

Estrategias para disminuir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's) en tanques de almacenamiento de crudo

Francisco Javier Mendoza Medina

francisco.javier.mendozam@pemex.com

Diseño de Instalaciones del Grupo Multidisciplinario de operación de Pozos e Instalaciones, Pemex Exploración y Producción; Activo de Producción Cinco Presidentes, Agua Dulce, Veracruz

Francisco Waldemar Mosqueda Jiménez

francisco.mosqueda@dragadosoffshoremexico.com

Diseño de Plataformas Marinas, Producción; Dragados Offshore México, DF

Eduardo Pérez Alpuche

epereza@imp.mx

Exploración y Producción, Instituto Mexicano del Petróleo, Villahermosa, Tabasco, México

Información del artículo: recibido: enero de 2016-aceptado: febrero de 2016

Resumen

En el presente trabajo se determinan los volúmenes de Compuesto Orgánicos Volátiles (COV's) que se emiten a la atmósfera a través de los venteos que se producen en los tanques de almacenamiento de crudo de instalaciones en superficie, se presentan los resultados del cálculo obtenido a través de modelos de simulación, en Aspen Hysys 2006, utilizando la ecuación de estado de Peng Robinson para el cálculo de las propiedades de los fluidos.

Para la validación de los resultados obtenidos se tomó como referencia el estudio denominado "Estudio de factibilidad para evaluar estrategias de control para disminuir las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles COV's provenientes de los tanques de almacenamiento de crudo de la Batería de Separación Ogarrío 5", (Ver Mosqueda *et al*, 2014), el estudio demuestra que hay una desviación del 3.66 % de la simulación de procesos y medición directa en tanques de esta batería, la desviación puede ser atribuible a la incertidumbre del método aplicado en la medición de los vapores y/o eficiencia de separación considerada en el modelo de simulación.

Se realiza un análisis de alternativas de solución, así como ventajas y desventajas de cada una de ellas, así mismo una optimización heurística, analizando las alternativas de solución, para con ello minimizar las emisiones a la atmósfera, aumentar la seguridad de la instalación, y las ganancias en la venta de hidrocarburos.

Palabras clave: Compuestos orgánicos volátiles (COV's), tanques de almacenamiento, simulación.

Strategies to reduce emissions of volatile organic compounds (VOC's) in oil storage tanks

Abstract

In the present work volumes Volatile Organic Compounds (VOC's) that are released into the atmosphere through vents that occur in the storage tanks of crude surface facilities are determined, the calculation results are presented obtained through simulation models, at Aspen Hysys 2006, using the equation of state of Peng Robinson for the calculation of fluid properties.

For validation of the results is taken as reference the study entitled “Feasibility study to assess control strategies to reduce emissions of Volatile Organic Compounds VOC's from storage tanks of crude at Separation facilities Ogarrio 5” (See Mosqueda et al, 2014), the study shows that there is a deviation of 3.66% of process simulation and direct measurement in tanks of this facilities, the deviation may be attributable to the uncertainty of the applied measuring method vapors and / or separation efficiency considered in the simulation model.

An analysis of alternative solutions as well as advantages and disadvantages of each, also a heuristic optimization were performed by analyzing alternative solutions to thereby minimize emissions, increase the security of the facility, and gains on the sale of hydrocarbons.

Keywords: Volatile organic compounds (VOC's), storage tanks, simulation.

Introducción

Los COV's definidos como hidrocarburos con 2 a 12 átomos de carbono (El-Halwagi; 2006), son agentes que participan activamente en la formación de contaminantes secundarios como el ozono, y debido a sus características tóxicas o mutagénicas, pueden representar un riesgo para la salud del hombre y al ecosistema. Probablemente los COV's constituyen la segunda clase más extendida y diversa de emisiones, después de las partículas. Aun cuando algunos COV's son emitidos por grandes fuentes, la mayor parte son emitidos por fuentes pequeñas. En los tanques de almacenamiento de una batería de separación se producen emisiones a la atmósfera de COV's y otros contaminantes. Debido a estas emisiones se tiene baja seguridad al operar instalaciones con ambiente altamente explosivo que

pueden provocar incendios, poniendo en riesgo al personal y la instalación completa. También al estar emanando estos COV's se tienen pérdidas económicas considerables, porque son hidrocarburos con alto valor económico agregado que se pueden integrar dentro del proceso de separación y comercializarlos, aunado a los daños al medio ambiente y riesgo a la instalación inherente.

