

CONTROL Y MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS, LÍQUIDOS Y SÓLIDOS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD HIDROCARBURÍFERA EXPERIENCIAS OBTENIDAS POR ANDINA S.A. BOLIVIA

Marcelo Villegas V.
Repsol YPF Bolivia

SINOPSIS

El presente trabajo detalla los pasos seguidos por la empresa Petrolera Andina, ahora del grupo Repsol YPF para tener bajo control el conjunto de residuos provenientes de sus operaciones rutinarias o de emergencia que por las características de la industria pueden ser contaminantes y ocasionar impactos sobre el aire, el agua, los suelos y por tanto sobre la especie humana objetivo final de la naturaleza. Esta Compañía se forma luego que la Empresa estatal del petróleo en Bolivia YPFB, dentro del marco de reformas estructurales al Estado pasa a manos privadas mediante el proceso de “capitalización”.

Emisiones de gases de combustión sin control, quema de gas para producir pozos con importantes relaciones gas-petróleo, agua de formación drenada libremente, derrames de hidrocarburos que quedaban impregnados en los suelos, residuos domésticos albergados en fosas sin ningún tratamiento, aguas negras y grises que pasaban directamente al subsuelo sin tratamiento eran prácticas comunes en la industria y particularmente en los campos recibidos por Andina S.A. para su operación, por ello y ratificando su compromiso con la defensa ambiental y un sólido respeto por los elementos básicos de la vida, el suelo, el agua y el aire, esta Empresa se propone diseñar y poner en práctica una serie de medidas planificadas y efectivas para encarar de manera global un manejo racional de sus efluentes sean de tipo gaseoso, líquido o sólido y encarar de esta manera sus operaciones con estándares ambientales internacionalmente aceptados.

INTRODUCCIÓN

El avance vertiginoso de la ciencia en las últimas décadas del siglo veinte signado por la informática, la electrónica y como marco la economía globalizada trae aparejado un creciente interés mundial por la preservación del medio ambiente, los procesos privatizadores de la década de los noventa en América Latina, que le devolvieron a los estados su rol fiscalizador, han dado origen a una emergente legislación medio ambiental que traza el marco técnico-administrativo para el ejercicio fiscal del estado en procura de preservar tres elementos esenciales para la vida, agua, aire y suelo.

Debido a las actividades de Explotación del petróleo y del gas, que la Empresa Petrolera Andina S.A. realiza en los bloques por ella operados, se producen emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos con mayor o menor grado de contaminación, analizaremos la visión de conjunto que lleva a diseñar un sistema integral de manejo de los efluentes y luego puntualmente el proceso de medición y valoración que se realiza a cada uno de estos elementos y la manera de actuar

sobre cada uno de ellos para que no constituyan una amenaza a la salud humana, al medio ambiente ni al ecosistema.

Para el caso de las emisiones gaseosas, se describe su naturaleza, la medición de las concentraciones de contaminantes y como, sobre la base de los resultados en los casos que lo ameriten se actúa sobre los equipos y los procesos que las producen para controlarlas.

En el caso de los efluentes líquidos se analizan tanto los industriales como los domésticos, entre los primeros se destaca el agua de formación y se detalla su tratamiento y proceso para ser inyectada en reservorios profundos, las aguas negras y grises producidas en campamentos y plantas son tratadas mediante procesos combinados de digestión anaeróbica y aeróbica.

Los suelos contaminados por derrames de hidrocarburos se tratan por bio remediación en celdas mediante land farming y los recortes de perforación con lodos base aceite son controlados mediante micro encapsulado o por desorción térmica, aunque se tiene un proyecto piloto para tratar estos recortes por métodos biológicos. Los residuos domésticos son incinerados en hornos pirolíticos.

En cada caso se describen las planillas y frecuencia de control, así como la experiencia que se tiene en la aplicación de las técnicas mencionadas, poniendo énfasis en los resultados obtenidos y su relación con la legislación vigente, también en los aspectos económicos, de manera que pueden servir como parámetro de comparación o diseño para el caso de que se quieran aplicar técnicas similares.

DESARROLLO

Durante la gestión integral de control y monitoreo de las emisiones gaseosas, líquidas y sólidas producidas en las operaciones de explotación de hidrocarburos y en el procesamiento del gas natural, se busca abarcar el control de todos los factores susceptibles a ser contaminantes y no tomarlos parcialmente para no perder de vista el conjunto o dejar de lado algunos elementos importantes, logrando esto en base a la sistematización de la gestión y a la estandarización de los problemas y de los resultados, si bien el monitoreo y control se tratan de manera integral, cada tipo de elemento contaminante debe ser tratado en forma independiente en cuanto a su análisis y métodos de evaluación y seguimiento, tomando siempre los avances y desarrollos sobre el tema realizado por expertos e investigadores para cada caso particular, por ejemplo en contaminación de suelos por hidrocarburos, en tratamiento e inyección de agua de purga, residuos domiciliarios, etc.

Un programa de gestión integral de emisiones debe considerar todos los aspectos de la operación y la definición de los puntos de control en cada uno de los temas, su frecuencia y sobre todo el manejo de los parámetros que no se encuadren a la normativa definida en cada caso en regulaciones legales, normas internacionales, normas internas y en muchos casos el buen sentido.

Como primera medida dentro del objetivo propuesto se instruye la realización de un relevamiento minucioso de la operación poniendo énfasis en las emisiones operativas y eliminando aquellas derivadas de equipos defectuosos u operaciones realizadas de manera equivocada, ayudan en este cometido los legajos técnicos de seguridad y ambientales, la clasificación de áreas, planos técnico operativos, Hazop, etc. el minucioso análisis de estos documentos nos llevará a un plan maestro de monitoreo y confrontación con la normatividad referida que nos conducirá a la definición de los rangos en que se deberán mover los valores monitoreados, la gestión debe necesariamente incluir un plan de acción sobre los elementos que provoquen que los valores de sus índices no estén encuadrados dentro los considerados aceptables, estas acciones pueden ser del tipo correctivo mediante agentes químicos o físicos o pueden definir el cambio de un equipo o la modificación de una práctica operativa.

