propiedades y diagramas de diseño de equipos.

Entrevistas dirigidas: se utilizaron entrevistas no estructuradas con el personal que labora en la planta de Extracción San Joaquín acerca de la situación actual de operación del sistema de deshidratación.

Levantamiento de campo: esta técnica permitió realizar inspecciones visuales y recopilar datos de operación de los sistemas de deshidratación, necesarios para el cumplimiento de los objetivos.

Análisis de laboratorio: se emplearon para definir las corrientes de salida del tope del regenerador de glicol y realizar el análisis de dispersión, con el objetivo de verificar si se alcanzan las concentraciones máximas permisibles por la norma venezolana COVENIN 2253:2001[3] y los límites de la “OSHA” [4]. Estos estándares se establecen para evitar que los trabajadores puedan sufrir efectos adversos a su salud.

3.4.- RECURSOS REQUERIDOS

Los recursos que se aplicaron para el desarrollo de este proyecto son los siguientes: humanos y tecnológicos.

Dentro de los recursos humanos se cuenta con el apoyo y la experiencia del personal de Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional y de Operaciones de planta de Extracción San Joaquín.

Dentro del recurso tecnológico se dispone de los siguientes equipos y programas: computador con programas bajo ambiente Windows: Microsoft Word, Excel, Power Point, entre otros, simulador CANARY by Quest ®, HYSYS, Sistema de Control Distribuido (DCS), Base de datos Infoplus 21, Bently View, impresora, fotocopidora, Internet.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1.- Caracterización de COV emitidos al ambiente por los rehervidores de trietilenglicol

Se tomaron muestras de glicol a presión atmosférica en la entrada y la salida de los rehervidores, se refrigeraron a 278 K (5°C) para garantizar la permanencia de los compuestos volátiles, de acuerdo a procedimiento recomendado por Intevap y la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Simón Bolívar. Los resultados de los análisis de laboratorio se muestran en el apéndice A, el contenido de glicol fue obtenido por diferencia.

Las composiciones de las corrientes de tope de los rehervidores de trietilenglicol se visualizan en la tabla 4.1 y se determinaron mediante balances de masa entre la entrada y la salida. Se observa que el contenido de hidrocarburos en porcentaje másico representa el 57,65 por ciento para el tren "A", donde el principal compuesto es el tolueno con 20,16 por ciento, seguido del benceno con 14,88 por ciento. En el tren "B" el comportamiento es similar, los hidrocarburos representan el 48,47 por ciento en peso, del cual el tolueno ocupa un 18,01 por ciento y el benceno un 13,16 por ciento.

Tabla 4.1. Composición de las corrientes de tope de los rehervidores.
Trenes "A" y "B"

COMPONENTE	TREN A		TREN B	
	% másico	% molar	% másico	% molar
METANO + ETANO	0,37	0,51	0,08	0,10
PROPANO	0,83	0,64	0,31	0,21
ISO-BUTANO	0,49	0,28	0,21	0,11
N-BUTANO	1,13	0,66	0,51	0,26
ISO-PENTANO	0,87	0,41	0,43	0,18
N-PENTANO	0,91	0,43	0,38	0,16
CICLOPENTANO	0,88	0,43	0,50	0,21
3-METILPENTANO	0,35	0,14	0,21	0,07
N-HEXANO	0,63	0,25	0,33	0,11
METILCICLOPENTANO	1,16	0,47	0,74	0,26
CICLOHEXANO	1,14	0,46	1,28	0,45
HC SATURADOS C7	3,10	1,05	1,98	0,59
HC SATURADOS C8	1,41	0,42	1,35	0,35
BENCENO	14,88	6,45	13,16	5,00
TOLUENO	20,16	7,41	18,01	5,80
ETILBENCENO	0,97	0,31	0,95	0,27
O-XILENO	1,39	0,44	1,71	0,48
M+P - XILENO	6,32	2,02	6,12	1,71
AROMÁTICOS C9+	0,66	0,18	0,20	0,05
Sub-total COV	57,65	22,94	48,47	16,36
COV	57,65	22,94	48,47	16,36
AGUA	40,82	76,72	50,69	83,48
GLICOL	1,53	0,34	0,84	0,17
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Las emisiones diarias de compuestos orgánicos volátiles se presentan en la tabla 4.2, las cuales fueron calculadas de forma teórica basadas en un flujo de glicol de operación normal de 85 gpm. En el apéndice B se ubicaron las muestras de cálculos de los balances generados para la obtención de estos resultados.

Al analizar el contenido de hidrocarburos emanados al ambiente se observa que es 11,7 por ciento mayor en el tren "A" con relación al tren "B"

según los cálculos, la causa principal es un incremento en el contenido de hidrocarburos entrando al rehervidor. La corriente de glicol que entra a la torre regeneradora del tren “A” contiene 1135 kg/d de COV más que la corriente del tren “B”, equivalentes a 10,1 por ciento, de acuerdo a los balances de masa. Ambos trenes procesan gas de un múltiple de entrada común, no obstante, debido a la configuración de las tuberías, el arrastre de hidrocarburos pesados se dirige principalmente al tren “A”.

Tabla 4.2. Emisiones diarias de los rehervidores de glicol. Trenes “A” y “B”

COMPONENTE	TREN A kg / día	TREN B kg / día
METANO + ETANO	72,4	16,7
PROPANO	165,0	65,0
ISO-BUTANO	96,7	44,6
N-BUTANO	223,8	107,9
ISO-PENTANO	171,7	91,8
N-PENTANO	180,8	80,5
CICLOPENTANO	174,9	105,7
3-METILPENTANO	70,3	44,0
N-HEXANO	124,5	69,8
METILCICLOPENTANO	230,2	155,2
CICLOHEXANO	225,3	270,6
HC SATURADOS C7	614,1	418,8
HC SATURADOS C8	280,1	283,8
BENCENO	2949,7	2777,9
TOLUENO	3997,0	3801,4
ETILBENCENO	192,0	200,2
O-XILENO	276,1	360,6
M+P - XILENO	1253,7	1291,8
AROMATICOS C9+	131,3	41,3
Sub-total	11429,3	10227,5
COV	11429,3	10227,5
AGUA	8093,4	10697,0
GLICOL	302,6	177,0
TOTAL	19825,3	21101,5

Al comparar los resultados obtenidos con el Decreto 638 de la legislación venezolana, se observa el incumplimiento de la “Norma sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica” [2]. En ambos trenes la emisión teórica se ubica en 21656,8 kg/día, la norma establece 6,8 kg/día. El 79 por ciento de las emisiones corresponden a BTEX, según los cálculos.

Si se comparan los valores de la tabla 4.2 con el estándar internacional de la “Clear Air Act” que indica que la emisión para una mezcla de contaminantes atmosféricos peligrosos (“HAP”) es de 25 Ton/año [5], la planta de Extracción San Joaquín alcanza el límite establecido anual en menos de 2 días de operación, teóricamente. La emanación de BTEX se ubica en 6241,6 Ton/año y el total descargado a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles es de 7904,7 Ton/año.

Cabe destacar, que la información obtenida fue corroborada mediante una simulación de la torre regeneradora del tren “A” en HYSYS, el flujo másico de COV en el tope utilizando el programa fue de 10948,4 kg/d, para una diferencia de 4,2 por ciento con relación al valor generado por el balance para este tren. Los reportes se presentan en el apéndice C.

La mayor parte de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en la planta son provenientes de los rehervidores de glicol. Al compararlas con los resultados experimentales del año 2004 presentados por la empresa Environmental Assessments Acasia, C.A, la medición realizada por esta compañía representa el 0,015 por ciento de los COV totales enviados a la atmósfera [7], cuando se consideran los regeneradores de glicol. Durante ese muestreo se midieron las chimeneas de los hornos D1-10/20301 y D1-11/21101. No obstante, no se contabilizaron las emisiones de los

turbocompresores de gas residual y turbogeneradores. Es recomendable realizar estos análisis para determinar la cantidad de emisiones totales de la planta en COV.

4.1.2.- Análisis de dispersión de los gases emitidos por los rehervidores de glicol

Una vez determinada la composición de la corriente de salida de los regeneradores se empleó la metodología presentada en la sección 3.2.3 para la simulación del análisis de dispersión, y se agrupó, entonces, la composición de forma que permitiera alcanzar diez compuestos, número máximo de sustancias que se pueden introducir en el programa CANARY by Quest®, ver tabla 4.3.

Tabla 4.3. Composición utilizada en el análisis de dispersión

COMPONENTE	TREN A		TREN B	
	% másico	% molar	% másico	% molar
C1-C3	1,20	1,14	0,39	0,30
C4-C5	4,28	2,20	2,04	0,92
HC C6	3,28	1,31	2,56	0,90
HC SATURADOS C7- C8	4,51	1,47	3,33	0,94
BENCENO	14,88	6,45	13,16	5,00
TOLUENO	20,16	7,41	18,01	5,80
ETILBENCENO	0,97	0,31	0,95	0,27
XILENO	7,72	2,46	7,83	2,19
AROMÁTICOS C9+	0,66	0,18	0,20	0,05
AGUA	42,35	77,06	51,53	83,64
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Los datos en el punto de descarga requeridos para el análisis se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Datos en el punto de descarga

VARIABLE	MAGNITUD
Diámetro de la tubería (plg / m)	10 / 0,2545
Altura del punto de descarga (m)	16,3
Ángulo de la descarga con respecto a la horizontal	90
Temperatura de la corriente (°F / K)	225 / 380
Presión (psia / kPa)	14,7 / 101,350

La información ambiental requerida puede visualizar en la tabla 4.5 y fue recopilada del “Estudio de impacto ambiental y socio cultural sobre las implicaciones de la construcción del nuevo tren de 600 MMPCSD, el nuevo edificio de oficinas y la nueva vialidad de acceso en la planta de Extracción San Joaquín en Anaco, Edo. Anzoátegui” [28].

Tabla 4.5. Datos ambientales [28]

VARIABLE	MAGNITUD
Velocidad del Viento (m/s)	4,86
Altura de referencia para la velocidad del viento (m)	10
Dirección predominante del viento (51%)	Noreste
Estabilidad	D
Humedad relativa mín. promedio (%)	72
Humedad relativa máx. promedio (%)	89
Temperatura mínima del aire (°C)	21
Temperatura promedio del aire (°C)	27
Temperatura máxima del aire (°C)	35

El simulador CANARY tiene dos limitaciones informadas por la empresa Quest Consultants Inc., la primera cuando las presiones de descarga o las velocidades son muy bajas y la segunda cuando existe grandes cantidades de agua mezclada con hidrocarburos. La resolución a estos dos problemas fue la siguiente:

Incrementar la presión en el punto de descarga.: la presión de operación del rehervidor es de 101,350 kPa (14,7 psia) y se aumentó a la máxima presión de trabajo por diseño que es de 135,789 kPa (19,7 psia).

Intercambiar el componente agua cuyo peso molecular es 18 kg/kgmol, por metano con un peso molecular de 16 kg/kgmol, en la ventana del CANARY mostrada en la figura 3.2. Este problema se presentó durante la simulación de la corriente de salida en el tren "A". Para comprobar que este efecto no tendría cambios significativos en los resultados finales, se realizó para el tren "B" la simulación tanto con el componente agua como con el componente metano. En la tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos, donde las desviaciones en distancia alcanzada para las diferentes concentraciones fueron menores a 1%.

