

Inventario y medición de emisiones por combustión en E&P

Javier Franco, Cecilia Calleja, Paula Balla, C.T.Vilar
RepsolYPF

Sinopsis

La relevancia que ha tomado en los últimos años la evaluación de los parámetros ambientales en la industria de los hidrocarburos ha llevado a desarrollar metodologías y tecnologías que permiten acceder a estimaciones cada vez más acertadas RepsolYPF ha llevado adelante en el área de Malargüe durante los años 2003, 2004 y 2005 campañas de inventariado de fuentes de emisión por combustión, adecuación de tomamuestras y accesos y mediciones directas en números representativos de las mismas. Asimismo, se llevaron a cabo en Neuquen diversos trabajos que incluyen la formulación de procedimientos de medición, auditorias en los métodos de medición y determinación de concentraciones de contaminantes y análisis de los resultados de diversas campañas de medición.

A partir de los resultados derivados se pudo categorizar las fuentes de emisión en la operación, tener una primera aproximación a cálculos de relevancia de los aportes de los distintos tipos de fuentes, analizar las eficiencias de combustión y generar programas de mejora y mantenimiento para incrementarlas.

Introducción

Emisiones producto de la combustión

Las emisiones de gases contaminantes en las actividades de exploración y producción de la industria del gas y del petróleo pueden dividirse en tres categorías: emisiones de gases de combustión (fuentes de combustión), emisiones fugitivas y emisiones producto de la separación del dióxido de carbono del gas natural (fuentes de venteos).

El quemado de combustibles (combustión) resulta en la emisión de gases como el monóxido y dióxido de carbono (CO y CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), metano (CH_4) y compuestos orgánicos volátiles no metano. La emisión de estos contaminantes tiene influencia sobre la calidad del aire en diferentes escalas como el local (afectación de la calidad de aire), el regional (lluvia ácida, eutrofización, contaminación con metales pesados, y otros) y el global (cambio climático).

El dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) son los principales gases efecto invernadero en el Upstream; los restantes gases producto de la combustión presentan diversos efectos, por ejemplo, el monóxido de nitrógeno (NO) es formado en el quemado de combustibles fósiles por oxidación del nitrógeno del aire. No hay evidencia que el NO sea dañino para la salud en las concentraciones normalmente encontradas en la atmósfera. La importancia de conocer su concentración en el aire ambiente, y su relación con la calidad de este, se debe a que frecuentemente el NO es oxidado formando dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO_2 no sólo es tóxico, sino también corrosivo y altamente oxidante. Pequeña cantidad de NO_2 , usualmente menor que décimas por ciento, son formadas directamente durante la combustión a temperatura elevada. Menos del 10 % del NO_2 se forma por oxidación directa del NO en el corto intervalo entre la eyección de NO como un producto de la combustión y el tiempo en que este diluye su concentración debajo de 1 ppm. La mayoría del NO_2 que se encuentra en la atmósfera resulta por la oxidación del NO en presencia de luz solar, ozono e hidrocarburos. Aún en la ausencia de luz solar, se continúa formando el NO_2 a partir del NO por acción del ozono, hasta que el aporte del O_3 se agota. Al igual que el SO_2 , el dióxido de nitrógeno es otro de los contaminantes gaseosos que poseen carácter ácido. Su acción se manifiesta mediante la descomposición del NO_2 con la humedad presente en el sistema respiratorio, transformándose en ácido nítrico (HNO_3) y nitroso (HNO_2). Dado que el NO_2 no es muy soluble en agua pasa a través