El volcar los resultados de cada uno de los parámetros en cuadros adecuados y continuos nos permitirá una evaluación global en el espacio y en el tiempo de los elementos que inciden en operaciones con contaminación compatibles con las regulaciones y serán un importante indicador de la eficiencia de los equipos y de la operación del campo o planta de que se trate.

El inventario efectuado en las plantas de Andina S.A. indicó que los parámetros más importantes a los que se debería realizar un seguimiento eran los siguientes

- ? Emisiones de gases de combustión de motores
- ? Quema y venteo de gas en pozo y en planta
- ? Agua de formación asociada a la producción
- ? Agua de consumo doméstico
- ? Agua de consumo industrial
- ? Aguas negras
- ? Aguas grises
- ? Recortes de perforación en base agua o aceite
- ? Suelos empetrolados por derrames
- ? Residuos domésticos

Si bien los analizaremos de manera independiente, es importante resaltar que deben tratarse de manera integral en lo que se refiere a monitoreos e informes periódicos, de manera que una persona pueda evaluar de manera práctica la totalidad de los posibles contaminantes y su desarrollo en cuanto a las labores tendientes a su control, atenuación o mitigación

EMISIONES GASEOSAS

Las emisiones gaseosas que genera nuestra industria las podemos dividir en las provenientes de la quema o venteo de gases aparejados a la producción, las producidas en el procesamiento del gas y las provenientes de los motores de combustión interna.

La quema de gas otrora indiscriminada por el escaso valor comercial de este energético, la premura de recuperar líquidos y el menor compromiso con el medio ambiente, ahora está controlada en cuanto a cantidad y calidad de quema. La cantidad mediante la legislación que en nuestro país se fija en un tope de 2% del total producido, valor que puede ser superado solamente en situaciones debidamente justificadas y con el correspondiente permiso de la autoridad energética que permite de manera temporal volúmenes mayores de quema para casos especiales como prueba de pozos, paros programados de planta y operaciones puntuales; producir en estas condiciones implica un desafío de ingeniería y una considerable inversión en sistemas de re inyección, toda vez que en el caso de Repsol YPF en Bolivia solo un 50 % del gas producido va al mercado, en el caso de Andina los porcentajes de quema de gas se redujeron de un 16 % el año de su creación en 1997 a un 1 % actual.

La calidad de quema, vale decir una combustión adecuada, con los elementos proporcionados a los volúmenes a quemar y cumpliendo normas internacionales de diseño pasa por un estudio apropiado de ingeniería para los flare o quemadores. Este estudio conduce a quemadores que respondan a los volúmenes de gas a quemar y que esta operación se realice en condiciones seguras y pueda obtener parámetros de alta eficiencia en la destrucción de los hidrocarburos en la combustión, disminución de la radiación de cabeza, minimizar los ruidos y optar por el sistema sin humo en el caso que se lo requiera. El diseño de estos elementos sobre todo en plantas existentes y que han sufrido modificaciones respecto a su diseño original pasa por un exhaustivo relevamiento y redimensionamiento de los dispositivos de venteo, la selección adecuada de válvulas de alivio balanceadas del tipo modulante o de apertura total, basado en un programa adecuado de cierre de emergencias (ESD–Emergency Shut down) que apoyado en la evaluación de los distintos escenarios de emergencia se considera vital para la reducción de los costos iniciales de inversión debido a que el buen manejo de las situaciones de emergencia reducirá los caudales de venteo y consecuentemente las dimensiones del quemador en su conjunto.

Los distintos escenarios de emergencia pueden ser estudiados mediante simuladores en modo dinámico por el efecto de la variable tiempo que permite hacer un seguimiento preciso del proceso dinámico que representa una situación de alivio; se debe encarar este análisis mediante un equipo multidisciplinario apoyado en la planificación y soportados con las herramientas adecuadas, esto conducirá a generar un importante ahorro en los costos de inversión inicial. Con los resultados del simulador de proceso se determina la contrapresión para cada dispositivo de alivio en cada escenario de emergencia para comparar con los datos de diseño proporcionados, asegurando que la contrapresión calculada no sobrepasará la contrapresión permisible indicada por el fabricante de las válvulas de alivio de presión. Tanto el dimensionado del recuperador de líquidos (FKOD-Flare Knock Out Drum) como de la altura del quemador deben seguir lo establecido en la norma API RP 521.

El control de estos volúmenes se realiza mediante medidores de flujo tipo ultrasónico colocados en los ductos de conducción del gas hacia el flare y en los casos que estos medidores aún no están instalados mediante cálculo de masas en forma combinada con personal fiscalizador del gobierno; En las inmediaciones del quemador se monitorea la calidad del aire circundante y de los

gases post combustión. Andina diseñó y construyó quemadores en las plantas donde estos no eran adecuados invirtiendo hasta el momento alrededor de \$us. 1'500.000 en estos reemplazos.

Entre las principales emisiones gaseosas provenientes de operaciones propias de la planta de procesamiento de gas, tenemos los resultantes de los hornos para calentamiento de gas, y más eventualmente las purgas de GLP por sobre presión, venteo de propano que van hacia los quemadores y escapes por válvulas de seguridad de alivio de presión que van a la atmósfera. Los equipos para monitorear la calidad de gases de combustión captan los gases a la salida de hornos o de escapes mediante sonda absorbente de gases que lo conducen a sensores electroquímicos, donde llega equitativamente una concentración de gas para su registro, se miden parámetros como monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, etc. también se determina la eficiencia de la combustión mediante lecturas de concentración de oxígeno, temperatura de salida de gases, temperatura ambiente, etc. cuando estos indicadores superan los apuntados en las regulaciones, se actúa sobre los elementos que regulan el proceso como ser gas combustible y aire; se confeccionan planillas de seguimiento se pueden relacionar con graficas que permiten determinar rangos de mayor eficiencia de quema. Los gases de inmisión es decir los que se miden en los alrededores de quemadores, puntos de venteo, etc. tienen un proceso similar pero los valores de comparación son diferentes.