Tabla 4.6. Diferencia en el uso del componente metano en lugar del componente agua para la dispersión de gases en CANARY - Tren "B"

Distancia aguas abajo del viento del componente Benceno	Agua	Metano	Desviación (%)
A la concentración C1 (m)	81,5	82,20	+0,75
A la concentración C2 (m)	36,7	37,03	+0,68

El tiempo de descarga recomendado para definir un flujo continuo en el simulador es de 60 minutos.

Al efectuar la simulación se determinó que teóricamente el compuesto que tiene mayor alcance en ambos trenes es el benceno (tablas 4.7 y 4.9). Adicionalmente, este compuesto se puede encontrar a nivel de suelo en condiciones normales, cabe destacar que el benceno es una sustancia cancerígena, mutagénica y teratogénica.

La concentración ambiental permisible (CAP) establecida por la norma COVENIN 2253:2001 [3] es conseguida a los 85,86 m desde la chimenea en el tren “A” (tabla 4.7) y a los 81,59 m en el tren “B” (tabla 4.9), es decir, cualquier persona que deba trabajar en el tren “A” dentro de un radio de 85,86 m alrededor de la chimenea de glicol debería utilizar equipos de protección personal. Para evitar la inhalación deben emplearse equipos de protección respiratoria. Adicionalmente, el benceno puede absorberse a través de piel, por ello deberían utilizarse trajes de protección dentro del área de impacto, se recomiendan de neopreno. No utilizar caucho natural porque el benceno lo disuelve.

Es resumen, toda persona teóricamente necesita equipos de protección personal contra benceno si labora en las siguientes áreas: tamices moleculares, filtros de sílica gel, filtros antes de sílica gel, sistema de regeneración de glicol, turbocompresores D4-10/20303, hornos, acumulador de aceite caliente, filtros de polvillo, intercambiadores gas - gas de alta presión, separador de entrada y salida de las válvulas J-T de alta presión, intercambiadores gas –gas de baja presión, separadores de entrada y salida de los turboexpansores, intercambiadores gas- líquido D2-10/20328/329/304/305 y en la parte del pasillo central de los trenes que se encuentra dentro del radio de acción.

Es importante destacar que el límite de exposición breve (LEB) es alcanzado a los 38,70 m en el tren “A” (tabla 4.7) y a los 36,78 m en el tren “B” (tabla 4.9), lo que significa que toda persona que labore entre la chimenea y esta distancia debe utilizar aparatos de respiración (equipos de aire suplido o aire autocontenido), así como traje de protección. En el caso del benceno no se recomienda el uso de equipos filtrantes o máscaras con cartucho debido a que la sustancia tiene propiedades de aviso escasas. En el apéndice D se presenta un extracto de la Guía de Protección respiratoria del fabricante 3M [29].

En la tabla 4.7 se muestran los resultados teóricos del análisis de dispersión de la chimenea del rehervidor de glicol tren “A” según la norma COVENIN 2253:2001 [3], y en la tabla 4.8 se visualiza la dispersión según los límites establecidos por la “OSHA” [4].

Las sustancias evaluadas que no presentan límite techo en la norma COVENIN 2253:2001, se utilizó sólo como referencia el cálculo del valor máximo permisible cinco veces la CAP según el artículo 4.1.2 [3].

Tabla 4.7. Dispersión de gases tren "A" según la norma COVENIN 2253:2001

COMPUESTO	1			2			3		
	CAP (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	LEB (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Máx. valor (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)
C1-C3	1389	0,46	0	4167	0,16	0	6945	0,06	0
C4-C5	600	1,25	0	800	1,05	0	3000	0,42	0
HC C6	300	1,39	0	1000	0,65	0	1500	0,48	0
HC SATURADOS C7- C8	300	1,49	0	500	1,09	0	1500	0,52	0
BENCENO	0,5	85,86	14	2,5	38,70	6	2,5	38,70	6
TOLUENO	50	9,25	1	188	4,67	1	250	4,02	1
ETILBENCENO	100	1,13	0	150	0,88	0	500	0,37	0
XILENO	100	3,64	1	150	2,93	0	500	1,49	0
AROMÁTICOS C9+	10	3,08	0	15	2,47	0	50	1,24	0

Tabla 4.8. Dispersión de gases tren "A" según la "OSHA"

COMPUESTO	1			2			3		
	CAP (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Techo (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Máx. valor aceptable por encima del límite techo (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)
C1-C3	1000	0,59	0	-	-		-	-	
C4-C5	1000	0,91	0	-	-		-	-	
HC C6	300	1,39	0	1000	0,65	0	-	-	
HC SATURADOS C7- C8	500	1,09	0	-	-		-	-	
BENCENO	10	19,41	3	25	12,25	2	50	8,62	1
TOLUENO	100	6,49	1	300	3,65	1	500	2,77	0
ETILBENCENO	100	1,13	0	-	-		-	-	
XILENO	100	3,64	1	150	2,93	0	-	-	
AROMÁTICOS C9+	10	3,08	0	-	-		-	-	

Se puede observar que la norma venezolana COVENIN 2253:2001 [3] en su tercera revisión es más exigente en los valores de las concentraciones ambientales permisibles (CAP) de sustancias químicas en lugares de trabajo que la "OSHA" [4], en los siguientes compuestos: pentano, heptano, octano, benceno y tolueno.

Al analizar los resultados obtenidos para determinar el área segura de acuerdo a la "OSHA" claramente está indicado que el benceno es el compuesto cuya CAP es alcanzada a una mayor distancia desde el punto de descarga, siendo ubicada a 19,41 m, seguido del tolueno que se consigue a 6,49 m. En cuanto al límite techo del benceno se encuentra a 12,25 m y el tolueno a 3,65 m. La OSHA indica adicionalmente, el valor máximo aceptado de concentración de benceno al que puede ser expuesto un trabajador durante la jornada por un tiempo de 10 minutos, según el análisis de dispersión teórico se alcanza a los 8,62 m.

La dispersión de los gases emanados por los rehervidores de glicol es casi instantánea, el compuesto que mayor tiempo presenta para alcanzar la concentración máxima permisible es el benceno con 14 segundos (tabla 4.7), es decir, cualquier incremento en el contenido de COV emitidos al ambiente se reflejará casi inmediatamente en la atmósfera de trabajo.

Los resultados de los análisis de dispersión teóricos para el tren "B" son similares a los del tren "A", en las tablas 4.9 y 4.10 se muestran las distancias alcanzadas para los diferentes límites de exposición según la norma COVENIN y la "OSHA", respectivamente.

Tabla 4.9. Dispersión de gases tren "B" según la norma COVENIN 2253:2001

COMPUESTO	1			2			3		
	CAP (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	LEB (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Máx. valor (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)
C1-C3	1389	0,12	0	4167	0,00	0	6945	0,00	0
C4-C5	600	0,80	0	800	0,66	0	3000	0,20	0
HC C6	300	1,22	0	1000	0,55	0	1500	0,40	0
HC SATURADOS C7- C8	300	1,26	0	500	0,91	0	1500	0,41	0
BENCENO	0,5	81,59	13	2,5	36,78	6	2,5	36,78	6
TOLUENO	50	8,84	1	188	4,46	1	250	3,84	1
ETILBENCENO	100	1,15	0	150	0,89	0	500	0,36	0
XILENO	100	3,73	1	150	3,00	0	500	1,53	0
AROMÁTICOS C9+	10	1,65	0	15	1,30	0	50	0,59	0

Tabla 4.10. Dispersión de gases tren "B" según la "OSHA"

COMPUESTO	1			2			3		
	CAP (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Techo (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)	Máx. valor aceptable por encima del límite techo (ppm)	Distancia alcanzada (m)	Tiempo (s)
C1-C3	1000	0,46	0	-	-		-	-	
C4-C5	1000	1,33	0	-	-		-	-	
HC C6	300	1,22	0	1000	0,55	0	-	-	
HC SATURADOS C7- C8	500	0,91	0	-	-		-	-	
BENCENO	10	18,44	3	25	11,64	2	50	8,19	1
TOLUENO	100	6,20	1	300	3,49	1	500	2,65	0
ETILBENCENO	100	1,15	0	-	-		-	-	
XILENO	100	3,73	1	150	3,00	0	-	-	
AROMÁTICOS C9+	10	1,65	0	-	-		-	-	

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de emisiones de benceno en el tren "A", para la concentración ambiental permisible, CAP (0,5 ppm), y el límite de exposición breve, LEB (2,5 ppm). Se observa que teóricamente a nivel de suelo se mantiene una concentración mayor a la CAP, entre los 15 m y 80 m, situación que representa un peligro para los trabajadores. En la figura 4.2 se presenta la concentración a nivel de suelo en función de la distancia aguas abajo del viento, el valor máximo es de 1,69 ppm alcanzado a los 28 m.

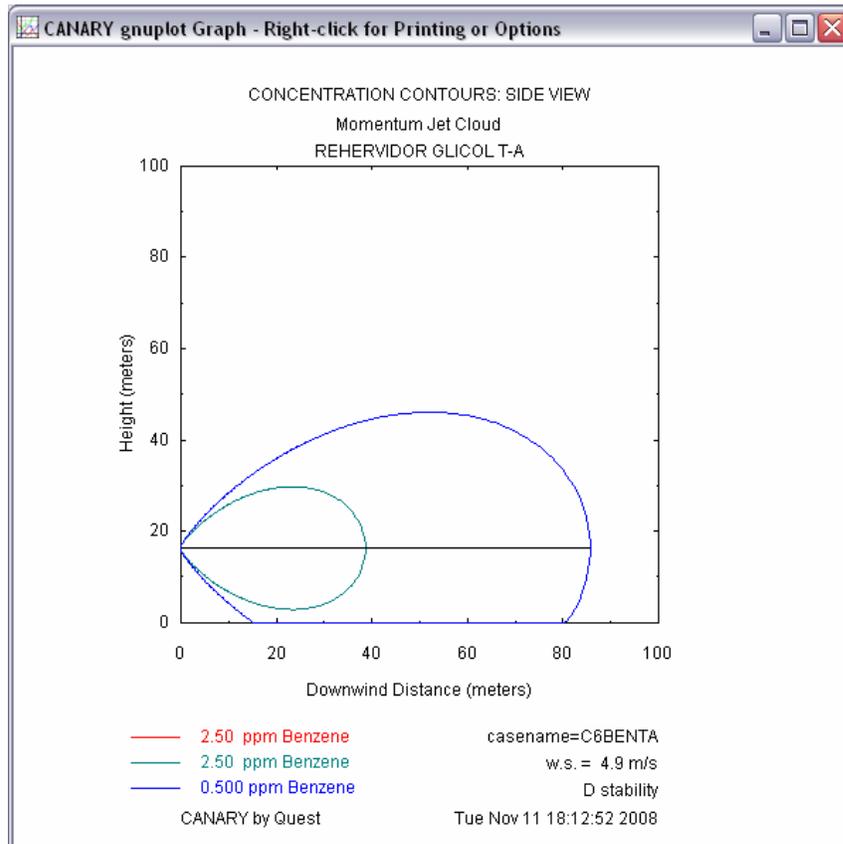


Figura 4.1. Dispersión del benceno aguas abajo del viento - Tren "A"