Como motivación al presente trabajo, se muestra un ejemplo típico de separación primaria de crudo, la **Figura 1a** es un proceso sin recuperación de vapores y la **Figura 1b** muestra el mismo proceso con recuperación de vapores, el cual disminuye la cantidad emisiones al ambiente. El resultado de las emisiones se obtiene usando técnicas de simulación de proceso.

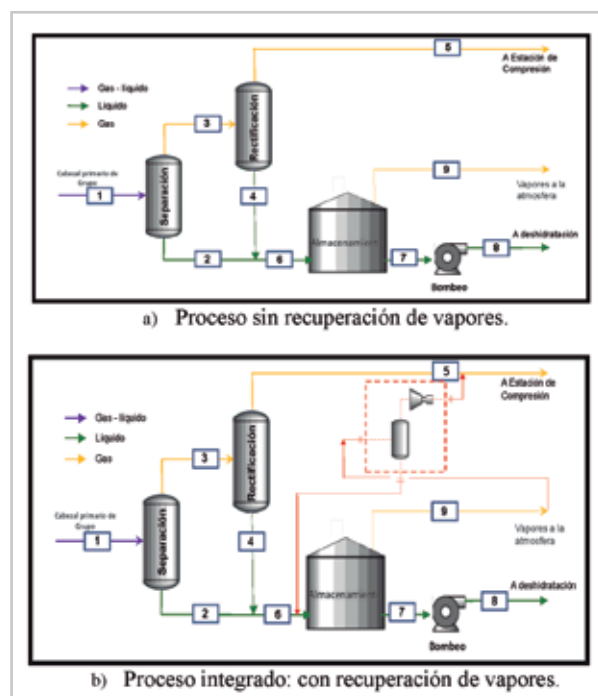


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso típico.

Simulación y ajuste de las propiedades de los fluidos y flujos producidos

Una vez obtenidos los composicionales característicos de alimentación al proceso por medio de simulación de procesos, se procedió a ajustar el modelo de simulación, el ajuste se hace en base a las condiciones de operación que actualmente existe en la batería de separación, y las propiedades determinadas a través de los análisis

de laboratorio. En la corriente de gas que sale del rectificador se ajusta el flujo, el peso molecular y la densidad relativa, para la corriente de líquido se ajusta el flujo de aceite, flujo de agua, la densidad, el peso molecular y viscosidad del aceite. La **Figura 4** muestra la caracterización por simulación de las corrientes de alimentación al proceso completo de una batería de separación. Los cuales fueron obtenidas con ayuda del modelo de simulación.

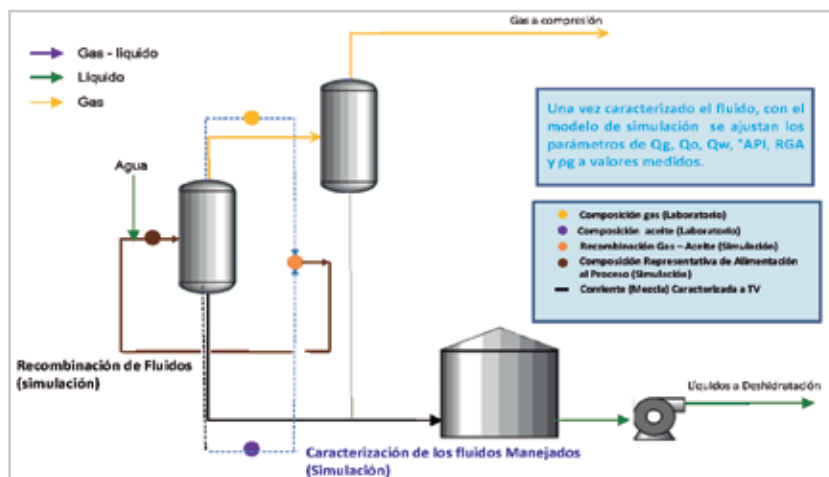


Figura 4. Caracterización por simulación.