Los gases provenientes de la combustión interna de los motores de compresores generadores, bombas, etc. son monitoreados mediante analizadores de oxígeno a la salida de los caños de escape, se llenan planillas con los datos recolectados y se cotejan con los parámetros considerados normales, en el caso de superarse estos valores, se modifican los componentes de la mezcla explosiva, se realizan reparaciones mecánicas cambiando o reparando elementos defectuosos o con mucho desgaste, en el caso de persistir estas fallas se plantea el recambio con equipos nuevos o en lo posible con motores de baja emisión llamados “ecológicos” que son los que realizan una combustión limpia en base a reciclar combustibles quemados; los moto compresores de gases de intermedia en el campo Monteagudo siguen este diseño.

La frecuencia aconsejable de monitoreo se considera aconsejable realizarla cada 3 meses para motores y hornos, mientras que los volúmenes de quema de gas deben medirse de manera continua; en caso de presentarse señales externas diferentes como color en las emanaciones olores un poco diferentes u otros síntomas, se debe ajustar esta frecuencia hasta llegar a un ritmo adecuado a cada caso. Actualmente una comisión del Ministerio de desarrollo sostenibles está en la elaborando un reglamento que estandarice la frecuencia y métodos para estos muestreos.

Algunos de los principales contaminantes asociados con las operaciones petroleras son:

El Monóxido de Carbono que se forma durante la combustión incompleta de los hidrocarburos (Gas incoloro, inodoro). Causa el efecto invernadero y el cambio climático. La inhalación de monóxido de carbono tiene efecto nocivo en la salud debido a la afinidad mayor en la hemoglobina en la sangre con el monóxido de carbono. La afinidad de la hemoglobina y el monóxido es 240 veces la de oxígeno. La formación de COHb no permite que el oxígeno sea

transportado en la sangre. Los niveles elevados de COHb son particularmente peligrosos para las personas que sufren de enfermedades del corazón y respiratorias, mujeres embarazadas e infantes.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que consisten principalmente de carbón e hidrógeno. Los compuestos de hidrocarburos de cadenas rectas se conocen como alifáticos; los compuestos que tienen una estructura cíclica se conocen como aromáticos. Un ejemplo de los compuestos aromáticos son los BTEX, como benceno, tolueno, benceno etilénico, y xilenos orto/meta/para. Los temas de salud asociados con la emisión atmosférica de hidrocarburos son numerosos y peligrosos por ser cancerígenos. Los hidrocarburos son los precursores del ozono. A niveles elevados, los hidrocarburos pueden causar una irritación menor de las mucosas y pueden tener un efecto generalmente narcótico. El benceno es un cancerígeno conocido y ha sido asociado con casos de leucemia en adultos. El formaldehído puede causar la irritación a corto plazo de las vías respiratorias y la piel.

Los Óxidos de Nitrógeno que causan daños irreversibles a los pulmones y se encuentran presentes en el aire. Los óxidos de nitrógeno generalmente son conocidos por el término Nox, el cual incluye óxidos de nitrógeno, óxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno en la atmósfera reducen la visibilidad, y contribuyen a la formación de aerosoles ácidos, ellos aligeran el proceso de calentamiento global; forman ozono a nivel de tierra y actúan como catalítico en la descomposición del ozono en la atmósfera superior. Los óxidos de nitrógeno se pueden formar a través de varios procesos naturales incluyendo la acción bacteriana en el suelo.

Materias de Partículas Suspendidas (SPM) que con un diámetro de partícula de 10 micras o menos, permanecen suspendidas en la atmósfera por largo tiempo. SPM reduce la visibilidad y reacciona con otros contaminantes del aire para crear nuevos contaminantes. SPM también contribuye a enfermedades respiratorias por medio de la penetración profunda en las vías respiratorias. El efecto tóxico depende de la naturaleza física y química de las partículas, en particular con respecto a los gases absorbidos en la superficie o absorbidos dentro de ellos mismo.

Los Óxidos Sulfúricos donde la mayoría de las emisiones sulfúricas están en forma de dióxido sulfúrico y son producidos por el transporte público, las industrias y la energía térmica. El dióxido sulfúrico atmosférico con agua producen ácido sulfúrico y diluciones sulfúricas, los cuales caen a la tierra en forma de lluvia. El problema de la lluvia ácida ahora se ha intensificado en los países en proceso de desarrollo mientras estos expanden sus actividades industriales.

El ozono es un gas color azul de olor punzante. Su presencia en la atmósfera puede tener efectos beneficiosos o perjudiciales para la salud y bienestar del ser humano, dependiendo de su elevación. El ozono en los niveles de elevación baja (hasta 15 Km), conocido como la ozono troposférica, es dañino. Se forma a través de una reacción química compleja entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno cuando hay la presencia de luz solar. El ozono es el constituyente mayor de la contaminación fotoquímica, que causa la tos, dificultades en la respiración y la pérdida temporal en la

función del pulmón. El ozono en las elevaciones altas y estratosféricas es de mucho beneficio porque protege la tierra de la radiación ultravioleta B (UV-B) del sol. Una bajada del 1 % en el ozono estratosférico resulta en un incremento de radiación UV-B de 2 %.

En el siguiente cuadro se anotan valores de diferentes legislaciones respecto a algunos parámetros a ser monitoreados sobre calidad de aire ambiental para contaminantes de referencia.