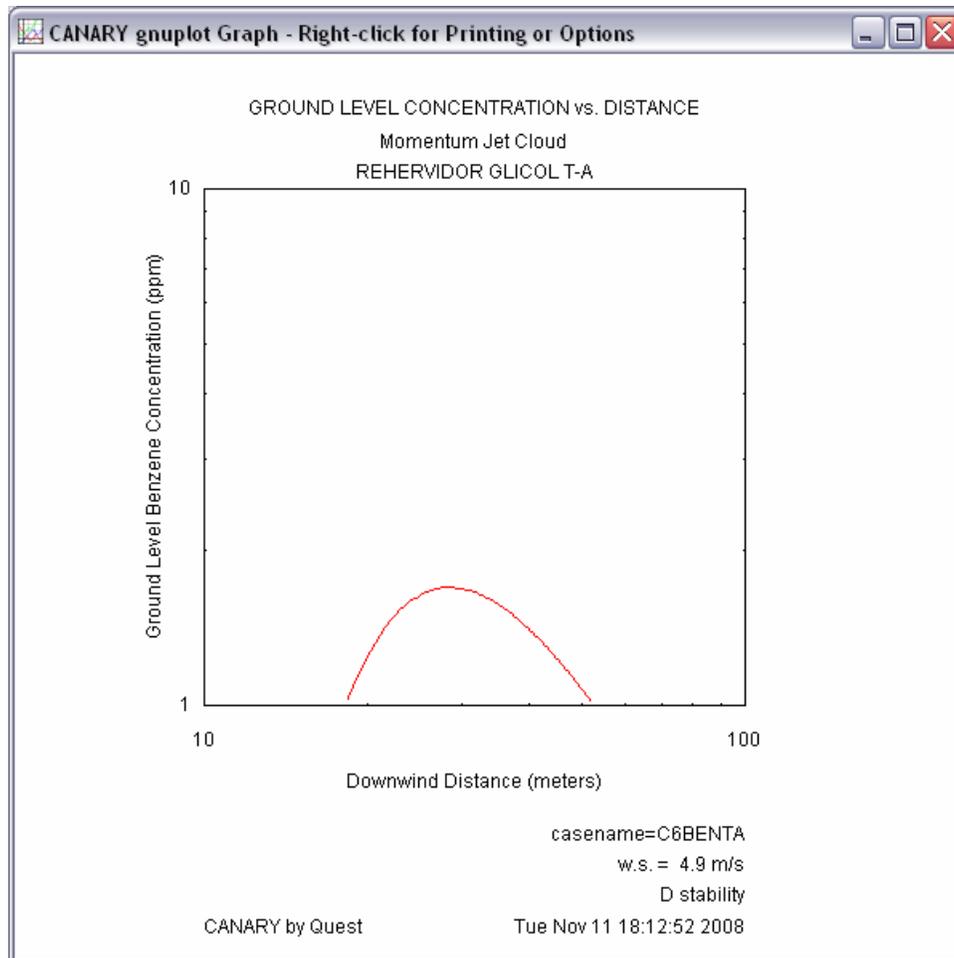


Figura 4.2. Concentración del benceno a nivel de suelo - Tren "A"

En el tren "B" la curva que representa la CAP toca suelo entre los 16 m y 76 m vientos abajo de la chimenea, es decir, en este intervalo los trabajadores no deberían laborar, teóricamente, en lapso de 8 horas continuas sin la debida protección personal. La concentración máxima a nivel de suelo es de 1,52 ppm y se alcanza a los 28 m (figuras 4.3 y 4.4).

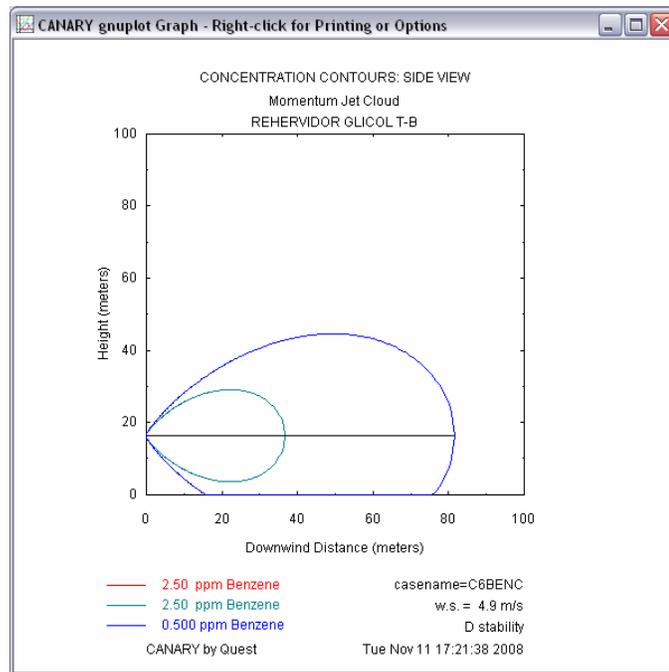


Figura 4.3. Dispersión del benceno aguas abajo del viento - Tren "B"

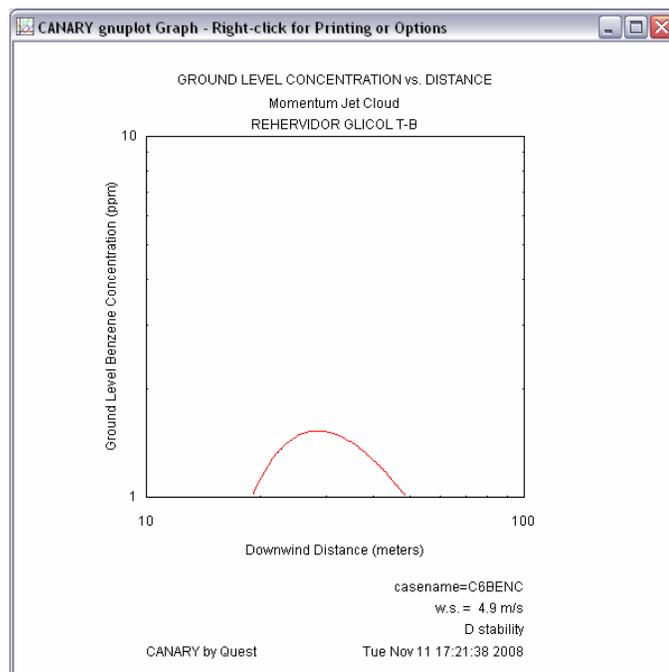


Figura 4.4. Concentración del benceno a nivel de suelo - Tren "B"

Las gráficas de dispersión para los compuestos restantes (C1-C3, C4-C5, HC C6, HC saturados C7-C8, tolueno, etilbenceno, xileno, aromáticos C9+) realizadas a través del programa CANARY by Quest® se anexan en el apéndice E.

A continuación se escogió el tren “B” para mostrar el efecto de la variación de la humedad relativa y la temperatura ambiental en los cálculos de dispersión del benceno. En cuanto a la humedad relativa no existe diferencia entre los resultados arrojados por el simulador para el caso mínimo y el caso máximo. Por otro lado, utilizar la temperatura ambiental máxima generó un aumento de 1,07 m que representa un 1,3 por ciento de la distancia estimada con la temperatura promedio. Si por el contrario, la temperatura del aire disminuye al mínimo, ésto generará una disminución del 1 por ciento en la distancia estimada (tabla 4.11). Como se puede observar en este caso los resultados obtenidos utilizando los valores promedio son una buena aproximación si las condiciones ambientales de humedad y temperatura varían.

Tabla 4.11. Efecto de las variaciones de humedad relativa y temperatura ambiental en los resultados de dispersión. Tren “B”

VARIABLE	Distancia Alcanzada (m)
Humedad relativa mín. promedio (72%)	81,59
Humedad relativa máx. promedio (89%)	81,59
Temperatura mínima del aire (21 °C)	80,78
Temperatura promedio del aire (27 °C)	81,59
Temperatura máxima del aire (35 °C)	82,66

De acuerdo al análisis de dispersión realizado, el radio de acción afectado involucra una gran parte de los trenes de procesos. En la página siguiente se encuentran el “plot plan” de la planta (figura 4.5) y en la página 83 una fotografía con vista aérea de los trenes (figura 4.6), donde se representaron las curvas teóricas de la CAP en color azul y el LEB en color verde para el benceno, que es el compuesto de mayor alcance, estas curvas representan el área de impacto y la zona donde los trabajadores deben utilizar protección personal contra este compuesto. Las líneas calientes fueron establecidas en todo el radio alrededor de la chimenea como lo expresa el manual técnico de la “OSHA”.

Una situación que aumenta las probabilidades de impacto de estos contaminantes es que la dirección predominante del viento es el Noreste como se visualiza en la tabla 4.5, es decir, los vientos se dirigen hacia el Suroeste con un 51 por ciento de probabilidad, lo que aumenta la frecuencia de exposición de los trabajadores, porque los equipos ubicados en esa superficie son: sistemas de regeneración de glicol, tamices moleculares, una sección del pasillo central, filtros de sílica gel, intercambiadores gas-líquido, para ambos trenes. Por otro lado, una de las comunidades más cercanas, Buena Vista, se encuentra en dirección Sureste y fuera del radio de acción, de esta forma se visualiza que no existe afectación a terceros.

El benceno en el aire es capaz de reaccionar con otras sustancias químicas y se degrada en unos pocos días, pero puede ser arrastrado a la tierra por la lluvia. En el agua y en el suelo se degrada más lentamente, y puede pasar al agua subterránea. El benceno no se acumula en plantas o en animales.

Aproximadamente a unos 100 m de la chimenea del rehervidor de glicol del Tren "B" se ubica la laguna de aguas blancas que alimenta la planta de tratamiento para surtir de las necesidades en Extracción San Joaquín. Actualmente, la planta de tratamiento se encuentra fuera de servicio, se recomienda realizar un análisis en busca de COV que puedan ser depositados en la laguna por las aguas de lluvia.

En relación a la permanencia del compuesto etilbenceno como contaminante, éste se demora aproximadamente 3 días en degradarse a otros productos químicos. Si llega a las aguas superficiales, el etilbenceno se degrada al reaccionar con otras sustancias químicas que están presentes normalmente en el agua. En el suelo, es degradado por bacterias del suelo.

El componente xileno es capaz de evaporarse fácilmente, y es degradado por la luz solar a otros compuestos menos perjudiciales en un par de días, pero si como consecuencias de variaciones ambientales llega bajo la superficie del suelo puede movilizarse a través del mismo y entrar al agua subterránea, donde puede permanecer durante meses, antes de ser finalmente degradado por microorganismos. En las plantas, peces y aves solo acumulan pequeñas cantidades [30] .