En la simulación se evalúa la situación actual de la instalación y no se incluye el pronóstico de producción, ni la adición de otras corrientes o variaciones en la calidad del aceite °API. Cualquier variación en estas bases técnicas, impacta en los resultados obtenidos, por lo que se deberán realizar los ajustes necesarios en el modelo de simulación, cuando las propiedades de los fluidos o condiciones de operación de la instalación presenten algún cambio o modificación.

Una vez obtenido el estado actual de la batería de separación, se procedió a obtener directamente las emanaciones de COV's en los tanques atmosféricos, la corriente de interés puede visualizarse en la Figura 1, (vapores a la atmósfera-9).

Resultados

A continuación se presentan los resultados de las COV's y condensados en tanque de almacenamiento de crudo de nueve baterías de separación del Activo de Producción Cinco Presidentes de la Región Sur de Pemex Exploración

y Producción, los cuales fueron obtenidos mediante los modelos de simulación.

Para validar los resultados obtenidos por simulación de cada una de las instalaciones, se toma como referencia el estudio denominado, "Estudio de factibilidad para evaluar estrategias de control para disminuir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles COV's provenientes de los tanques de almacenamiento de crudo de la batería de separación Ogarrio 5", (Ver Mosqueda *et al.*, 2014 y Mendoza *et al.*, 2014), el estudio demuestra que hay una desviación del 3.66 % de la simulación de procesos y medición directa en tanques de esta batería, la desviación puede ser atribuible a la incertidumbre del método aplicado en la medición de los vapores y/o eficiencia de separación considerada en el modelo de simulación.

En la **Tabla 1** se presenta la información mediante la cual se alimentó el modelo de simulación de cada una de las nueve instalaciones consideradas en el estudio, para el ajuste del modelo de simulación y tener un resultado

aceptable, se utiliza el flujo que entra a la batería, la presión de separación, la presión de rectificación, la temperatura de separación, la temperatura de rectificación, la densidad del líquidos a la salida del de los tanques de almacenamiento,

así como el peso molecular, la viscosidad y temperatura de punto de ebullición, además de la densidad a la salida del rectificador, el peso molecular y el análisis composicional, la caracterización de líquidos y el composicional.

Tabla 1. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos de las baterías en estudio.

Batería	Q_{aceite} (bpd)	Q_{agua} (bpd)	Q_{gas} (mmpcd)	$P_{separación}$ (kg/cm ²)	$T_{sep.}$ (°C)	°API	$PM_{liq.}$	PM_{gas}	ρ_{gas}	μ (cP)
Batería 1	2,887	151	8.654	2.5	28	35.9	221.46	21.86	0.75	5.59
Batería 2	7,604	1,201	45.739	5.0	25	37.5	239.33	22.53	0.77	4.08
Batería 3	8,101	1,076	30.987	6.0	28	28.2	159.78	22.71	0.78	17.33
Batería 4	5,673	1,988	14.753	4.0	30	31.9	225.00	21.37	0.74	7.39
Batería 5	4,598	1,497	28.247	5.0	28	29.8	154.72	19.43	0.67	12.12
Batería 6	6,535	1,126	17.196	3.8	29	31.0	220.00	21.82	0.75	8.06
Batería 7	3,598	994	17.544	3.5	24	26.0	140.00	23.01	0.79	16.10
Batería 8	8,818	1,635	10.351	5.0	27	35.3	148.65	23.91	0.82	6.24
Batería 9	20,102	3,151	23.08	5.0	29	27.8	107.17	18.99	0.65	14.58
Total	67,916	12,819	196.551	-	-	-	-	-	-	-