Contaminante (mg/M3)	Tiempo Medio	USEPA	Califor- nia	UE	OMS	Alemania	Bolivia Ley 1333
CO	1 Hr.	40.000	23.000		30.000	30.000	40.000
SO ₂	24 Hr.	365	105	250-350	125	140	365
NO ₂	24 Hr.				150	80	150
PST	P 1 Hr 24 Hr.	260	470	200	400	200	400 260
	Anual			2	0.5-1	2	75
P > 10 micras	24 Hr.	150	50	250	125	150-300	150
	Anual	80		80-120	40-60	60	50
Ozono	1 Hr.	235	180		200		236
Plomo	Trimestre	1.5					1.5

EFLUENTES LÍQUIDOS

La principal fuente de efluentes líquidos contaminados en general es el agua de formación que acompaña a los hidrocarburos, sobre todo por su alto contenido de sales y que al dejarla correr en superficie ocasiona desertificación a veces permanente en los lugares por donde pasa o se detiene; Andina en la actualidad produce alrededor de 6.000 Bbbs de agua de purga por día, estimándose que en los dos próximos años este volumen se duplique; la solución mas idónea, compatible con un buen desempeño ambiental es que esta agua se la reinyecte a la formación, esta práctica amerita resolver los siguientes problemas: Eliminación de bacterias que formen colonias que pueden llegar a taponar la formación, esto se logra mediante bactericidas y eliminando el oxígeno disuelto necesario para su desarrollo, Decantación y filtrado que retenga partículas gruesas compatibles con el reservorio, definición de los horizontes a inyectar, pozos inyectorios adecuadamente terminados con pruebas de inyectorabilidad positivas con tiempos suficientemente representativos, sistema de bombeo de capacidad adecuada. Repsol-YPF cuenta en Bolivia con 5 plantas de inyección de agua funcionando y otra en ejecución, 2 de las cuales van asociadas a procesos de recuperación secundaria de petróleo por empuje de esta agua inyectada

En la planta de tratamiento de agua de Río Grande, el agua de formación al salir de los separadores trifásicos se dirige al tanque desnatador de tipo atmosférico, con colchón de gas, donde el excedente de hidrocarburos libres es retirado de la superficie del agua a través de drenaje flotante; el agua libre de hidrocarburos, contenido menor a 2 ppm, es bombeada a través

de filtro de arena donde la concentración de los sólidos suspendidos es reducida desde 70 ppm hasta 9 ppm, con estas características el agua es derivada a tanque final, donde se almacena con colchón de gas aislante. El agua filtrada recibe en línea la dosificación de los productos químicos, anti incrustante, anticorrosivo, secuestrador de oxígeno y bactericidas. El costo del tratamiento químico en la planta de Río Grande asciende a 0.08 \$us por barril tratado. Actualmente mantenemos presiones de inyección de agua de 900 psig (6.205 Kpa.). La planta se encuentra automatizada y gobernada por controlador lógico programable (PLC) que básicamente controla el arranque y paro de bombas de acuerdo con el nivel de tanques y un control automático de retrolavado de filtro. Se incluyen paros de seguridad.

En los campos del Norte se reúnen las aguas de purga provenientes de los campos Víbora, Sirari y Yapacaní mediante un acueducto de 35 Km de PVC hasta la planta de tratamiento e inyección de agua de Víbora, la inyección se realiza en el campo ya improductivo de Cascabel, se eligió como sumidero el pozo CCB-12 terminado en el acuífero del reservorio Yantata a 3.200 mbbp, elegido después de los resultados positivos de la prueba de admisión. El agua antes del tratamiento contiene TSS igual a 29.6 ppm, contenido de hidrocarburos 1.5 ppm y está saturada de oxígeno (6 a 7 ppm de oxígeno disuelto), consecuentemente se optó por un diseño de tratamiento que incluye un filtro de arena para la reducción del contenido de sólidos suspendidos hasta el valor de 8 ppm, seguido de una torre de vacío operada a una presión de operación de 27 milímetros de mercurio absolutos, consiguiéndose un residual de oxígeno disuelto en el agua de 0.5 ppm para el posterior tratamiento químico con secuestrador de oxígeno para reducir el contenido de oxígeno hasta niveles de 20 ppb. Finalmente el agua recibe el tratamiento químico previo su almacenamiento final en tanque aislado con gas (blanket gas). Los productos químicos se dosifican en línea a la corriente de agua que circula desde el filtro al tanque final de agua tratada con bomba dosificadora de caudal ajustable, entre los cuales podemos citar el secuestrador de oxígeno y antincrustante. También dosificamos en forma alternada y por lotes (batch) cada quince días dos biocidas, uno del tipo formaldehído y un segundo a base de aminas cuaternarias.

En La Peña la inyección se combina con un proyecto de recuperación secundaria, se ha diseñado un sistema más sencillo con equipos existentes, pero que cumple con los requisitos de una buena inyección. El agua de formación es derivada desde tanque cortador a piscinas de estabilización, tres en serie, donde el agua se decanta y estabiliza para ser succionada por bomba centrífuga y bombeada a través de filtro de arena donde los sólidos suspendidos son reducidos desde 22 a 8 ppm de partículas con diámetro de hasta 10 micrones. El contenido de hidrocarburos es bastante bajo 0.9 ppm que se reduce hasta 0.1 ppm aguas abajo del filtro, con estas características el agua se succiona con bomba alternativa tipo triplex y se inyecta en pozos del reservorio "La Peña", donde el empuje de agua ya ha mostrado sus efectos aumentando ligeramente la producción de líquidos en un 3% de la producción que se tenía antes de la inyección de agua (julio 1999). Periódicamente se dosifican los bactericidas a la entrada del filtro de arena, mediante bomba, baches de cuatro horas cada quince días, que mantiene controladas a las bacterias, especialmente las sulfato reductoras (BSR).

La plantas Surubí y de Monteagudo instaladas el año 2.000 y 2.001 siguen los mismos lineamientos generales de las anteriores y en La planta en construcción en la estación satélite de La Peña que utiliza una unidad de proceso conocida como FWKO (Free Water Knock Out) basada en el principio de separación de fases por diferencia de densidades, que contempla pasos que minimizan la oxigenación del agua al mantenerla en tanques cerrados, lo que incide en la eliminación del tratamiento químico para reducir el contenido de oxígeno disuelto, el proceso se utiliza como separación primaria y el agua se inyecta en la parte marginal del reservorio petrolero de la arenisca La Peña formando parte del proyecto de recuperación secundaria que en su momento de mayor volumen inyectará 10.000 Bbbls de agua por día y se espera incrementar la producción de petróleo del campo en 4.000 Bbbls/día

El monitoreo de estas aguas de inyección consiste en la medición de los siguientes parámetros con su correspondiente frecuencia y acción en caso de superar los valores de diseño:

TSS	Semanal	LIMPIEZA DE FILTRO
Bacterias Sulfato Reductoras (BSR)	Quincenal	BACTERICIDAS
Contenido de Hidrocarburos	Semanal	TIEMPO DE RESIDENCIA
Oxígeno Disuelto	Semanal	SECUESTRANTE
Dureza	Semanal	ANTI INCRUSTANTE

Las aguas residuales provenientes de plantas y campamentos divididas en aguas negras, que son las que contienen material orgánico proveniente de los excrementos humanos y grises que están constituidas por los efluentes procedentes del lavado de ropa, vajilla, baños, preparación de alimentos etc. tienen compuestos orgánicos e inorgánicos y estos a su vez pueden ser solubles o insolubles. Los compuestos inorgánicos solubles incluyen iones minerales en solución como sodio, potasio, hierro y calcio. Dentro de los sólidos inorgánicos insolubles encontrados en las aguas residuales se encuentran la arena, la arcilla y otros materiales. Los compuestos orgánicos de las aguas residuales se descomponen fácilmente y se lo denomina material biodegradable. Este término significa simplemente que la materia orgánica puede ser biológicamente descompuesta o estabilizada por acción bacteriana.

Estos efluentes denominados genéricamente aguas residuales domésticas anteriormente eran conducidas a cámaras sépticas y el efluente se lo llevaba en parte a pozos ciegos y cuando estos eran rebasados el resto era largado directamente a corrientes superficiales o a lagunas en las cercanías actualmente se tratan en plantas que emplean el proceso biológico conocido como lodos activados modalidad "Aeración extendida" o "Digestión aeróbica" y el efluente de estas libre ya de contaminación es evacuado mediante galerías filtrantes, pozos absorbentes o a corrientes superficiales dependiendo del caso.

En este proceso las aguas residuales entran en la cámara de aireación donde los contenidos son mezclados y aireados con grandes volúmenes de aire inyectados al interior de la cámara; en la medida que el aire burbujea hacia la superficie transfiere oxígeno a los líquidos de la cámara. Las bacterias aeróbicas presentes en el lodo activado de la cámara usan este oxígeno para

transformar las aguas residuales en un líquido cristalino e incoloro; este proceso se denomina también “combustión húmeda” pues las bacterias degradan las aguas residuales por el uso de oxígeno, tal como el fuego utiliza oxígeno para quemar la basura. Después que el líquido tratado sale de la cámara de aeración es dispuesto en la cámara de sedimentación en la que permanece en completa calma. Las partículas tratadas sedimentan al fondo de la cámara desde donde son devueltas a la cámara de aeración para posterior tratamiento. Esta sedimentación permite producir un efluente claro y apropiado para su disposición final. El efluente sale cristalino y sin olores pero no libre de elementos patógenos (bacterias, virus, etc.). La desinfección del efluente se logra al contactar el agua tratada con las tabletas de hipoclorito de calcio en el clorador. Aquí el efluente tratado es retenido por 30 minutos en la cámara de contacto, para que actúe el cloro, eliminando los agentes patógenos. El cloro residual se elimina por reacción química, al hacer pasar el efluente por el declorador el cual contiene en su interior tabletas de sulfito de sodio. Con esto el agua está apta para ser largada en superficie y puede ser utilizada en riego de jardines, en el caso de Río grande esta agua es evacuada mediante drenes sub superficiales humedeciendo los jardines perimetrales del campamento y no directamente a la superficie, así se evita un control demasiado exigente en la decloración o eventualmente en los olores. La capacidad de estas planta es para 100 personas.

Los efluentes que salen de las plantas de tratamiento de aguas negras y grises, luego de la digestión aeróbica y su posterior cloración y decloración son monitoreados mensualmente a la salida dela planta midiéndose los siguientes parámetros

Turbidez	Mensual	CICLO DE SOPLADORES
Coliformes Totales	Mensual	DOSIFICACIÓN DE CLORO
Cantidad de Cloro	Mensual	DOSIFICACIÓN DE SULFITO DE SODIO
Sólidos Suspendidos	Mensual	TIEMPO DE RESIDENCIA
Mercurio, Plomo	Mensual	ANÁLISIS ESPECIAL
DBO?, DQO	Mensual	DOSIFICACIÓN, AIREACIÓN

Todos los valores son registrados en tablas que sirven como testimonio del seguimiento formando parte de la gestión ambiental formulada en la ISO 14001, nos permiten analizar variaciones, arribar a conclusiones y prever situaciones futuras.

RESIDUOS SÓLIDOS CONTAMINADOS

En la industria del petróleo y el gas se originan residuos sólidos contaminados que desde el punto de vista de la peligrosidad pueden ir desde los moderados o no tóxicos hasta los elementos cancerígenos que pueden causar daños irreversibles a la especie humana, de ahí la responsabilidad con que se deben tratar este tema. Desde un punto de vista operativo podemos clasificarlos en residuos extraordinarios que son los producidos en derrames de tanques, rotura de

ductos y en general en eventos no programados, y los residuos provenientes de procesos operativos, es decir que son previstos como los recortes de perforación con fluidos en base aceite, sedimentos en fondo de tanques de almacenaje, sedimentos en piletas API, etc. en esta categoría se deben encuadrar a los residuos domésticos originados en campamentos y plantas que dan lugar a otro tipo de contaminación que debe también ser tomada en cuenta.

Desde el punto de vista más importante, es decir sobre los impactos ambientales que producen, los derrames de hidrocarburos y de aguas de formación se los identifica en condición anormal y de emergencia, donde el primer caso se trata de un incidente de pequeña magnitud en zonas de producción, con leve afectación a la flora y fauna, donde la respuesta es rápida y eficaz y el incidente tiene lugar a corta distancia de los medios de apoyo logístico. Para la condición de emergencia, el incidente es de gran magnitud hay una mayor distancia de las bases logísticas, se necesita apoyo de equipos y medios extras, con afectación a la flora y fauna y quizás al medio social y político ya sea a nivel local, departamental o nacional.