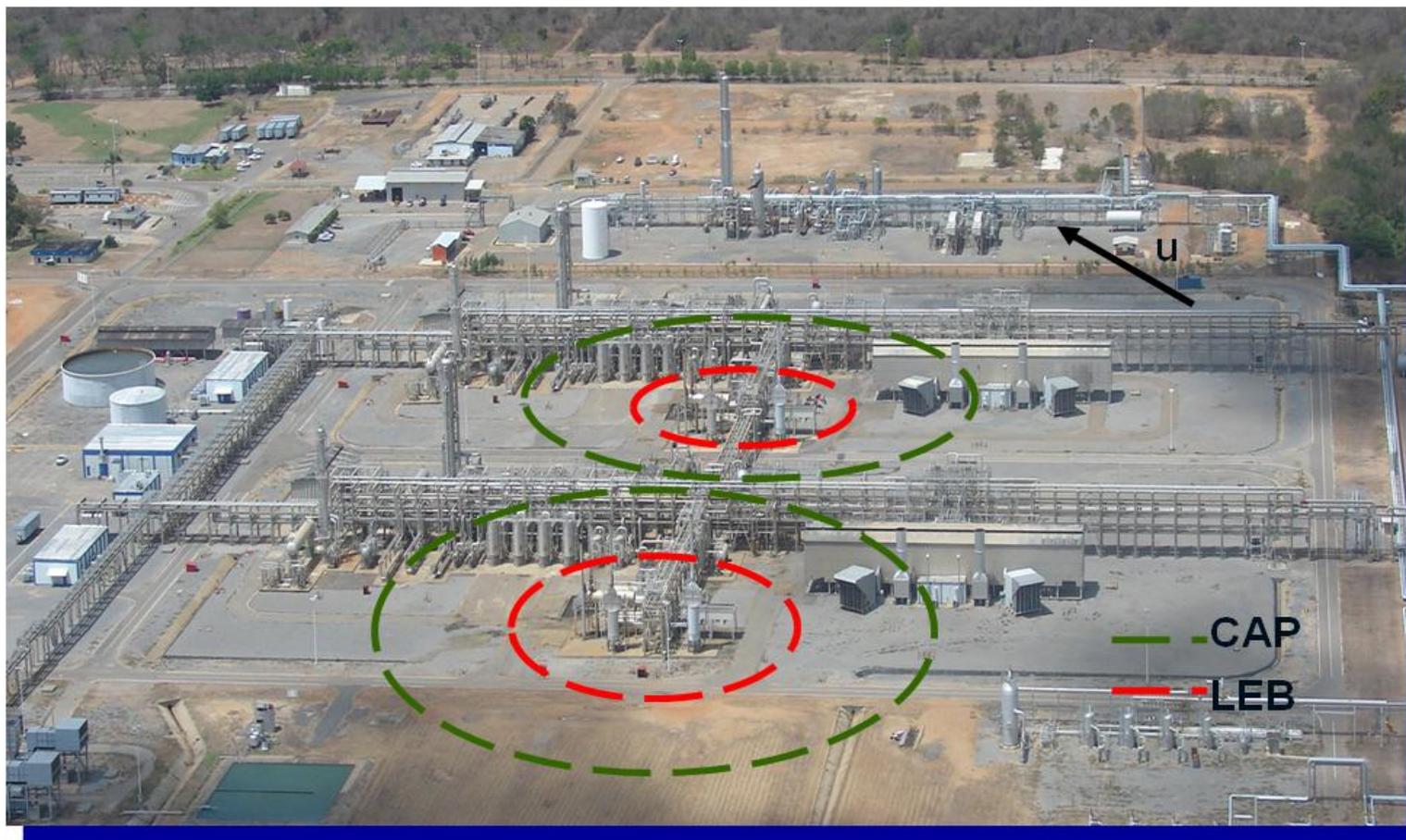


Figura 4.5. Área de riesgo - Vista aérea de los trenes de proceso.

Para visualizar el efecto de la estabilidad atmosférica, se realizaron sensibilidades para diferentes clases de Pasquill en el tren "B". Se seleccionaron en la tabla 2.6 todas las estabilidades que se pueden presentar para la velocidad del viento utilizada y la escala inmediata inferior. Las clases evaluadas fueron:

B: moderadamente inestable – Color amarillo – 29,36 m

C: ligeramente estable – Color verde – 50,06 m

D: condiciones neutras (caso base) – Color azul – 81,59 m

E: ligeramente estables – Color marrón – 197,71 m

Se representarán gráficamente, con los diferentes colores, en el "plot plan" de la planta (figura 4.7) y en una fotografía con vista aérea (figura 4.8) los resultados teóricos obtenidos para las concentraciones ambientales permisibles (CAP).

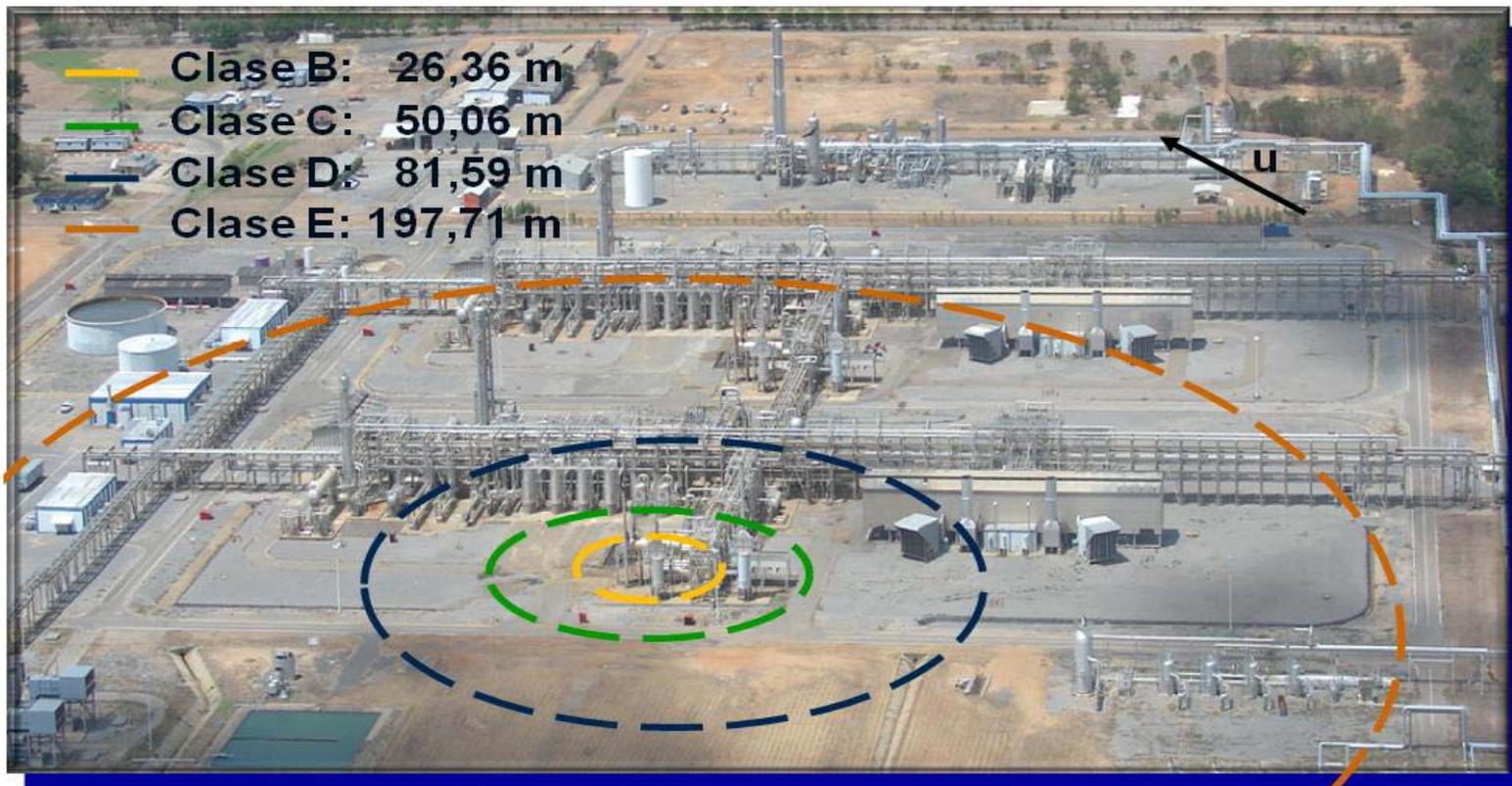


Figura 4.8. Área de riesgo a diferentes estabilidades de Pasquill – Vista aérea de los trenes de proceso

4.1.3.- Evaluación de alternativas para minimizar la emisión de COV de la planta de Extracción San Joaquín

Se evaluaron dos opciones para atacar el problema de la emisión de BTEX, la primera reducir la cantidad de VOC a corto plazo y la segunda proponer una alternativa de controlar la emisión dentro de los parámetros establecidos por el Decreto 638 [2].

Actividades a ejecutar a corto plazo:

Revisión del separador trifásico

Durante el balance de masa para la caracterización de las corrientes de tope de los rehervidores, se observó un alto contenido de compuestos de hidrocarburos en la corriente que alimenta la torre regeneradora de glicol, una parte de este problema puede ser generado por un inadecuado funcionamiento del “flash tank” o fallas en el diseño. Se simuló en HYSYS la corriente a las condiciones de operación del “flash tank” de glicol, presión: $4,46 \times 10^5$ Pa (50 psig); temperatura: 352,6 K (175°F), se observa una fase líquida que debió ser retirada en el área de condensados. En el tren “A” representa teóricamente el 20 por ciento de las emanaciones del regenerador, el flujo es de 2231,77 kg/d, y está formada por 99,99 por ciento hidrocarburos, predominantemente por compuestos pesados: C7, C8 y C9+ (tabla 4.12).

Tabla 4.12. Arrastre de hidrocarburos en el flash tank - Tren "A"

COMPUESTO	PORCENTAJE MÁSICO (%)	FLUJO MÁSICO (kg/d)
METANO + ETANO	0,14	3,22
PROPANO	0,51	11,30
ISO-BUTANO	0,85	19,07
N-BUTANO	2,18	48,58
ISO-PENTANO	2,80	62,59
N-PENTANO	3,20	71,46
CICLOPENTANO	2,87	64,13
3-METILPENTANO	1,80	40,11
N-HEXANO	3,40	75,91
METILCICLOPENTANO	5,63	125,69
CICLOHEXANO	5,69	126,89
HC SATURADOS C7	25,43	567,51
HC SATURADOS C8	14,65	326,97
BENCENO	2,70	60,35
TOLUENO	5,89	131,43
ETILBENCENO	0,47	10,53
O-XILENO	0,67	14,94
M+P - XILENO	2,82	62,92
AROMATICOS C9+	18,28	407,94
GLICOL	5×10^{-5}	1×10^{-3}
AGUA	0,01	0,22
TOTAL	100,00	2231,77

Los resultados del tren "B" muestran una tendencia similar a la del tren "A" (tabla 4.13), ubicándose en el 21 por ciento de las emisiones del regenerador de glicol representando un flujo de 2154,83 kg/d, donde

2154,60 kg/d son hidrocarburos. En el apéndice C se anexan los reportes del simulador.