La **Tabla 2** muestra los resultados de cálculo de emisiones y propiedades de cada una de las baterías en estudio, se observa que las baterías que manejan un crudo más volátil tienen las emanaciones más altas, la batería número 2 de esta tabla de resultados, tiene una emanación de COV's 3.064 mmpcd debido a su alta densidad del orden de 37.5 °API. Se observa que a mayor presión de separación en la batería la Presión de Vapor Reid (PVR) es más alta, a menor presión de separación, la PVR es más baja. La propiedad de

PVR es la que indica si es crudo está o no estabilizado al enviarlo a una planta deshidratadora, un valor por norma que indica que un crudo está estabilizado es del orden de 6.0 psia, en la **Tabla 2**. Se observa que el crudo de envío a deshidratación de varias baterías están no estabilizado, esto debido las altas presiones de separación que se manejan en cada uno de los procesos y a la no existencia de una etapa de estabilización.

Tabla 2. Resultados de cálculo de emisiones y Presión de Vapor Reid, (PVR).

Batería	$P_{separación}$ (kg/cm ²)	°API	COV's emitidos (mmpcd)	Condensados (bpd)	PVR (Salida de separador (psia)	PVR (succión de bomba) (psia)
Batería1	2.5	35.9	0.343	11.17	9.61	6.0
Batería2	5.0	37.5	3.064	72.00	18.22	6.4
Batería3	6.0	28.2	0.891	37.81	28.71	8.1
Batería4	4.0	31.9	0.294	19.39	14.20	6.0
Batería5	5.0	29.8	0.351	3.77	15.69	6.0
Batería6	3.8	31.0	0.279	23.25	17.95	7.1
Batería7	3.5	26.0	0.450	18.05	16.95	6.2
Batería8	5.0	35.3	0.580	25.35	11.24	6.0
Batería9	5.0	27.8	1.129	19.41	15.77	6.9
Total	-	-	7.338	230.2	-	-

De acuerdo a la **Tabla 3** de ventajas y desventajas de las alternativas, se recomienda la implementación de las recuperadoras de vapor, considerando que éstas, por ser un servicio, se podrían instalar y meter en operación de manera inmediata, además de que no implica tripular personal para operar dichos equipos y de que no generarán costos por mantenimiento del mismo, además que con ella se asegura al igual que en las otras alternativas evaluadas, el evitar la emanación de COV's a la atmósfera. El empleo de esta tecnología permitirá

incorporar los volúmenes que actualmente se envían a la atmósfera, los cuales a las condiciones actuales es 7.338 mmpcd de gas y 230.2 BPD de condensados, representado 198,315,670 y 103,786,569 millones de pesos anuales de pérdidas respectivamente, para recuperar dicha emisión se necesitarían instalar 15 recuperadoras, **Tabla 4**, el costo del servicio de operar 15 recuperadoras es \$13,462,096 MN anual, lo que implica una utilidad anual de 288,510,570 \$MN/año. Considerando la alternativa 1 de la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de alternativas propuesta.