Todas estas situaciones están consideradas en los procedimientos, en los cuales se describe claramente los pasos a seguir en cada una de las situaciones apuntadas, así como las acciones de Comunicación, Investigación y Registro de Accidentes, Incidentes y Cuasi Accidentes y están incorporados al Sistema de Gestión Ambiental de la Compañía

Para el caso indicado de suelos contaminados con hidrocarburos optamos por los medios biológicos para su remediación, es decir el proceso por el cual los Microorganismos degradadores de hidrocarburos es decir aquellos que utilizan hidrocarburos como fuente de carbono consumen los hidrocarburos presentes y producen CO₂, agua, biomasa y productos parcialmente oxidados, este proceso se realiza en las Unidades de tratamiento de suelos contaminados ó LTU por sus siglas en inglés (Landfarming Treatment Unit), en las que en presencia de los Microorganismos degradadores de hidrocarburos, buenas condiciones de aireación que les permitan captar oxígeno, de humedad y nutrientes adecuados que facilitan el crecimiento de estas bacterias se permiten que se produzcan los procesos indicados en condiciones controladas. Los temas conexos como son el tratamiento de los lixiviados, condiciones climáticas de la zona, etc. son tratados puntualmente para cada caso en particular.

Se debe tener un especial cuidado en la procedencia del derrame pues en el caso de algunos suelos contaminados con productos químicos o ciertos aceites, podrían generar un riesgo al tratamiento de biorremediación por sus características de resistencia a la biodegradación, en todo caso antes de disponerlos en los land farming se debe evaluar su tratabilidad por vía biológica.

La experiencia de Andina S.A. en su LTU de Río Grande se refiere al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de derrames directos sobre suelos natural, mezclas de lodo y sedimentos de fondo de tanque, haciendo un total de 650 M3 tratados por la acción degradadora de diversas especies microbianas sobre los residuos de hidrocarburos; la celda de tratamiento consiste en un cubeto de 50 m x 50 m y una altura promedio de 1 m, el sitio seleccionado está protegido contra contingencias aluvionales por medio de taludes. Se usan

membranas de polietileno de alta densidad sobre el fondo y los taludes, colocadas sobre suelo nivelado, sin piedras, ramas, residuos metálicos, o cualquier otro elemento que pudiera dañarla. Se cuenta con un sistema de drenaje para la recolección de los lixiviados, que son recolectados en un tanque de PRFV de 5 m³ con tapa, que se vacía con un camión atmosférico cada vez que se llena. Esta cañería está provista de una válvula globo que permite el control de la salida de percolado y se pueda cerrar en periodo de sequía; el lixiviado se transporta hasta el sistema de pileta API y planta de inyección de agua con que cuenta la planta de Río grande.

En el caso indicado se inició con un suelo con contenido de hidrocarburos Totales TPH de 17.000 ppm y al cabo de 6 meses de tratamiento este suelo tenía 2.500 ppm, es decir estaba apto para su disposición final en suelo considerado industrial de acuerdo a la legislación boliviana, se utilizaron fertilizantes para provisión de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y se utilizó un motocultivador para la remoción ó laboreo, el cual se realizaba con una frecuencia promedio de 10 días. Los parámetros que se monitorearon en este caso fueron:

Concentración de Hidrocarburos	Mensual
Concentración de Nitrógeno Total	Mensual
Concentración de Fósforo	Mensual
Concentración de Microorganismos Degradadores de Hidrocarburos	Mensual
PH	Mensual
HAPs	Al finalizar tratamiento
Cationes pesados	Al finalizar tratamiento

Se llevaron las siguientes gráficas donde se aprecia la evolución de los diferentes parámetros, durante el tratamiento de biorremediación:

Concentración de hidrocarburos versus tiempo

Degradación porcentual versus tiempo

Hidrocarburo remanente versus tiempo

Evolución de la concentración de Nitrógeno

Evolución de la concentración de Fósforo

Para la disposición de los suelos y fondos de tanque contaminados y en proceso de biorremediación, hay que ajustarse a la legislación vigente (Decreto Supremo N° 26171, de fecha 04/05/2001) que fija los siguientes valores respecto a Hidrocarburos Totales de Petróleo:

Compuesto	Suelo 0.0 a 1.5 m de profundidad			Subsuelo profundidad>1.5 m	
	Agrícola	Residencial Parques	Industrial Comercial	Residencial Parques	Industrial Comercial
TPH	1000	1000	5000	5000	10000

Concentraciones en mg./Kg. de materia seca

Para los desechos sólidos provenientes de campamentos, oficinas y plantas, genéricamente conocidos como Residuos Sólidos Domésticos se debe definir su control, manejo, tratamiento y disposición final para evitar que constituyan un peligro para la salud y el ambiente. Los podemos dividir en general como inorgánicos, orgánicos e industriales donde consideramos que:

Residuos orgánicos son los restos de comida, vegetales, cáscaras de huevo, de frutas, servilletas usadas, ceniza de quema de material incinerable, madera no contaminada, cartones.

Residuos Reciclables: Envases plásticos, plásticos no contaminados, latas de conservas y gaseosas, botellas de vidrio, papel periódico, cartones y papel de oficina.

Residuos Incinerables: Ramas y hojas secas, bolsas de cemento, papeles periódicos y cartones en mal estado, papel higiénico usado, trapos no sintéticos sin grasa o aceite.

Residuos Sanitarios (bio-hazard): Agujas, jeringas, torundas, gasas utilizadas en curaciones y restos de medicamentos.

Residuos Sólidos Industriales: Materiales impregnados con hidrocarburos (guantes de cuero, trapos, etc.) metálicos (tuberías, filtros, tambores, electrodos), plásticos (tambores, membranas de PVC), químicos, gomas, cauchos, sogas, cables, mangueras, guarda roscas, etc. Gafas, Trapos contaminados, Latas contaminadas, Vidrios contaminados, Plásticos contaminados, Cartones contaminados.