Tabla 4.13. Arrastre de hidrocarburos en el flash tank - Tren "B"

COMPUESTO	PORCENTAJE MÁSICO (%)	FLUJO MÁSICO (kg/d)
METANO + ETANO	0,14	3,01
PROPANO	0,49	10,52
ISO-BUTANO	0,82	17,66
N-BUTANO	2,09	45,01
ISO-PENTANO	2,71	58,42
N-PENTANO	3,10	66,82
CICLOPENTANO	2,78	59,90
3-METILPENTANO	1,77	38,05
N-HEXANO	3,35	72,26
METILCICLOPENTANO	5,52	119,00
CICLOHEXANO	5,59	120,37
HC SATURADOS C7	25,55	550,54
HC SATURADOS C8	14,93	321,62
BENCENO	2,69	57,97
TOLUENO	5,83	125,54
ETILBENCENO	0,47	10,08
O-XILENO	0,66	14,28
M+P - XILENO	2,79	60,12
AROMATICOS C9+	18,72	403,41
GLICOL	6×10^{-5}	1×10^{-3}
AGUA	0,01	0,23
TOTAL	100,00	2154,83

Estos resultados muestran deficiencias en el sistema de separación de deshidratación, el trifásico se encuentra operando manualmente. Es necesaria la revisión tanto de la operación como del diseño del “flash tank” de glicol, para optimizar su eficiencia y disminuir las emisiones de hidrocarburos por el rehervidor hasta en un 20 por ciento.

Aumento en la frecuencia de reemplazo de los filtros de carbón activado, D11-10304/20304

En algunos casos se utiliza la adsorción sobre sólidos para la disminución de COV, evaluación que depende de la concentración de estos compuestos en el gas, los costos de inversión y de operación. La mayor parte de las veces, el sólido es algún tipo de carbón activado [16]. En la planta de Extracción San Joaquín, el reemplazo de los internos de estos filtros en el sistema de deshidratación se realiza cuando el diferencial de presión alcanza $6,89 \times 10^4$ Pa (10 psig) o cuando el tiempo de operación es de tres meses. Se recomienda incrementar la frecuencia de reemplazo de los lechos y monitorear el comportamiento de la concentración de los contaminantes en el sistema.

Disminución del flujo de glicol al contactor

Los compuestos aromáticos son muy afines al glicol. La absorción se favorece a bajas temperaturas, cuando se incrementa la concentración de glicol y el caudal de circulación. La presión no tiene un efecto fuerte en la absorción de aromáticos.

El flujo de glicol utilizado en el sistema de deshidratación en condiciones normales es de 85 gpm. No obstante, cuando las condiciones de

temperatura de entrada se mantienen en el diseño (T del gas= 110°F), puede ser empleado un caudal de circulación menor (80 gpm) de acuerdo a pruebas operacionales realizadas, las cuales consistieron en disminuir el flujo de glicol y monitorear el comportamiento del punto de rocío del gas a la salida.

Mediante la utilización de curvas de absorción de BTEX, se puede estimar la disminución en las emisiones de estos compuestos al ambiente cuando se reduce la tasa de circulación de glicol en 5 gpm [31]. Los resultados arrojan una disminución teórica total del 1358 kg/día, lo cual representa un 6,3 por ciento de las emisiones. Aun cuando el porcentaje no parece representativo, cabe destacar, que el Decreto 638 exige 6,8 kg/d [2], por lo tanto, éste es un punto muy importante para considerar durante la operación de los sistemas. El flujo de gas procesado por la planta de Extracción San Joaquín varía considerablemente a lo largo de año, se recomienda entonces ajustar el caudal de glicol de acuerdo a las condiciones de entrada para satisfacer los requerimientos de los tamices moleculares, pero que al mismo tiempo permita mantener las emisiones de BTEX en el mínimo posible con los sistemas instalados. La muestra de cálculo se presenta en el apéndice B, sección B.2.

PDVSA ha realizado esfuerzos en este sentido. Durante el mes de enero del 2009 se realizará el reemplazo de los tamices moleculares del tren "A" para aumentar su eficiencia, se utilizará una tecnología que les permitirá deshidratar un gas con un contenido de agua de 10 lb/MMPCN, es de resaltar, que se incrementó en un 50% el valor que el diseño de salida del contactor de glicol que es de 4 a 5 Lb/MMPCN. Esto reducirá la tasa de circulación de glicol y por ende, las emanaciones ambientales.

Evitar la utilización de gas de despojo en el sistema de regeneración

En condiciones normales de operación, en la planta de Extracción San Joaquín no se requiere la utilización del gas de despojo en el rehervidor de glicol, el mismo está disponible a un caudal máximo de 27.000 SCF/HR. A este ritmo de caudal de gas de despojo, el rehervidor puede concentrar el glicol hasta 99,9% en peso. En el manual de operaciones de la planta se especifica que el gas de despojo debería ser utilizado únicamente para aumentar la depresión del punto de rocío en el Contactor más allá del punto de diseño, ya que su uso aumenta el costo de operación de la unidad, al utilizar mayor cantidad de gas combustible. No obstante, cuando existen problemas operacionales de contaminación del glicol se utiliza el gas de despojo para aumentar la eficiencia en el sistema de deshidratación, así mismo, cuando existe disminución de la capacidad de adsorción de los tamices moleculares se utiliza el gas de despojo para remover mayor contenido de agua y poder maximizar el flujo de gas procesado por el tren de extracción.

Sin embargo, la utilización de gas de despojo no solo incrementa los costos de operación sino que además, aumenta las emisiones de COV al ambiente en 15140 kg/d/tren, cuando se emplea el flujo máximo. Es de resaltar, que aun cuando estas emisiones no contribuyan significativamente con el aumento de emisiones de BTEX, es necesario, evitar el uso del gas de despojo en los sistemas de deshidratación porque se duplican las emisiones de COV, situación que afecta el cumplimiento de la normativa vigente, Decreto 638 [2].

El cálculo de la masa de gas de despojo se realizó mediante el simulador HYSYS, empleando la composición del gas residual de la planta de extracción y el flujo volumétrico dado por el manual de operaciones. Se anexa el reporte en el apéndice C.

Actividades a ejecutar a largo plazo

Propuesta para minimizar las emisiones de COV dentro de la normativa venezolana

Debido a la gran cantidad de contaminantes generada por los sistemas de deshidratación con trietilenglicol en la planta de Extracción San Joaquín, se requiere la disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en 99,97 por ciento para cumplir con lo establecido por la legislación venezolana en su Decreto 638, “Norma sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica”, de fecha 19/05/1995 [2]. Esto representa una eliminación o recuperación de un total de 21650 kg/d de hidrocarburos provenientes de las chimeneas, según los cálculos teóricos realizados en la sección 4.1.1.

De acuerdo a la revisión de información suministrada por los fabricantes de tecnologías de control de emisiones, el método que dispone de mayor eficiencia para la disminución de COV es la incineración con un 99,9 por ciento de destrucción de estos compuestos. Aun cuando se logre reducir en 20 por ciento las emisiones de COV en el tope del regenerador de glicol, mediante la revisión del separador trifásico, utilizar un método de incineración sería insuficiente para cumplir con los requerimientos de la normativa vigente. Por esta razón, la propuesta está basada en un método combinado de condensación e incineración o quema del producto gaseoso no

condensable que sale de un nuevo separador planteado. Los COV recuperados pueden ser utilizados como solventes, como constituyentes en combustibles y en la fabricación de productos farmacéuticos, fumigantes, plásticos, detergentes, etc.

Para la eliminación de COV mediante sistema de condensación existen diferentes patentes registradas por algunos fabricantes, que incrementan el porcentaje de recuperación de estos compuestos. Cualquiera de estos métodos puede ser empleados siempre y cuando se cumpla con la condición de que el porcentaje total entre recuperación e incineración debe ser mayor a 99,97 por ciento.

En la figura 4.9 se presenta el esquema propuesto donde los gases del tope del rehervidor son enviados a un enfriador por aire, para disminuir la temperatura hasta 322K (120°F). Esta corriente se dirige a un separador trifásico donde se disgrega los hidrocarburos no condensable de los hidrocarburos condensables y el agua. Los hidrocarburos no condensables son dirigidos a un proceso de incineración, se puede utilizar un eyector para favorecer la salida del fluido. Algunos fabricantes disponen de esquemas patentados que dirigen esta corriente a los rehervidores de glicol para aprovechar el recurso no renovable, mediante diseño de sus quemadores y dispositivos para evitar "back pressure". La fase acuosa puede contener trazas de benceno que requiera de su tratamiento para posterior disposición o uso y la fase hidrocarburos es enviada a almacenaje para su disposición o venta.

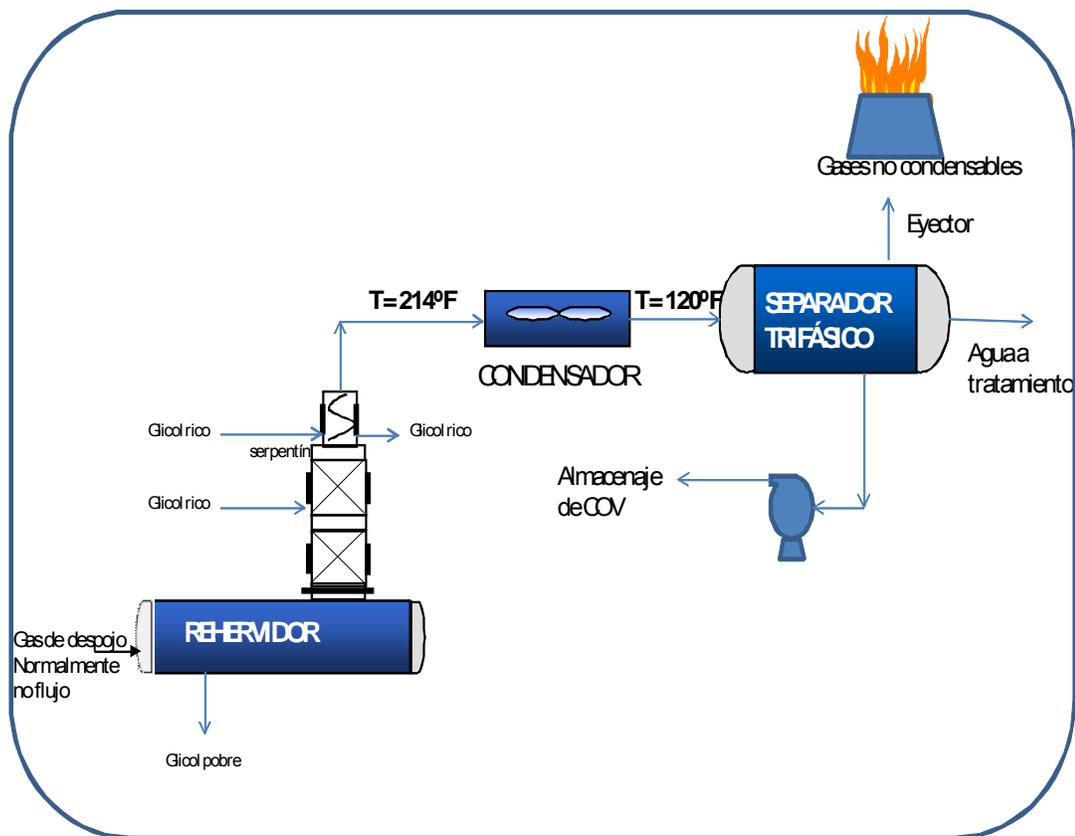


Figura 4.9. Propuesta para minimizar las emisiones de COV

La propuesta fue simulada mediante el programa HYSYS obteniéndose a la salida del separador trifásico los resultados mostrados en la tabla 4.14. El enfriador de aire removerá $9,9 \times 10^5$ Btu/h. No se incluyó en la simulación el flujo de gas de despojo.