de la tráquea y bronquios, relativamente secos, alcanzando el área húmeda de los pulmones (los alvéolos) donde forma los ácidos mencionados, ambos irritantes y corrosivos para la cubierta mucosa de los pulmones. El monóxido de carbono (CO) se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión. En general esto ocurre en los automotores, dado que en las industrias y en las centrales térmicas se controla que la oxidación sea total, generando CO₂ pues es la forma de obtener el mayor rendimiento térmico de los hidrocarburos, o sea hay un aspecto económico por medio; el CO₂ no es dañino para el ser humano, si bien produce otros efectos como el invernadero. La producción de CO₂ es inevitable, dado que es inherente al proceso mismo de oxidación del combustible, pero la generación de CO puede ser reducida al máximo con un control adecuado de la combustión. El monóxido de carbono actúa por asociación con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina, reduciendo ostensiblemente la oxigenación debido a que el CO es 210 veces más reactivo que el oxígeno con la hemoglobina. Por lo tanto se observa una disminución en el transporte de oxígeno por la sangre hacia las células del cuerpo humano. Cuando la concentración de CO supera las 120 ppm, se puede producir pérdida de reflejos, dolores de cabeza, náuseas, vómitos, y si persiste puede llevar a la muerte.

Ya sea por sus posibles efectos sobre la salud humana o sus impactos de escala regional y global, las emisiones gaseosas producto de las operaciones de las instalaciones de producción en yacimientos deben ser conocidas.

Inventario de emisiones

Las emisiones gaseosas pueden ser relevadas a través del tiempo a partir de la conformación de un inventario de emisiones. Los inventarios de emisiones gaseosas son conjuntos de datos que caracterizan las liberaciones de contaminantes gaseosos de fuentes emisoras diversas.

Los inventarios de emisiones permiten identificar qué contaminantes son emitidos, cuantificar la emisión y son un elemento de base para desarrollar un programa de calidad de aire consistente y con posibilidades de llegar a una reducción equitativa y eficaz de las emisiones.

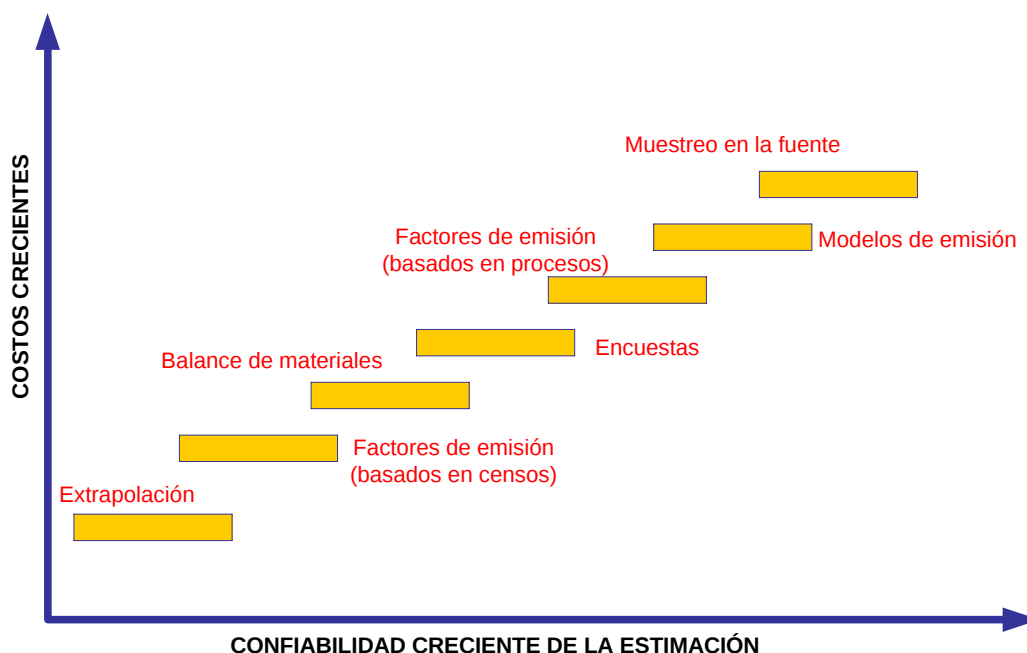
Básicamente un inventario de emisiones cuenta con un detallado relevamiento de las fuentes de emisión, un análisis de los procesos, una evaluación de la actividad desarrollada y finalmente la relación existente entre estas variables y las emisiones efectivas en un período de tiempo determinado.