Los pasos para un adecuado manejo de este tipo de residuos son Preclasificación, Recolección, Transporte a estación de transferencia, Clasificación y Disposición final

Estos pasos se realizan disponiendo de recipientes adecuados de plástico, vidrio y metálicos, en las diferentes áreas de trabajo, perfectamente rotulados, que definen el tipo de desecho a disponer en cada recipiente. Posteriormente se recolectan y transporta el contenido a las estaciones de transferencia, donde los residuos sólidos son dispuestos en los lugares asignados al respecto, en estas estaciones también se encuentran los hornos para incineración de residuos. El transporte de los desechos hasta las estaciones de transferencia o de estas al sitio de disposición final se hace por vía terrestre en camiones, evitando la dispersión durante el viaje y sin rebasar la capacidad de carga de la caja contenedora que debe contar con tapa de seguridad que impide el ingreso de agua de lluvia y es de fácil manipuleo para su recambio y posterior lavado. En la estación de transferencia se realiza la clasificación final de los residuos y de acuerdo a su calidad van a disposición final que varía según el tipo de residuos de que se trate y que puede ser la incineración que es la combustión controlada y completa en hornos adecuados, el reciclado o proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente; o su disposición transitoria y traslado a centros especializados.

Los equipos de protección personal desechados, los desechos patológicos, los sobres de papel estañado con revestimiento plástico interno, para reactivos del espectrofotómetro, el papel, cartón

y madera no contaminados y contaminados, los restos de madera y los plásticos, Son depositados en los contenedores o recipientes adecuados e identificados para luego ser trasladados a la estación de transferencia y ser incinerados en el horno pirolítico.

Los frascos de vidrio de cultivos de bacterias, las ampollas chemetrics (oxígeno disuelto, ácido sulfhídrico), las latas metálicas de pintura, los filtros de aceite y los filtros de aire, son acumulados en contenedores adecuados e identificados para luego ser trasladados a la estación de transferencia y ser incinerados en el horno pirolítico. El vidrio o restos metálicos que quedan entre las cenizas, es retirado del horno para ser depositado en la estación de transferencia y luego periódicamente ser llevados a vertedero municipal. Trapos, estopas y guantes contaminados son considerados como residuos industriales, los cuales son incinerados y las cenizas luego de ser analizadas son depositadas en el área de tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (LTU).

Los vidrios y plásticos reciclables son almacenados en contenedor identificado para luego ser llevados a la estación de transferencia para su clasificado, lavado y posterior venta en centros de reciclado. Los neumáticos y gomas usados son entregados a tiendas donde se expenden como material de segunda mano. La chatarra metálica, tubos y guarda roscas metálicos se almacenan en predio preparado al efecto hasta formar lotes que son rematados periódicamente. Los escombros de mampostería son utilizados como material para rellenos de caminos de accesos a los pozos. Los turriles para envasar productos químicos y aceites son almacenados transitoriamente en las estaciones de transferencia de las áreas de producción y posteriormente devueltos a sus proveedores.

En disposición transitoria debidamente identificados con adecuadas medidas de seguridad y hasta se ubique un destino seguro o el gobierno decida sobre el destino final se acumulan elementos como empaquetaduras de amianto, focos, tubos fluorescentes, materiales eléctricos, pilas alcalinas, baterías de celulares, cartuchos de toner, tintas de impresoras y plásticos que no se pudieran quemar por su composición química.

En los casos particulares de los equipos de perforación o las brigadas de exploración, los lineamientos generales se mantienen, pero varían algunas prácticas.

Los residuos domésticos se recolectan y clasifican en un área en el campamento, los residuos orgánicos se disponen en fosas sanitarias con capas de cal viva y tapadas de tierra.

Residuos sólidos impregnados con hidrocarburos como guantes de cuero y trapos al igual que los residuos incinerables previamente clasificados cuidando de que no tengan contaminación con aceites o restos orgánicos, son incinerados por la contratista encargada de los residuos incinerables en fosas de quema.

Los residuos domésticos reciclables se envían a un vertedero municipal con una frecuencia adecuada al volumen de que se trate. Los residuos químicos deberán ser acopiados en sus mismos contenedores originales, que deberán mantener su MSDS (Hojas de Seguridad de los Productos Químicos). Residuos sanitarios bio-hazard se acopian en recipientes plásticos y el

médico del equipo es el encargado de su envío a la oficina de auditoria médica en Santa Cruz, para su disposición final en centros de incineración autorizados. Los residuos industriales metálicos tales como tuberías, alambres, cables, caños, herramientas usadas en mal estado, se envían a la Base para su destino final. Los aceites usados se acopian en tambores con tapa, luego son enviados a la base de Santa Cruz, para su entrega al contratista que se encarga de su reciclaje. En cuanto a la documentación de respaldo, se debe contar con los recibos que acusan recepción de los desechos por parte de los subcontratistas.

Los hornos incineradores para la Combustión controlada y completa de desechos sólidos de gran parte de los residuos generados dispuestos en las plantas son del tipo pirolítico, utilizan gas natural como combustible y generan una Temperatura máxima de 1200°C, cuentan con un equipo de lavado de humos de acero inoxidable, con doble rociador, malla de retención de acero inoxidable, la dilución de gases se realiza por medio de ventilador centrífugo a la salida del horno, cuentan con sistema de detección de humos por barrera infrarroja en chimenea, cuentan con acción temporizada sobre quemador primario y su chimenea es de acero inoxidable con sombrero.

En oficinas centrales de Santa Cruz se han instalado recipientes plásticos perfectamente rotulados, que definen el tipo de desecho a disponer en cada recipiente, tanto los residuos inorgánicos como vidrio, latas de gaseosas, plásticos y envases de plástico como los residuos orgánicos como papel, cartón, restos de comida, cáscara de frutas y los desechos orgánicos generados en comedores, cocina y cafeterías que serán dispuestos en los lugares de generación en recipientes plásticos reforzados, sin hacer distinción entre los desechos orgánicos crudos y cocinados. Estos recipientes son lavados regularmente a fin de evitar problemas de contaminación y mal olor, se utiliza el color negro para el recipiente que contendrá este tipo de desechos; se pesan los desechos orgánicos que se generan en las cocinas y comedores y los datos se vuelcan al formulario para conocer y establecer una línea base de los desechos orgánicos que se generan. Posteriormente la Empresa Municipal de Limpieza Urbana los recolecta periódicamente y transporta al vertedero Municipal para su disposición final.