Tabla 4.14. Resultados de la simulación de la propuesta para minimizar las emisiones de COV

CORRIENTE	FLUJO TREN A (kg/d)	TREN A (%)	FLUJO TREN B (kg/d)	TREN B (%)
FASE VAPOR	571,2	2,88	23,4	0,11
FASE HIDROCARBUROS	11180	56,39	10378,1	49,18
FASE ACUOSA	8074,1	40,73	10700	50,71
TOTAL	19825,3	100,00	21101,5	100,00

En la tabla 4.15 se presenta la composición de las fases vapor, hidrocarburos y acuosa en el separador trifásico del esquema propuesto para el tren "A". Para el tren "B" se muestran en la tabla 4.16. En el apéndice D se anexan los reportes del simulador HYSYS.

Tabla 4.15. Composición de las corrientes de salida del separador trifásico -
Tren "A"

COMPUESTO	PORCENTAJE MÁSICO (%)		
	FASE VAPOR	FASE HDROCARBUROS	FASE ACUOSA
METANO + ETANO	18,80	0,30	0,00
PROPANO	21,75	1,06	0,00
ISO-BUTANO	6,36	0,77	0,00
N-BUTANO	11,73	2,03	0,00
ISO-PENTANO	4,09	1,54	0,00
N-PENTANO	3,53	1,67	0,00
CICLOPENTANO	2,13	1,79	0,00
3-METILPENTANO	0,52	0,59	0,00
N-HEXANO	0,81	1,08	0,00
METILCICLOPENTANO	1,18	2,06	0,00
CICLOHEXANO	0,89	2,05	0,00
HC SATURADOS C7	1,36	4,74	0,00
HC SATURADOS C8	0,23	1,92	0,00
BENCENO	10,40	29,01	0,00
TOLUENO	4,19	33,99	0,00
ETILBENCENO	0,07	1,43	0,00
O-XILENO	0,08	2,05	0,00
M+P - XILENO	0,37	9,31	0,00
AROMÁTICOS C9+	0,01	0,88	0,00
GLICOL	0,11	1,55	0,01
AGUA	11,40	0,18	99,99
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Tabla 4.16. Composición de las corrientes de salida del separador trifásico -
Tren "B"

COMPUESTO	PORCENTAJE MÁSICO (%)		
	FASE VAPOR	FASE HIDROCARBUROS	FASE ACUOSA
METANO + ETANO	24,34	0,38	0,00
PROPANO	24,16	1,17	0,00
ISO-BUTANO	5,12	0,63	0,00
N-BUTANO	8,72	1,55	0,00
ISO-PENTANO	2,76	1,06	0,00
N-PENTANO	1,94	0,94	0,00
CICLOPENTANO	1,45	1,28	0,00
3-METILPENTANO	0,37	0,44	0,00
N-HEXANO	0,50	0,69	0,00
METILCICLOPENTANO	0,85	1,58	0,00
CICLOHEXANO	1,12	2,74	0,00
HC SATURADOS C7	0,98	3,56	0,00
HC SATURADOS C8	0,24	2,13	0,00
BENCENO	10,97	30,32	0,00
TOLUENO	4,39	35,20	0,00
ETILBENCENO	0,08	1,61	0,00
O-XILENO	0,12	2,90	0,00
M+P - XILENO	0,43	10,39	0,00
AROMÁTICOS C9+	0,00	0,30	0,00
GLICOL	0,05	0,98	0,01
AGUA	11,41	0,16	99,99
TOTAL	100,00	100,00	100,00

El 99 por ciento del hidrocarburo presente en la corriente de vapor no condensable se puede quemar en un proceso de incineración, por lo tanto, las emisiones de COV resultantes de esta propuesta serían de 5,69 kg/d vs. 6,8 kg/d que establece la norma, divididas de la siguiente forma:

Tren "A": 5,47 kg/d.

Tren "B": 0,22 kg/d

La diferencia entre los resultados de ambos trenes se debe a que en el tren "A" la cantidad de hidrocarburos que pasa al rehervidor es mayor, porque la configuración del múltiple de entrada favorece el arrastre de contaminantes hacia éste tren, tal y como se describió en la sección 4.1.1.

CONCLUSIONES

1. Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en los sistemas de deshidratación con glicol de la planta de Extracción San Joaquín superan teóricamente los límites establecidos por la legislación venezolana, Decreto 638, ubicándose en 21656,8 kg/d vs. 6,8 kg/d establecido por la norma.

2. Las emisiones de COV de la planta de Extracción San Joaquín, según los cálculos teóricos se sitúan por encima del estándar internacional de la "Clean Air Act", alcanzando un total de 7904,7 Ton/año, donde 6241,6 Ton/año corresponden a benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX), compuestos declarados como "hazardous air pollutants (HAP)", para lo cual el límite decretado es de 25 Ton/año.

3. De acuerdo al análisis de dispersión, el benceno es el contaminante que tiene un mayor radio de afectación. La concentración ambiental permisible (CAP) establecida por la norma COVENIN de 2,5 ppm se alcanza en un punto más lejano desde la fuente emisora: para en el tren "A" a los 85,86 m de la chimenea en un tiempo de 14 segundos y para el tren "B" a los 81,59 m en 13 segundos.

4. El contaminante que se puede encontrar a nivel suelo bajo condiciones atmosféricas promedio es el benceno a una concentración mayor a la establecida por la norma COVENIN para 8 horas de jornada laborable, dentro del área de impacto. Según los resultados teóricos, en el tren "A" se mantiene una concentración mayor a la CAP entre los 15m y 80 m desde la chimenea, el valor máximo alcanzado es de 1,69 ppm. Para el tren

“B” esta situación ocurre entre los 16 m y 76 m, con un valor máximo a nivel de suelo de 1,52 ppm.

5. Los estándares de la norma COVENIN 2253:2001 son iguales o más exigentes que los establecidos por la “Occupational Safety and Health Administration”, con excepción del propano. La “OSHA” establece para el caso del benceno una CAP de 10 ppm, que se alcanza 19,41 m para el tren “A” y a los 18,44 m para el tren B.

6. La dirección predominante del viento desde el Noreste aumenta las probabilidades de consecuencias de los COV sobre las personas. En esa área están ubicados los sistemas de regeneración de glicol, tamices moleculares, una sección del pasillo central, filtros de sílica gel, intercambiadores gas- líquido.

7. De la fase hidrocarburos que se generan en los separadores trifásicos de los sistemas de deshidratación con glicol, una fracción de 4386,1 kg/d de COV es arrastrada hacia la entrada del rehervidor y posteriormente descargada por las chimeneas, equivalente al 20 por ciento de las emisiones, aproximadamente.

8. La disminución del caudal de circulación de glicol de 85 gpm a 80 gpm permite disminuir la emanación de BTEX teóricamente en 1358 kg/d, lo que representa 6,3 por ciento de las emisiones totales.

9. La utilización del gas de despojo para aumentar la eficiencia de los sistemas de deshidratación de la planta de Extracción San Joaquín, incrementa las emisiones de COV, según los cálculos, en más de un 100 por ciento, si es empleada la máxima capacidad.

10. En la planta de Extracción San Joaquín no pueden ser usados sistemas de incineración solamente para minimizar las emisiones de COV dentro de las normativas vigentes. La incineración genera una eficiencia de 99,9 por ciento y el porcentaje de eliminación y/o recuperación debe ubicarse en 99,97 por ciento. Adicionalmente, este método origina contaminantes altamente peligrosos para la salud humana en bajas concentraciones, entre ellos, aromáticos policíclicos.

RECOMENDACIONES

1. Los resultados de emisiones y dispersiones atmosféricas presentados en este documento son teóricos, se deben realizar mediciones experimentales para validarlos, a través de la contratación de empresas especializadas en medición de calidad del aire.

2. Instalar puntos de toma de muestra en las chimeneas de las columnas regeneradoras de glicol. Adicionalmente, colocar temporalmente un medidor que permita determinar el flujo de gases emanados cuando se estén realizando los cálculos.

3. Se recomienda como medida preventiva la utilización de equipos de protección personal contra benceno para los trabajadores que requieran laborar en las siguientes áreas: tamices moleculares, filtros de sílica gel, filtros antes de sílica gel, sistema de regeneración de glicol, turbocompresores D4-10/20303, hornos, acumulador de aceite caliente, filtros de polvillo, intercambiadores gas - gas de alta presión, separador de entrada y salida de las válvulas J-T de alta presión, intercambiadores gas –gas de baja presión, separadores de entrada y salida de los turboexpansores, intercambiadores gas - líquido D2-10/20328/329/304/305 y en la parte del pasillo central de los trenes que se encuentra dentro del radio de acción.

4. Revisar la operación y el diseño de los separadores trifásicos de los sistemas de deshidratación para aumentar la recuperación de la fase hidrocarburo que es arrastrada a los rehervidores y así disminuir las emisiones de COV.

5. Aumentar la frecuencia de reemplazo de los filtros de carbón activado y monitorear el comportamiento de los contaminantes dentro del sistema, para evaluar el efecto sobre las emisiones de COV.

6. Disminuir el flujo de glicol cuando las condiciones del gas de entrada y los requerimientos del sistema de tamices lo permitan, para reducir la adsorción de compuestos BTEX en el contactor de glicol y por ende disminuir las emisiones.

7. Instalar lo antes posible un sistema que permita minimizar las emanaciones de COV dentro de las normativas vigentes. Se recomienda un sistema de condensación, donde los productos no condensables sean quemados. Existen muchas patentes en el mercado que permiten la maximización de recuperación de COV, así como la utilización del rehervidor de glicol para incinerar los hidrocarburos no condensables.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. “Ley orgánica de prevención, condiciones y medio ambiente de trabajo”. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 38.236. (2005).

[2] Decreto 638. “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica”. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.899. (2005).

[3] Norma venezolana COVENIN 2253:2001 “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”. Tercera revisión. (2001).

[4] Occupational Safety and Health Administration. “Technical Manual” [en línea]. Disponible en: <http://www.osha.gov/> . (2007).

[5] U.S. Environmental Protection Agency. “Clean Air Act” [en línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/air/caa/>. (2008).

[6] FUNDAUDO. “Estudio y adecuación de las emisiones ambientales del Complejo Muscar, estado Monagas”. Centro de Ingeniería y Proyectos. Puerto La Cruz. (1999).