Llevar adelante un inventario de emisiones implica conocer las técnicas básicas de estimación de emisiones (TEE). Las técnicas de estimación pueden resumirse en:

- Muestreo en la fuente: son mediciones directas de la concentración de contaminantes en un volumen conocido de gas y de la tasa de flujo del gas en la chimenea (son utilizadas comúnmente para fuentes de emisiones de combustión).
- Modelos de emisión: son ecuaciones desarrolladas cuando las emisiones no se relacionan directamente con un solo parámetro.
- Encuestas: son cuestionarios diseñados para recopilar datos de emisiones.
- Factores de emisión: son relaciones entre la cantidad de un contaminante emitido y una sola unidad de actividad. La actividad puede consistir en datos basados en procesos (producción, horas de operación, área superficial) o en datos basados en censos (población, número de empleados)

Cada una de estas técnicas implica tareas particulares y costos diferentes para el desarrollo de las mismas. En el gráfico 1 se muestra de forma sintética cuál es la relación entre el aumento de la confiabilidad de la estimación y los costos asociados para las técnicas convencionales de estimación de emisiones.

Gráfico 1. Confiabilidad vs. Costos para las TEE



REPSOL YPF ha implementado a partir del año 2000 un mecanismo de información de emisiones gaseosas dentro del sistema denominado Reporte de Parámetros Ambientales. Mediante este mecanismo las emisiones son estimadas a partir de la utilización de factores de emisión basados en censos y procesos desarrollados a lo largo de todo el mundo. Aún cuando oficialmente se reconoce este mecanismo como aquel que representa los valores de emisión de las unidades de negocio de la compañía, se promueve la implementación de muestreos en fuentes y confección de algoritmos propios que permitan tener una aproximación más precisa a los valores efectivos de emisión de cada una de las fuentes registradas.

Desarrollo

En el desarrollo de los inventarios de emisiones se realizaron una serie de tareas que pueden sintetizarse en el siguiente punteo de pasos consecutivos:

- Conocimiento de las mejores prácticas en la industria
- Inventariado y Caracterización de fuentes de emisiones
- Medición directa de fuentes de combustión
 - Elección de las metodologías de medición
 - Adaptación de las fuentes para cumplir con los requerimientos de normas o prácticas de medición
 - Diseño del programa de medición
- Análisis de los resultados

Conocimiento de las mejores prácticas

La industria del gas y del petróleo es una de las industrias que ha desarrollado gran diversidad de documentos relacionados con el cambio climático e inventario de emisiones. El Compendio API

para la estimación de gases de efecto invernadero es un documento de relevancia para comenzar con la tarea de revisión de las mejores prácticas.

Actualmente existe una gran diversidad de bibliografía y antecedentes disponibles para llevar adelante todo tipo de estudios relacionados con emisiones gaseosas, la agencia ambiental de los Estados Unidos (EPA) sigue siendo una de las principales fuentes de metodologías y guías; así como también existen normas internacionales estandarizadas para la medición y evaluación de emisiones.

Un relevamiento pormenorizado de los antecedentes disponibles puede ahorrar mucho tiempo posterior en las tareas subsiguientes.

Inventariado y Caracterización de medición

El primer paso en el desarrollo de inventarios de emisiones fue conocer los distintos tipos de gases que podían resultar de interés:

- Gases regulatorios: de acuerdo a las exigencias legales aplicables a la operación o normativa vigente – Ver Decreto 3395 (Buenos Aires)
- Gases GEI (Gases Efecto Invernadero)
- Contaminantes críticos y precursores
- Contaminantes gaseosos peligrosos (HAP)

Luego se llevó a cabo una enumeración y caracterización preliminar de las fuentes de emisión y los procesos involucrados:

- Datos: Números totales/ Tipo y/o Marca/ Consumo de combustible y tipo de combustible/ Horas de uso (diarias o mensuales)/Estadísticas de eventos anormales de uso/
- Elementos: Antorchas, Bombas inyectoras, Bombas de pozos productores, Calderas, Calentadores, Compresores, Deshidratadoras, Hornos de proceso, Incineradores, Motores estacionarios, Turbinas, Plantas deshidratadoras, Plantas de endulzamiento, Tanques de almacenamiento, Tanques de producción.