El monitoreo y registro de los desechos domésticos se basa principalmente en la clasificación y el pesado de los mismos mediante formularios preparados al efecto.

El otro gran grupo de residuos sólidos contaminados se refiere a los recortes de perforación con lodos base aceite para lo cual el grupo Repsol YPF en Bolivia utiliza los siguientes métodos para su tratamiento: micro encapsulado, desorción térmica y tiene un proyecto piloto para el tratamiento de estos por métodos biológicos.

El micro encapsulado es un tratamiento ex situ que utiliza agentes oleofílicos, en el caso de Andina, zeolita modificada químicamente que tiene la ventaja adicional de su capacidad externa e interna para intercambiar cationes, esta adsorbe los contaminantes orgánicos, combinándose con agentes ligantes especiales que constituyen una micro cápsula donde el contaminante queda confinado, evitando su lixiviación en el medio ambiente

Si bien no es una técnica muy utilizada tiene como aspectos favorables la facilidad y poca infraestructura que precisa, el corto tiempo en que puede solucionar el problema y los buenos resultados en cuanto a lixiviación, en contrapartida se considera que la permanencia del material en estado contaminado por tiempo indeterminado influye en su confiabilidad, compuestos solubles en agua y pequeñas moléculas no son bien adsorbidas, para concentraciones altas de sustancias oleosas puede no ser muy efectiva.

La desorción térmica es un proceso que utiliza calor para remover los hidrocarburos petroleros volátiles de los suelos y sólidos contaminados, en este método, los residuos son calentados para volatilizar agua y los contaminantes orgánicos, mediante un gas transportador o sistema de vacío se transportan agua y orgánicos volátiles a un sistema de tratamiento de gases; este método es utilizado con una etapa previa de centrifugado que permite recuperar parte del diesel utilizado en la conformación del lodo.

Tiene como ventajas el lograr una efectiva reducción de concentraciones de un amplio rango de productos petroleros, incluyendo gasolinas, diesel, jet-fuel, kerosenes, lubricantes, etc. Es decir los que son volátiles hasta 650 grados centígrados; mediante un buen diseño y operación se puede llegar a una eficiencia de remoción > a 99%, pudiendo reducir los niveles de TPH por debajo de 10 ppm y de BTEX debajo de 100 ppb; al lograr estos valores de remoción, se elimina la responsabilidad a futuro de los desechos; los tiempos empleados son bastante menores a otros métodos y su diseño es relativamente simple.

Como limitaciones al método se pueden indicar que con materiales arcillosos de alta humedad debe ser más intensivo el dewatering, el personal afectado debe estar adecuadamente protegido de las exposiciones a volátiles que pudieran escaparse de la unidad, se precisan espacios considerables para el almacenado, preparación y disposición de los materiales en tratamiento, algunos metales pesados pueden volatilizarse en la desorción térmica, las unidades térmicas deberán contar con unidades para oxidar los volátiles remanentes y equipos para retención de partículas, si están en el sitio es decir son móviles su rango de temperatura puede ser menor y en caso de tener que trasladar a unidades fijas los costos de transporte incrementan el costo total del tratamiento; es importante advertir que una mala combustión al tratarse de recortes de perforación con base diesel puede tener como productos monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, óxidos de azufre, benceno, polifenólicos, sulfuro de hidrógeno, aminas orgánicas, dioxinas, todas las enumeradas pueden causar daños irreversibles a la salud humana y al medio ambiente por lo que la combustión debe realizarse con todas la precauciones y la técnica disponible y con todos los controles necesarios.

El cuadro nos muestra los costos obtenidos por Andina para los diferentes métodos que maneja.

micro encapsulado	Desorción Térmica	Land Farming
263 \$us/M3	283 \$us/M3	42 \$us/M3

El proyecto piloto para tratamiento de recortes de perforación con lodos en base aceite por métodos biológicos que está implementando Repsol YPF se plantea en mérito a la considerable brecha de precios existente entre los diferentes métodos y los biológicos que utilizan las LTU, e implica la adecuación de este tipo de recortes actuando sobre los elementos que inhibirían la biodegradación y dándole mejores condiciones de permeabilidad, humedad, nutrición y aireación mediante el mezclado y la adición de los elementos adecuados intentando obtener los beneficios de los métodos biológicos que son bajos costos y ofrecer soluciones definitivas a la contaminación por hidrocarburos.

RESUMEN

El trabajo presentado tiene como objeto mostrar una manera de encarar un sistema de gestión ambiental integral y como actuar de manera sistemática para controlar y manejar situaciones de alto impacto en cuanto a emanaciones contaminantes inherentes a la industria del petróleo y del gas en base a la firme voluntad y al compromiso de la Empresa y su respeto al medio ambiente. Entendemos que los buenos logros obtenidos se debieron a los siguientes factores:

- ? Se planifica mirando al futuro sobre la base de un estudio previo que define prioridades y magnitudes
- ? Se trabaja de inmediato en lo urgente, se remedia y se actúa sobre las causas
- ? Se diseña el modelo de mejora continua y de gestión integral

Queremos reiterar que la medida más importante que permitirá un manejo responsable y sostenido de los elementos contaminantes pasa por la información, el entrenamiento y sobre todo el compromiso de todos los actores tanto del personal de la Empresa como de los contratistas y sub. contratistas, elementos que permitieron a nuestra Empresa lograr la certificación del uso adecuado de la norma ISO 14001

MEDICIÓN DE EMISIONES GASEOSAS



QUEMA DE GASES DE MANERA INADECUADA



FLARE ADECUADAMENTE DISEÑADO



EFLUENTES LÍQUIDOS ARROJADOS SIN TRATAMIENTO



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS



PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA



CHATARRA ESPERANDO SER VENDIDA



GESTIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS



LABOREO EN LAND FARMING



ESQUEMA DE DESORCIÓN TÉRMICA

TPS - Thermal Phase Separation System