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1.0 Unidad recuperadora de vapor	<ul style="list-style-type: none"> Se recuperan los vapores que actualmente se envían a la atmósfera. Bajo costo del servicio. No se necesita electricidad. No se tienen costos por operación y mantenimiento, dado a que se consideran dentro del pago del servicio. Dado a que las unidades son modulares, estas pueden irse desincorporando de acuerdo a los pronósticos de producción. Ya se utilizan en otras instalaciones con éxito. 	<ul style="list-style-type: none"> Cada recuperadora solo tiene capacidad para manejar 0.50 mmpcd de vapores. Área del patín de 1.50 x 3.00 mts. Aprox por recuperadora.
2.0 Instalación de Jet Pump	<ul style="list-style-type: none"> Se recuperarán los vapores que actualmente se envían a la atmósfera. Dispositivo sencillo sin partes móviles. Utiliza poco espacio de instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión inicial alta. Genera gastos de operación y mantenimiento debido a que el paquete incluye un separador. Se requiere gas a alta presión. El gas descargado requiere ser enviado nuevamente a rectificar y la instalación esta limita en capacidad de rectificación.
3.0 Instalación de Torre Boot	<ul style="list-style-type: none"> Se recuperan los vapores que actualmente se envían a la atmósfera. 	<ul style="list-style-type: none"> Los costos de inversión son muy altos y por tanto el periodo de recuperación de la inversión es mayor a un año. Genera gastos de operación y mantenimiento. Se requiere de una mayor cantidad de área de instalación, lo que implicaría la adquisición de un terreno adicional para poder llevar a cabo su instalación.. Proceso complejo de operación, debido a la instrumentación y control de diferentes variables que intervienen en el proceso.

Tabla 4. Análisis financiero.

ANÁLISIS FINANCIERO		
Cantidad recuperada de gas	7.338 mmpcd	2680.204 mmpc/año
Cantidad recuperada de condensados	230.20 bpd	91,385.55 barril/año
Precio de venta de gas (4.04 USD/mmbtu)	542,587.06 \$MN/día	198,315,570 \$MN/año
Precio de venta del aceite (82 USD/barril)	284152.14 \$MN/día	103,786,569 \$MN/año
Costo de recuperación (177.33 USD/URV'S)	36,838.92 \$MN/día	13,462,096 \$MN/año
Utilidad neta	789,898.89 \$MN/día	288,510,570 \$MN/año

El uso de la tecnología Jet Pump, es una buena opción a mediano plazo por el tiempo de instalación y pruebas de operación. Los costos que se presentan en el trabajo con referencia a esta tecnología, sólo consideran los costos del dispositivo Jet Pump, sin embargo, es importante realizar el diseño del sistema, para determinar la presión y volumen de gas que se requeriría para la operación eficiente del sistema, dado a que lo anterior, implicará tomar gas de la red de bombeo neumático del campo o bien el requerimiento de equipo de compresión adicional en la instalación, para poder operar de manera eficiente esta tecnología, por lo que el costo de implementar esta alternativa se incrementaría. La instalación de la Torre Boot es una de las opciones más eficientes, sin embargo, es una alternativa que representa un costo muy elevado y por tanto los tiempos requeridos para amortizar la inversión serían largos, además tal y como se comentó en la Tabla 3 de ventajas y desventajas, implicaría requerimientos de espacio lo que elevaría aún más los costos.

Conclusiones

En este trabajo se calculó la cantidad de vapores COV's y condensados diarios emitidos en los tanques de almacenamiento de crudo de nueve baterías de separación del Activo de Producción Cinco Presidentes (APCP), los resultados indican que a las condiciones de operación actuales de las baterías se ventean 7.338 mmpcd de gas y 230.2 BPD de condensados, lo que representa una utilidad neta de alrededor de 288,510,570 \$MN/año incluyendo el costo de la unidades de recuperación, aunado a los riesgos del personal e instalación y disminución del impacto ambiental, debido a que con esta cantidad de COV's emitidos, se tiene una atmósfera explosiva. De las opciones evaluadas para recuperación, las (URV's) son las

más factibles de usar, debido a su bajo costo de operación de 177.33 USD/URV's.

Las emisiones por mínimas que sean representan pérdidas económicas y daños a la atmósfera que contribuyen al calentamiento global, como referencia, una molécula de CH₄ tarda en degradarse 51 años en la atmósfera y el metano es considerado uno de los seis gases de efecto invernadero.