Una vez reconocidas las fuentes de emisión más relevantes se procedió a caracterizarlas con mayor profundidad a partir del relevamiento en campo de las mismas y de la carga de datos a planillas confeccionadas especialmente para este fin (Figura 2)



Figura 2. Caracterización de fuentes

Medición de las fuentes de combustión

Elección de las metodologías de medición

Una vez conocidas las sustancias que se necesitaban medir y definidas las fuentes, se realizaron búsqueda de metodologías de medición adecuadas.

De forma sintética, se pueden mencionar dos grandes grupos de equipos de medición los de referencia y los de rutina.

Los métodos de referencia serán aquellos que se encuentran publicados en disposiciones de reconocido prestigio internacional tal como la EPA (Environmental Protection Agency, EEUU). Por lo general estos métodos son más precisos, “traceables” y representativos de la concentración del contaminante. Como contrapartida su empleo implica: equipamiento mas caro y complejo de utilizar, tiempos de preparación y muestreo muy prolongados y por último los servicios necesarios son mayores (ej.: disponibilidad de corriente eléctrica).

Los que hemos llamado métodos de rutina, usualmente analizadores de gases de combustión portátiles, basan su funcionamiento en celdas electroquímicas. Estos equipos funcionan con baterías, son autónomos, son livianos y sencillos de usar; bien calibrados y mantenidos dan valores bastante representativos. El principal inconveniente que presentan es que las celdas electroquímicas tienen memoria, es decir si se miden concentraciones muy elevadas se produce un desajuste de la respuesta del analizador y el equipo no avisa de este inconveniente. Por este motivo si se realizara las mediciones como aparece en los métodos condicionales de EPA la medición sería tan engorrosa y complicada como con el método de referencia. Resumiendo un analizador portátil bien calibrado y mantenido puede dar valores confiables y rápidos, útil para una primera vista de la situación, en caso de haber fuentes conflictivas se debe analizar el uso de un equipo de referencia.

Un tema muy importante en las mediciones es ser capaz de obtener valores representativos de la emisión y en el caso de procesos que no tengan grandes variaciones los resultados no deberían modificarse, dentro de un cierto margen de error, demasiado entre una determinación y otra.

Esto se consigue por medio de acciones: la normalización y la implementación de un sistema de calidad:

- El primero me asegurará que las técnicas empleadas sean factibles de repetir y sirvan para la determinación que quiero realizar.
- El segundo me asegurará que el equipamiento es adecuado, está bien mantenido y calibrado; el personal que lo opera tiene suficiente preparación y por último se lleva un sistema documental que me permite verificar los cumplimientos de los dos anteriores puntos.

Adaptación de las fuentes para cumplir con los requerimientos de normas o prácticas de medición

Un paso previo a la medición de emisiones es corroborar en las fuentes el estado de tomamuestras y su ubicación (Figura 3). Varias normas aplicables a la medición de emisiones por combustión, por ejemplo, la medición de velocidad de salida de los gases a través de la chimenea, requieren ubicaciones específicas de los tomamuestras que en la mayoría de los casos no se cumplen para las fuentes presentes en las operaciones.

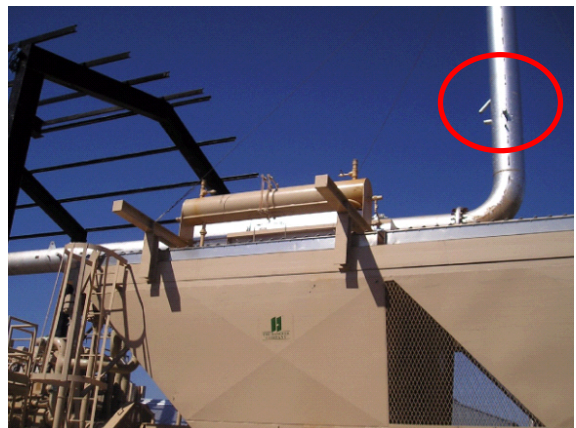


Figura 3. Ubicación de tomamuestras

Diseño del programa de medición

Un plan de programa de cuantificación de emisiones debe contener de forma sintética toda la información necesaria para ordenar el trabajo en campo, garantizar la calidad de los datos y permitir el análisis integral de los resultados.