[7] Environmental Assessments Acasia, C.A. “Evaluación de las emisiones por las chimeneas de los hornos de aceite caliente D1- 11101 y D1-21101; hornos de gas de regeneración calentadores de gas D1- 10301 y D1- 20301, hornos de rehervidores de glicol D2-10318 y D2-20318;

turbocompresores D4- 10303, D4-10304, D4-20303 y D4-20304 y turbogeneradores F30-36301 y F30-36302, de la planta de Extracción San Joaquín, ubicada en Anaco, estado Anzoátegui”. (2004).

[8] INTEVEP. “Evaluación de la calidad del aire en las áreas de influencia de las plantas de extracción de líquidos San Joaquín y Sta. Bárbara”, Ref. TEEA/ 1-96-0003. Nota técnica. Los Teques. (1996).

[9] ZEECO, Inc. “Incineración de BTEX – Planta ACCROVEN San Joaquín”. Venezuela. (2004).

[10] PDVSA Gas. “Ingeniería conceptual. Evaluación de emisiones de gases BTEX en la planta de Refrigeración San Joaquín”. Superintendencia de Estudios y Asesorías. Venezuela. (2006).

[11] PDVSA CIED. “Ingeniería de gas”. Primer módulo. Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Venezuela. (2001).

[12] Norma venezolana COVENIN 3568-2:2000. “Características mínimas de calidad. Parte 2: gas de uso general para sistemas de transporte troncales de libre acceso”. (2000).

[13] PDVSA Gas. “Manual de operaciones San Joaquín 1000”. Primera revisión. Planta de Extracción LGN. Anzoátegui. (2006).

[14]ZAVARCE, J. “Causas y efectos de los **problemas** ambientales” [en línea]. Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos34/problemas-ambientales/problemas-ambientales.shtml> (2007).

[15] KIELY, G. "Ingeniería ambiental". Volumen II. Editorial McGraw – Hill. España. (1999).

[16] DE NEVERS, N. "Ingeniería de control de la contaminación del aire". Editorial McGraw – Hill. México. (1997).

[17] PDVSA. "Manual de productos químicos" [en línea]. Disponible en: <http://www.intevep.pdv.com/~ciconline/> . (2008).

[18] TURMO, E. y CUSCÓ, J. "Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas" [en línea]. Disponible en: http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_329.htm (2008).

[19] GALLARDO, L. "Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos" [en línea]. Disponible en: https://www.ucursos.cl/ingenieria/2004/1/GF515/1/material_docente/objeto/26120 (2008).

[20] TORRES, R. "Modelos de dispersión en la atmósfera" [en línea]. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/eco/036993-I/036993-1.8.pdf> (2008).

[21] Quest Consultants, Inc. "CANARY by Quest® - User's manual". Oklahoma. (1996).

[22] Hyprotech, Ltd. "Operations guide HYSYS 3.1." (2002).

[23] GONZÁLEZ, J. L. y RONDÓN, E. “Estado del arte en tecnologías de deshidratación de gas con glicoles. Emisiones de BTEX. Métodos de medición y tecnologías de control” - Custodia y alerta tecnológica en gas, INTEVEP. Los Teques. (1994).

[24] Unidad de Gestión Ambiental. “Análisis de Hidrocarburos en Glicol - Informe 1501/07”. Venezuela. (2007).

[25] Norma internacional ASTM E 203. “Standard test method for water using volumetric karl fischer titration”. (2001).

[26] VÉLIZ, C. “Procedimiento IL-ESB-013: determinación de la densidad de líquidos”. Primera edición. (2001).

[27] PDVSA. “Norma IR-S-02 - Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos”. Venezuela. (2004).

[28] PDVSA Gas y Y&V. “Estudio de impacto ambiental y socio cultural sobre las implicaciones de la construcción del nuevo tren de 600 MMPCSD, el nuevo edificio de oficinas y la nueva vialidad de acceso en la planta de Extracción San Joaquín en Anaco, Edo. Anzoátegui”. Venezuela. (2005).

[29] 3M. “Guía de selección de protección respiratoria”. Edición 2001. Segunda versión. [en línea]. Disponible en: <http://www.3m.com/> (2008).

[30] Consejería de Sanidad y Consumo. “Fichas de productos químicos” [en línea]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/> (2008).

[31] CAMPBELL, J. M. "Gas conditioning and processing". Octava edición. Editorial John M. Campbell and Company. USA. (2001).

APÉNDICE A

A.1. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE TOPE DEL REGENERADOR DE GLICOL.

Se realizará la muestra de cálculo para el tren "A".

Datos:

Porcentaje másico de agua a la entrada = 2,1683 %.

Porcentaje másico de agua a la salida = 0,6849 %.

Densidad de la corriente de entrada = 1,111 g/ml.

Densidad de la corriente de salida = 1,115 g/ml.

Flujo de glicol a la salida = 85 gpm.

Tabla A.1. Composición en mg/kg de los hidrocarburos en el Tren A

COMPONENTE	REHERVIDOR TREN A	
	ENTRADA	SALIDA
METANO + ETANO	135	< 1
PROPANO	322	15
ISO-BUTANO	187	7
N-BUTANO	420	3
ISO-PENTANO	320	< 1
N-PENTANO	337	< 1
CICLOPENTANO	327	1
3-METILPENTANO	131	< 1
N-HEXANO	232	< 1
METILCICLOPENTANO	430	1
CICLOHEXANO	421	1
HC SATURADOS C7	1346	209
HC SATURADOS C8	680	164
BENCENO	5594	99
TOLUENO	7735	295
ETILBENCENO	380	23
O-XILENO	611	100
M+P – XILENO	2546	217
AROMÁTICOS C9+	814	591

En primer lugar se calcularon las composiciones de las corrientes de entrada y salida en porcentaje másico.

$$\text{porcentaje másico HC} = \frac{mg}{kg} \times \frac{100}{1000000}$$

Ej: Tolueno.

$$\text{porcentaje másico tolueno}_e = 7735 \times \frac{100}{1000000} = 0,7735\%$$

Los porcentajes de glicol en los fluidos se obtuvieron por diferencia:

$$\text{porcentaje glicol} = 100 - \%HC - \%agua$$

$$\text{porcentaje glicol}_e = 100 - 2,2968 - 2,1683 = 95,5349\%$$

$$\text{porcentaje glicol}_s = 100 - 0,1726 - 0,6849 = 99,1425\%$$

En la tabla A.2 se presenta un resumen de las composiciones másicas de las corrientes de entrada y salida del rehervidor. Trenes "A" y "B".

Tabla A.2. Composiciones másicas de las corrientes de entrada y salida del rehervidor. Trenes "A" y "B"

COMPONENTE	PORCENTAJE MÁSSICO TREN A (%)		PORCENTAJE MÁSSICO TREN B (%)	
	ENTRADA DEL REHERVIDOR	SALIDA DEL REHERVIDOR	ENTRADA DEL REHERVIDOR	SALIDA DEL REHERVIDOR
METANO + ETANO	0,014	0,000	0,003	0,000
PROPANO	0,032	0,002	0,012	0,000
ISO-BUTANO	0,019	0,001	0,008	0,000
N-BUTANO	0,042	0,000	0,020	0,000
ISO-PENTANO	0,032	0,000	0,017	0,000
N-PENTANO	0,034	0,000	0,015	0,000
CICLOPENTANO	0,033	0,000	0,020	0,000
3-METILPENTANO	0,013	0,000	0,008	0,000
N-HEXANO	0,023	0,000	0,013	0,000
METILCICLOPENTANO	0,043	0,000	0,029	0,000
CICLOHEXANO	0,042	0,000	0,051	0,000
HC SATURADOS C7	0,135	0,021	0,106	0,029
HC SATURADOS C8	0,068	0,016	0,072	0,020
BENCENO	0,559	0,010	0,530	0,013
TOLUENO	0,774	0,030	0,742	0,035
ETILBENCENO	0,038	0,002	0,040	0,002
O-XILENO	0,061	0,010	0,077	0,010
M+P - XILENO	0,255	0,022	0,264	0,024
AROMÁTICOS C9+	0,081	0,059	0,059	0,053
Sub-total HC	2,297	0,173	2,084	0,186
AGUA	2,168	0,685	2,798	0,839
GLICOL	95,535	99,143	95,118	98,976
HC	2,297	0,173	2,084	0,186
TOTAL	100,000	100,000	100,000	100,000

Luego, se determinó la masa de la corriente de salida en kg/d (m_s) y se cálculo la masa de glicol presente:

$$m_s = Q \times \rho \times 3,7854 \times 60 \times 24$$

donde, Q = flujo, gpm

ρ = densidad, g/ml, kg/l

$$m_s = 85 \times 1,115 \times 3,7854 \times 60 \times 24 = 516616,3 \text{ kg/d}$$

$$m_{\text{glicol}_s} = m_s \times \text{fracción}_{\text{glicol}} = 516616,3 \times 0,991425 = 512186,3 \text{ kg/d}$$

Posteriormente, se realizó un balance en el componente trietilenglicol, se asume que no existen productos de degradación (EG, DEG, TETRAEG) para efectos de empleo de la densidad.

$$m_{\text{glicol}_e} = m_{\text{glicol}_s} + m_{\text{glicol}_t}$$

La masa de glicol que sale por el tope (m_{glicol_t}) representan las pérdidas de trietilenglicol. Durante ese mes las pérdidas de este producto para el tren "A" fueron de 8460 l/mes y para el tren "B" 4950 l/mes. No se presentaron eventos fuera de los consumos normales. Se asume que todas las pérdidas ocurren por el tope del regenerador.

$$\text{pérdidas de glicol}_{\text{tren A}} = \frac{8460 \text{ l}}{\text{mes}} = \frac{8460 \text{ l}}{30} = 282 \text{ l/d}$$

$$\text{pérdidas de glicol}_{\text{tren A}} = \frac{282 \text{ l}}{\text{d}} \times 1,073 \text{ kg/l} = 302,6 \text{ kg/d}$$

La densidad del glicol utilizada fue de 1,073 kg/l [14], entonces:

$$m_{glicole} = 512186,3 + 302,6 = 512488,9 \text{ kg/d}$$

Se procedió a calcular la masa de la corriente de entrada (m_e):

$$m_e = \frac{512488,9 \text{ kg/d}}{0,955349} = 536441,5 \text{ kg/d}$$

Una vez conocidos el flujo y la composición de las corrientes de entrada, se calcularon por diferencia la composición de la corriente del tope, ejemplo:

$$m_{bencenos} = m_{bencenos} + m_{bencenot}$$

$$m_{bencenot} = 3000,9 - 51,1 = 2949,8 \text{ kg/d}$$

Tabla A.3. Flujos másicos de las corrientes asociadas al rehervidor de glicol-
Tren "A"