Agradecimientos

Agradecemos ampliamente a los Ings. Fernando Burgos Landero, Francisco Javier Ortiz Ramírez y Javier Torres Flores, de diseño de instalaciones en superficie del Grupo Multidisciplinario de Operación de Pozos e Instalaciones (GMOPI) del Activo de Producción Cinco Presidentes y a los Ings. Celso Erick Leobardo Castellano Bandala y Alfredo Carrasco Balboa del Instituto Mexicano del Petróleo, por las críticas y correcciones a este trabajo.

Referencias

Mosqueda J. F. W. Pérez A. E y Mendoza M. F. J., 2014, Estudio de factibilidad para evaluar estrategias de control para disminuir las emisiones de compuestos Orgánicos Volátiles COV's provenientes de los tanques de almacenamiento de crudo de la batería de separación Ogarrio 5"; Informe técnico, Activo de Producción Cinco Presidentes (APCP).

El-Halwagi MM., 1997, Pollution prevention through process integration: Systematic design tools. San Diego: Academic Press.

El-Halwagi MM., 2006 Process integration. New York: Academic Press.

Mendoza M. F. J, Mosqueda J. F. W y Pérez A. E., 2014 Impacto de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en tanques de almacenamiento de crudo. Colegio de Ingenieros Petroleros de México (CIPM), 2-4.

Semblanza de los autores

Francisco Javier Mendoza Medina

Ingeniero Petrolero por la Universidad Nacional Autónoma de México, posteriormente hizo su Maestría en Ingeniería Petrolera por la misma institución.

Ha trabajado para el Distrito de Comalcalco, Activos Integrales Samaria Luna, Macuspana, Cinco Presidentes y Bellota Jujo, desempeñando el cargo de Jefe de Diseño de Instalaciones y Jefe de Sectores Operativos de pozos e instalaciones.

Es miembro del Colegio de Ingenieros Petroleros de México y de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.

Francisco Waldemar Mosqueda Jiménez

Ingeniero Químico Industrial, con Maestría en Ingeniería Petrolera y Maestría en Ciencia en Ingeniería Química, con especialización en Ingeniería de Producción e Ingeniería de Procesos.

Realizó sus estudios de Ingeniero Químico Industrial por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), posteriormente hizo su Maestría en Ciencias en Ingeniería Química por parte de la Universidad de Texas A&M (College Station, Texas) y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), trabajando aquí con el Investigador más importante a nivel mundial en Integración de Proceso, Mahmoud M. El-Halwagi. Posteriormente realizó sus estudios de Maestría en Ingeniería Petrolera por parte del Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas.

Ha publicado y presentado trabajos en revistas nacionales e internacionales con arbitraje estricto, en las que destacan American Institute of Chemical Engineers, Revista del Colegio de Ingenieros Petroleros de México, Asociación de Ingenieros Petroleros de México, Congreso Mexicano del Petróleo, Asociación Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química e Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.

Ha trabajado para el Instituto Mexicano del Petróleo, como asesor especializado para el diseño y optimización de instalaciones superficiales de producción, en el Activo de Producción Cinco Presidentes y para la Compañía Dlarqco en diseño de instalaciones para el Activo Integral Poza Rica.

Actualmente está laborando en la Compañía Dragados Offshore México, como Jefe de diseño de plataformas marinas de producción, para los Activos Integrales Litoral Tabasco, Ayatzil-Tekel, Ku-Maloob-Zaap y Cantarell.

Eduardo Pérez Alpuche

Ingeniero Químico, con Maestría en Ingeniería Petrolera.

Realizó sus estudios de Ingeniero Químico por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), posteriormente hizo su Maestría en Ingeniería Petrolera por parte del Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas.

Ha trabajado para el Instituto Mexicano del Petróleo, y ha sido Jefe de Proyectos, en los Activos Cinco Presidentes, Bello Jujo, Macuspana–Muspac y Samaria Luna, su área de especialización es la Ingeniería de producción, ha dirigido un sin fin de especialistas en las áreas de producción, procesos, y redes y transporte de hidrocarburos.