En este plan deben quedar claros los objetivos o propósitos de las mediciones, los grupos involucrados en las tareas y sus responsabilidades, todos los datos referidos a la locación, a las instalaciones, los procesos y las fuentes (diámetro del conducto, dirección del flujo, distancias a los disturbios más próximos) también los detalles particulares de las mediciones (localización del tomamuestra, números de repeticiones, tipo de muestra, cadena de custodia, y otros).

Es importante en este punto la formulación de procedimientos claros para cada una de las tareas a llevar a cabo.

Es necesario prever todo lo referido a logística y seguridad en una campaña de medición, así como también garantizar el correcto traslado de equipos (Figura4).



Figura 4. Distintas mediciones en fuentes de combustión

Algunos resultados obtenidos

El análisis de los resultados obtenidos a partir de la implementación de tareas de inventario y medición es complejo. Además de evaluar la performance de cada uno de los equipos involucrados, es necesario considerar las condiciones de funcionamiento y la antigüedad de los mismos y las prácticas habituales en las operaciones, los sistemas de mantenimiento implementados e incluso considerar la experiencia de los operadores.

Un análisis simple de realizar en primera instancia es la relación de las concentraciones de CO_2 y O_2 en los gases de salida (Figuras 5 y 6).

Figura 5. Concentración de CO₂ y O₂ en motogeneradores

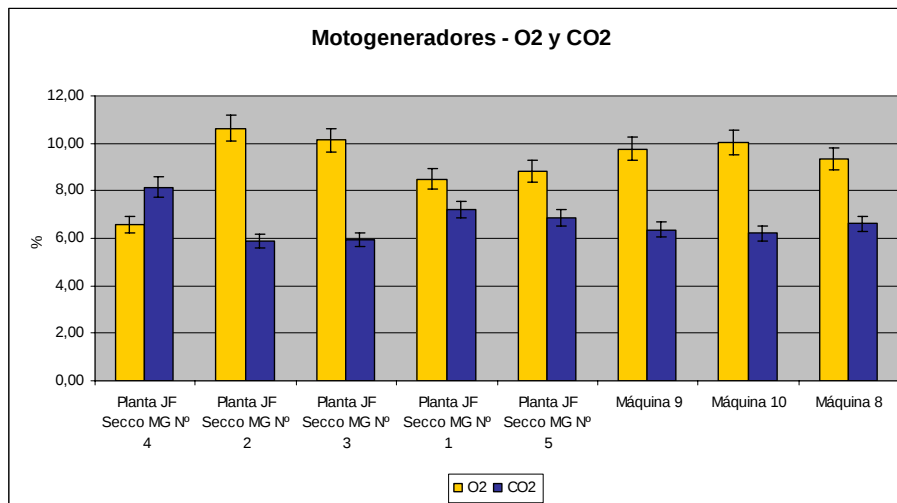
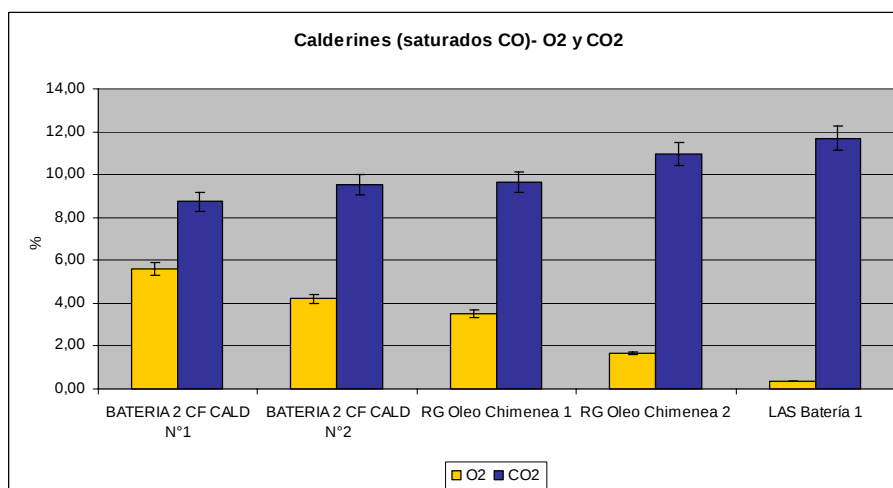


Figura 6. Concentración de CO₂ y O₂ en calderines con saturación de CO



La relación existente entre los valores de CO₂ y O₂ representa de cierto modo la eficiencia de la combustión que se lleva a cabo.

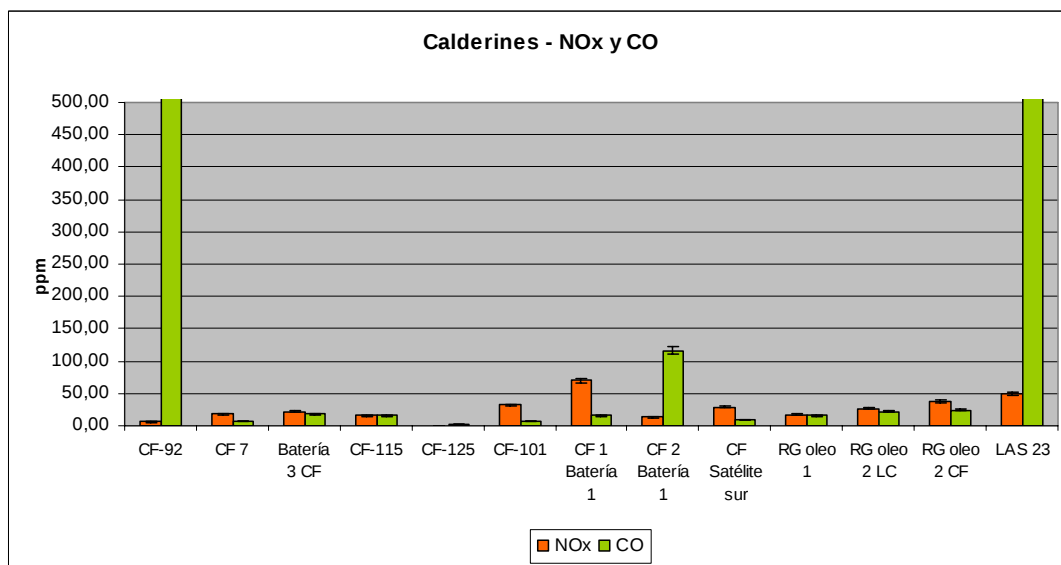
En una combustión completa las sustancias combustibles del combustible se queman hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, en una combustión 100% eficiente, no habrá sustancias combustibles en los humos (mezcla de gases producto de la combustión). En los productos de la combustión se puede encontrar N₂, CO₂, H₂O y SO₂. Cuando la combustión no es completa, se forman sustancias que todavía pueden seguir oxidándose; como por ejemplo, CO. Estas sustancias se denominan inquemados.

Un alto porcentaje de O₂ en los humos implica una combustión con exceso de aire. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, ésta trae aparejada la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama.

Otro tipo de análisis ejecutados fue la comparación de concentraciones de NOx y CO en gases de chimeneas de distintas fuentes de emisión.

La emisión de estos gases, producto de una combustión incompleta, se encuentra comúnmente regulada en las legislaciones internacionales. A nivel nacional no se cuenta hasta el momento con límites definidos para la emisión de los mismos y esta misma situación se repite en la provincia de Mendoza. Sin embargo, se cuenta con niveles guía de emisión en la legislación de la provincia de Buenos Aires y son justamente éstos niveles los que se utilizaron como guía para realizar una evaluación de las emisiones de NOx y CO desde este punto de vista.

Figura 7. Concentración de NOx y CO en calderines



Otro análisis llevado a cabo fue la comparación de caudales de emisión para diversos tipos de fuentes.

Este análisis permite identificar las principales fuentes de emisión por tipos de gases y luego el aporte proporcional de las mismas a la totalidad de las emisiones de las operaciones.

Figura 8. Caudales de emisión en Hornos

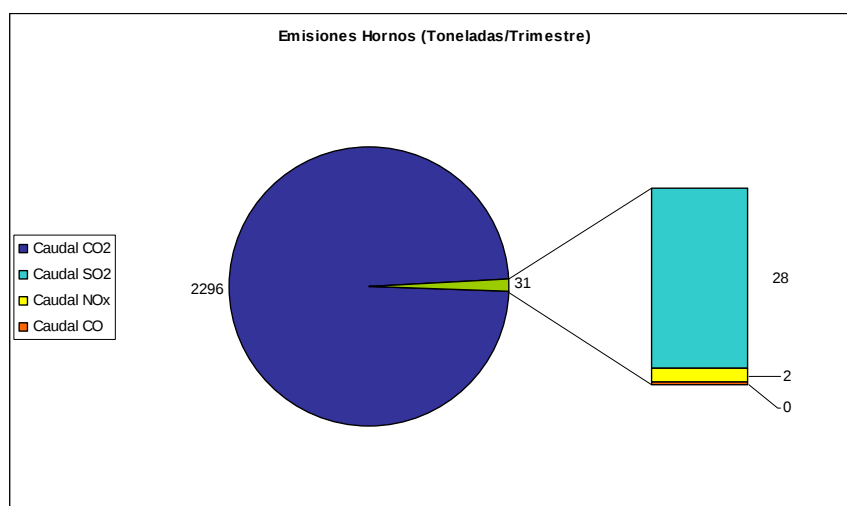
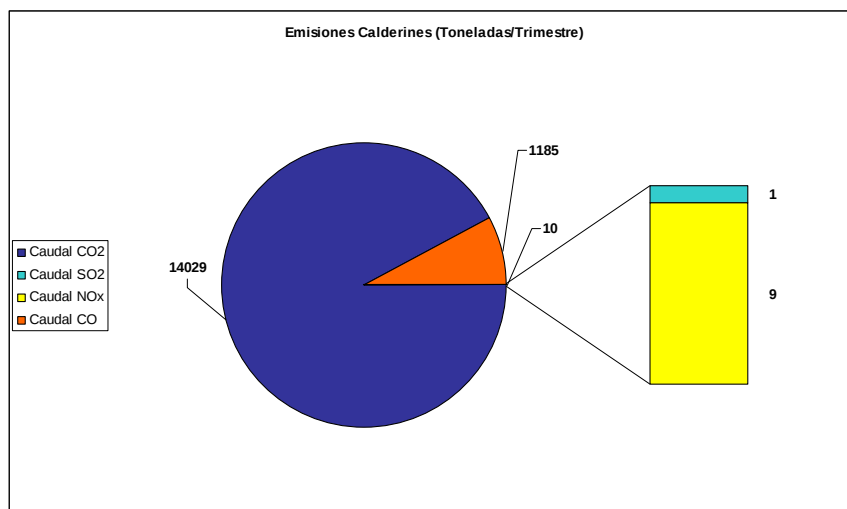


Figura 8. Caudales de emisión en Calderines



Conclusiones

Son muchos los aspectos a considerar a la hora de programar y realizar un inventario de emisiones por combustión. El desarrollo de esta tarea de forma sistemática permite en primera instancia garantizar la calidad de los resultados y todas las deducciones que se hagan a partir de los mismos. También permite promover acciones que tienden a la minimización de impactos sobre el medio ambiente, en este caso sobre la atmósfera.

Bibliografía

- Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry. 2004.
- Methods for estimating atmospheric emissions from E&P Forum – Report N°2.59/197. The Oil Industry International Exploration & Production Forum. September, 1994
- Guía para los ensayos en chimeneas. H. Bajano. Grupo Monitoreo Ambiental. CNEA, 2003.
- Atmospheric emissions from sources of air pollution in petroleum industry-emission. L. Romi, et al. SPE61509, 2000.
- Estimating air emissions for Permian Basin oil and gas properties. J. Jhonstone and A. Stobbe. SPE 80574, 2003.
- Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México- Volumen III – Técnicas básicas de estimación de emisiones. Radian Corporation, 1996.
- ASTM (American Society for testing and materials) D3588-98. Standard practice for calculating Heat Value, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous Fuels.