COMPONENTE	TREN A		
	MASA ENTRADA DEL REHERVIDOR (kg/d)	MASA SALIDA DEL REHERVIDOR (kg/d)	MASA TOPE (kg/d)
METANO + ETANO	72,4	0,0	72,4
PROPANO	172,7	7,7	165,0
ISO-BUTANO	100,3	3,6	96,7
N-BUTANO	225,3	1,5	223,8
ISO-PENTANO	171,7	0,0	171,7
N-PENTANO	180,8	0,0	180,8
CICLOPENTANO	175,4	0,5	174,9
3-METILPENTANO	70,3	0,0	70,3
N-HEXANO	124,5	0,0	124,5
METILCICLOPENTANO	230,7	0,5	230,2
CICLOHEXANO	225,8	0,5	225,3
HC SATURADOS C7	722,1	108,0	614,1
HC SATURADOS C8	364,8	84,7	280,1
BENCENO	3000,9	51,1	2949,8
TOLUENO	4149,4	152,4	3997,0
ETILBENCENO	203,8	11,9	192,0
O-XILENO	327,8	51,7	276,1
M+P - XILENO	1365,8	112,1	1253,7
AROMÁTICOS C9+	436,7	305,3	131,3
sub-total	12321,0	891,7	11429,3
AGUA	11631,7	3538,3	8093,4
GLICOL	512488,9	512186,3	302,6
HC	12321,0	891,7	11429,3
TOTAL	536441,5	516616,3	19825,3

Para el cálculo del porcentaje molar, se utiliza las fórmulas siguientes:

$$n_i = \frac{\text{masa}_i}{PM_i}$$

$$\%molar_i = \frac{n_i}{n_T}$$

Donde, n_i = número de moles del componente i

PM_i = peso molecular del compuesto i

n_T = número de moles totales de la corriente

Tabla A.4. Composición molar y másica de la corriente de tope del rehervidor de glicol- Tren "A"

COMPONENTE	TREN A			
	PM (kg/kgmol)	MOLES DE TOPE (kgmol)	% MOLAR TOPE	% MÁSIKO TOPE
METANO + ETANO	24,46	3,0	0,51	0,37
PROPANO	44,10	3,7	0,64	0,83
ISO-BUTANO	58,12	1,7	0,28	0,49
N-BUTANO	58,12	3,8	0,66	1,13
ISO-PENTANO	72,15	2,4	0,41	0,87
N-PENTANO	72,15	2,5	0,43	0,91
CICLOPENTANO	70,13	2,5	0,43	0,88
3-METILPENTANO	86,18	0,8	0,14	0,35
N-HEXANO	86,18	1,4	0,25	0,63
METILCICLOPENTANO	84,16	2,7	0,47	1,16
CICLOHEXANO	84,16	2,7	0,46	1,14
HC SATURADOS C7	100,20	6,1	1,05	3,10
HC SATURADOS C8	114,23	2,5	0,42	1,41
BENCENO	78,11	37,8	6,45	14,88
TOLUENO	92,14	43,4	7,41	20,16
ETILBENCENO	106,17	1,8	0,31	0,97
O-XILENO	106,17	2,6	0,44	1,39
M+P - XILENO	106,17	11,8	2,02	6,32
AROMÁTICOS C9+	122,02	1,1	0,18	0,66
sub-total		134,3	22,9	57,7
AGUA	18,02	449,1	76,72	40,82
GLICOL	150,20	2,0	0,34	1,53
HC		134,3	22,9	57,65
TOTAL		585,4	100,0	100,0

Los flujos másicos de las corrientes asociadas al rehervidor en el tren “B” se presentan en la tabla A.5 y las composiciones molar y másica de la corriente de tope se muestran en la tabla A.6.

Tabla A.5. Flujos másicos de corrientes asociadas al rehervidor de glicol-
Tren “B”.

COMPONENTE	TREN B		
	MASA ENTRADA DEL REHERVIDOR (kg/d)	MASA SALIDA DEL REHERVIDOR (kg/d)	MASA TOPE (kg/d)
METANO + ETANO	17,2	0,5	17
PROPANO	66,0	1,0	65
ISO-BUTANO	45,1	0,5	45
N-BUTANO	108,4	0,5	108
ISO-PENTANO	91,8	0,0	92
N-PENTANO	80,5	0,0	81
CICLOPENTANO	105,7	0,0	106
3-METILPENTANO	44,0	0,0	44
N-HEXANO	69,8	0,0	70
METILCICLOPENTANO	155,7	0,5	155
CICLOHEXANO	271,1	0,5	271
HC SATURADOS C7	566,9	148	419
HC SATURADOS C8	385,4	102	284
BENCENO	2842,8	65	2778
TOLUENO	3980,8	179	3801
ETILBENCENO	212,6	12	200
O-XILENO	410,6	50	361
M+P - XILENO	14 15,5	124	1292
AROMÁTICOS C9+	316,2	275	41
sub-total	11186,2	958,7	10227,5
AGUA	15021,0	4324,1	10697,0
GLICOL	510583,9	510406,9	177,0
HC	11186,2	958,7	10227,5
TOTAL	536791,1	515689,6	21101,5

Tabla A.6. Composición molar y másica de la corriente de tope del rehervidor de glicol- Tren "B"

COMPONENTE	TREN B			
	PM (kg/kgmol)	MOLES DE TOPE (kgmol)	% MOLAR TOPE	% MÁSIKO TOPE
METANO + ETANO	24,46	3,0	0,51	0,08
PROPANO	44,10	3,7	0,64	0,31
ISO-BUTANO	58,12	1,7	0,28	0,21
N-BUTANO	58,12	3,8	0,66	0,51
ISO-PENTANO	72,15	2,4	0,41	0,43
N-PENTANO	72,15	2,5	0,43	0,38
CICLOPENTANO	70,13	2,5	0,43	0,50
3-METILPENTANO	86,18	0,8	0,14	0,21
N-HEXANO	86,18	1,4	0,25	0,33
METILCICLOPENTANO	84,16	2,7	0,47	0,74
CICLOHEXANO	84,16	2,7	0,46	1,28
HC SATURADOS C7	100,20	6,1	1,05	1,98
HC SATURADOS C8	114,23	2,5	0,42	1,35
BENCENO	78,11	37,8	6,45	13,16
TOLUENO	92,14	43,4	7,41	18,01
ETILBENCENO	106,17	1,8	0,31	0,95
O-XILENO	106,17	2,6	0,44	1,71
M+P - XILENO	106,17	11,8	2,02	6,12
AROMÁTICOS C9+	122,02	1,1	0,18	0,20
sub-total		134,3	22,9	48,47
AGUA	18,02	449,1	76,72	50,69
GLICOL	150,20	2,0	0,34	0,84
HC		134,3	22,9	48,47
TOTAL		585,4	100,0	100,00

A.2. CÁLCULO DE LA ABSORCIÓN DE BTEX

Utilizando las curvas de porcentaje de absorción de BTEX en función del caudal de circulación de la figura anexada al final del apéndice, se tiene [31]:

$$\text{Caudal de circulación actual} = \frac{85 \text{ gpm}}{525 \text{ MMPCND}} = 0,16 \frac{\text{gpm TEG}}{\text{MMPCED gas}}$$

$$\text{Caudal de circulación propuesto} = \frac{80 \text{ gpm}}{525 \text{ MMPCND}} = 0,15 \frac{\text{gpm TEG}}{\text{MMPCED gas}}$$

Tabla A.7. Caudal estimado de entrada de BTEX al rehervidor, cuando el flujo de glicol al contactor es de 80 gpm - Tren "A".

TREN "A"				
COMPUESTO	Absorción de BTEX a 85 gpm de glicol	Caudal de entrada del rehervidor Tren "A" (kg/d)	Absorción de BTEX a 80 gpm de glicol	Caudal estimado de entrada del rehervidor Tren "A" (kg/d)
BENCENO	11	3001	10	2728
TOLUENO	15	4149	14	3873
ETILBENCENO	20	204	18	183
XILENO	29	1694	27	1577
TOTAL		9048		8361

Tabla A.8. Caudal estimado de entrada de BTEX al rehervidor, cuando el flujo de glicol al contactor es de 80 gpm - Tren "B".

TREN "B"				
COMPUESTO	Absorción de BTEX a 85 gpm de glicol	Caudal de entrada del rehervidor Tren "A" (kg/d)	Absorción de BTEX a 80 gpm de glicol	Caudal estimado de entrada del rehervidor Tren "A" (kg/d)
BENCENO	11	2843	10	2584
TOLUENO	15	3981	14	3715
ETILBENCENO	20	213	18	191
XILENO	29	1826	27	1700
TOTAL		8862		8191

TREN A:

$$\text{Disminución de las emisiones de BTEX} = 9048 - 8361 = 687 \text{ kg/d}$$

TREN B:

$$\text{Disminución de las emisiones de BTEX} = 8862 - 8191 = 671 \text{ kg/d}$$

TOTALES:

$$\text{Disminución de las emisiones de BTEX} = 687 + 671 = 1358 \text{ kg/d}$$

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	“Evaluación de las emisiones de COV de los sistemas de deshidratación con glicol de la planta de Extracción San Joaquín”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
CÓRCEGA, FRANCELIS.	CVLAC: 14.082.268. E MAIL: corcegaf@cantv.net corcegaf@pdvsa.com

PALABRA O FRASES CLAVES:

COV, Compuestos orgánicos volátiles, VOC, BTEX, emisiones atmosféricas, análisis de dispersión, deshidratación con glicol, Canary.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de gas

RESUMEN (ABSTRACT)

En la planta de Extracción San Joaquín se tienen instalados dos sistemas de deshidratación del gas con trietilenglicol, compuesto afín a la absorción de aromáticos, entre ellos los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno), sustancias altamente tóxicas para los seres humanos. Los BTEX pertenecen a los compuestos orgánicos volátiles (COV), conjuntamente con otros hidrocarburos. Cuando el glicol se regenera se emanan al ambiente los COV absorbidos en la torre contactora. En este estudio se determinó teóricamente que la emisión de COV es de 21656,8 kg/d, excediendo los límites establecidos por el Decreto venezolano 638 y la "Clean Air Act" de EEUU. Se realizó un análisis de dispersión a cada una de las corrientes de tope de los rehervidores, obteniéndose que el benceno, compuesto cancerígeno, es el contaminante de mayor alcance (Tren A= 85,86 m, Tren B= 81,59 m), y según los cálculos teóricos se puede encontrar a nivel de suelo en condiciones atmosféricas promedio. Se compararon los límites de exposición establecidos por la norma COVENIN 2253:2001 y la "OSHA". Adicionalmente, se realizaron recomendaciones para disminuir las

emisiones en las condiciones de operación actual y se desarrolló una propuesta basada en el proceso de condensación para cumplir con las normas vigentes.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_ MAIL				
GUERRA, OLY	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
OLIVEROS, JAVIER	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
MILLÁN, MARITZA	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
AYALA, ORLANDO M.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN

2009	03	23
------	----	----

AÑO	MES	DIA
-----	-----	-----

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVOS (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE COV DE LOS SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL.doc	Aplicación/msword

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

ALCANCE:

ESPACIAL:

(OPCIONAL) _____

TEMPORAL:

(OPCIONAL) _____

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Especialista en Ingeniería de Gas _____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Postgrado _____

ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Institución:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS.

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado:

“Los trabajos de grado son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento expreso del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario.”

AUTOR

Ing. Francelis Córcega L.

AUTOR

AUTOR

TUTOR

Ing. Oly Guerra

JURADO

Ing. Orlando M. Ayala

JURADO

Ing. Maritza Millán

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS