

# 75

Director del capítulo  
*Richard S. Kraus*

## Sumario

Prospección, perforación y producción de petróleo  
y gas natural  
*Richard S. Kraus* . . . . . 75.2

## ● PROSPECCION, PERFORACION Y PRODUCCION DE PETROLEO Y GAS NATURAL

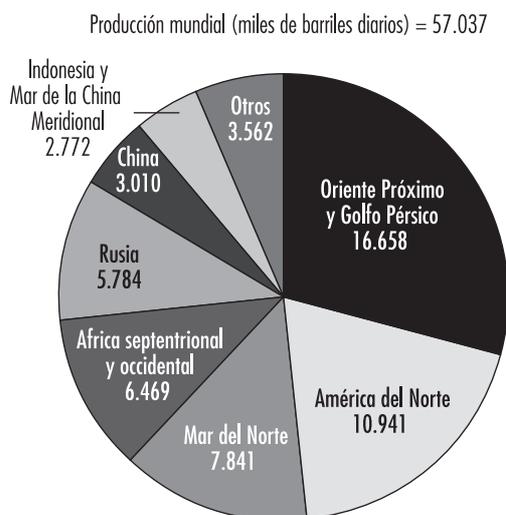
Richard S. Kraus

### Perfil general

Los crudos de petróleo y los gases naturales son mezclas de moléculas de hidrocarburos (compuestos orgánicos de átomos de carbono e hidrógeno) que contienen de 1 a 60 átomos de carbono. Las propiedades de estos hidrocarburos dependen del número y de la disposición de los átomos de carbono e hidrógeno en sus moléculas. La molécula básica de hidrocarburo consta de 1 átomo de carbono unido a 4 átomos de hidrógeno (metano). Todas las demás variedades de hidrocarburos de petróleo se forman a partir de esta molécula. Los hidrocarburos que tienen hasta 4 átomos de carbono suelen ser gases; si tienen entre 5 y 19, son generalmente líquidos, y cuanto tienen 20 o más, son sólidos. Además de hidrocarburos, los crudos de petróleo y los gases naturales contienen compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno, junto con trazas de metales y otros elementos.

Se cree que el petróleo y el gas natural se formaron a lo largo de millones de años por la descomposición de la vegetación y de organismos marinos, comprimidos bajo el peso de la sedimentación. Al ser el petróleo y el gas más ligeros que el agua, ascendieron y llenaron los huecos creados en estas formaciones superpuestas. El movimiento ascendente cesó cuando el petróleo y el gas alcanzaron estratos densos e impermeables superpuestos o roca no porosa. El petróleo y el gas llenaron los huecos de los mantos de roca porosa y los yacimientos subterráneos naturales, como las arenas saturadas, situándose debajo del petróleo, más pesado, y encima el gas, más ligero. Originalmente, estos huecos eran horizontales, pero el desplazamiento de la corteza terrestre creó bolsas, denominadas fallas, anticlinales, domos salinos y trampas estratigráficas, donde el petróleo y el gas se acumularon en yacimientos.

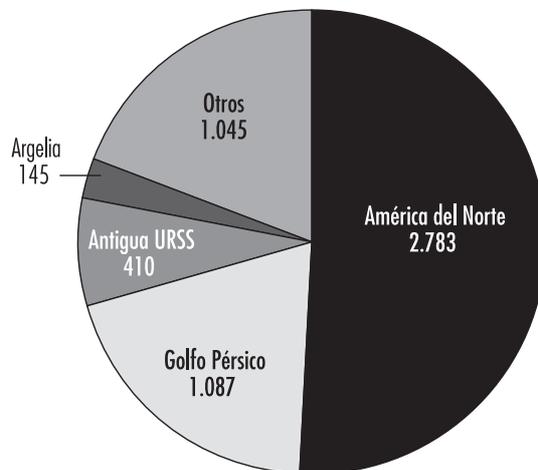
Figura 75.1 • Producción mundial de crudo para 1995.



Fuente: Adaptado de Energy Information Administration 1996.

Figura 75.2 • Producción mundial de líquidos de plantas de gas natural para 1995.

Producción mundial (miles de barriles diarios) = 5.470



Fuente: Adaptado de Energy Information Administration 1996.

### Petróleo de pizarras bituminosas

El petróleo de pizarras bituminosas, o querógeno, es una mezcla de hidrocarburos sólidos y otros compuestos orgánicos que contiene nitrógeno, oxígeno y azufre. Se extrae, por calentamiento, de una roca llamada pizarra bituminosa, con un rendimiento de entre 68 y 227 litros de petróleo por tonelada de roca.

Prospección y producción son los términos comúnmente aplicados a la parte de la industria del petróleo que se ocupa de la exploración para descubrir nuevos yacimientos de petróleo y gas natural, la perforación de pozos y la extracción de los productos a la superficie. En el pasado, el petróleo que rezumaba de forma natural a la superficie se recogía para utilizarlo en medicina, revestimientos protectores y como combustible para lámparas. Hay noticias de incendios en la superficie terrestre producidos por emanaciones de gas natural. Hasta 1859 no se desarrollaron métodos de perforación y obtención de petróleo en grandes cantidades con fines comerciales.

El petróleo y el gas natural se encuentran en todo el mundo, tanto bajo tierra como bajo el agua, según se indica a continuación:

- Cuenca intercontinental del hemisferio occidental (Costa del Golfo de Estados Unidos, México, Venezuela);
- Oriente Próximo (península arábiga, Golfo Pérsico, Mar Negro y Mar Caspio);
- Indonesia y Mar de la China Meridional;
- África septentrional y occidental (Sahara y Nigeria);
- América del Norte (Alaska, Terranova, California y región centrocontinental de Estados Unidos y Canadá);
- Extremo Oriente (Siberia y China),
- Mar del Norte.

En las Figuras 75.1 y 75.2 se muestra la producción mundial de petróleo y gas natural de 1995.

Los nombres de los crudos de petróleo suelen indicar tanto los tipos de crudo como las zonas donde se descubrieron originalmente. Por ejemplo, el primer petróleo comercial, el "Pennsylvania Crude", lleva el nombre de su lugar de origen en Estados Unidos. Otros ejemplos son el "Saudi Light" y el "Venezuelan

Tabla 75.1 • Características y propiedades usuales aproximadas y potencial de gasolina de varios crudos de petróleo comunes.\*

Origen y denominación del crudo	Parafinas % vol	Aromáticos % vol	Naftenos % vol	Azufre % peso	Densidad API (aprox.)	Rendimiento en naftenos % vol	Índice de octano (característico)
Nigerian Light	37	9	54	0.2	36	28	60
Saudi Light	63	19	18	2	34	22	40
Saudi Heavy	60	15	25	2.1	28	23	35
Venezuela Heavy	35	12	53	2.3	30	2	60
Venezuela Light	52	14	34	1.5	24	18	50
USA Midcontinental Sweet	—	—	—	0.4	40	—	—
USA West Texas Sour	46	22	32	1.9	32	33	55
North Sea Brent	50	16	34	0.4	37	31	50

\* Valores medios representativos.

Heavy”. Dos crudos de referencia que se utilizan para fijar los precios mundiales de los crudos son el “Texas Light Sweet” y el “North Sea Brent”.

### Clasificación de los crudos de petróleo

Los crudos de petróleo son mezclas complejas que contienen muchos compuestos de hidrocarburos diferentes, cuyo aspecto y composición es distinto de unos yacimientos a otros, a veces incluso entre pozos relativamente próximos. La consistencia de los crudos es variable (desde acuosos hasta sólidos con aspecto de alquitrán), como lo es su color (desde transparente a negro). Un crudo “medio” contiene alrededor de 84 % de carbono, 14 % de hidrógeno, de 1 a 3 % de azufre y menos de 1 % de nitrógeno, oxígeno, metales y sales (véanse las Tablas 75.1 y 75.2).

Los crudos se clasifican en parafínicos, nafténicos, aromáticos o mixtos mediante análisis relativamente simples, de acuerdo con la proporción predominante de moléculas de hidrocarburos similares. Los crudos de base mixta tienen cantidades variables de cada tipo de hidrocarburo. Uno de los métodos de análisis (el del Departamento de Minas de Estados Unidos) se basa en la destilación, y otro (el del factor “K” de la UOP) en la densidad y en los puntos de ebullición. Para determinar el valor del crudo (es decir, su rendimiento y la calidad de sus productos útiles) y los parámetros de procesado, se llevan a cabo análisis más completos. Los crudos de petróleo suelen agruparse por su estructura de rendimiento, y entre sus productos, el preferido es la gasolina de alto octanaje. Los crudos utilizados como materia prima en las refinerías suelen consistir en mezclas de dos o más crudos diferentes.

También se definen según la densidad API (específica). Por ejemplo, los crudos pesados tienen bajas densidades API (y altas densidades específicas). Un crudo de baja densidad API puede tener un punto de inflamabilidad alto o bajo, dependiendo de sus componentes más ligeros (constituyentes más volátiles). Dada la importancia de la temperatura y la presión en el proceso de refinación, los crudos se clasifican además por su viscosidad, puntos de fluidez y rangos de destilación. También se tienen en cuenta otras características físicas y químicas, como el color y el contenido de carbono residual. Los crudos de petróleo con alto contenido de carbono, bajo contenido de hidrógeno y baja densidad API suelen ser ricos en aromáticos, mientras que los de bajo contenido de carbono, alto contenido de hidrógeno y alta densidad API, son por lo general ricos en parafinas.

Los crudos de petróleo que contienen cantidades apreciables de ácido sulfhídrico u otros compuestos de azufre reactivos se

denominan “agrios”; a los de menor contenido de azufre se les llama “dulces”. Algunas excepciones a esta regla son los crudos “West Texas” (que siempre se consideran “agrios” independientemente de su contenido de H<sub>2</sub>S) y los crudos árabes altamente sulfurados (que no se consideran “agrios” porque sus compuestos de azufre no son muy reactivos).

### Gas natural comprimido y gases de hidrocarburos licuados

La composición de los gases de hidrocarburos de origen natural es similar a la de los crudos de petróleo, en el sentido de que contienen una mezcla de diferentes moléculas de hidrocarburos que depende de su origen. Pueden extraerse como gas natural (casi libre de líquidos) de los yacimientos de gas; como gas asociado a petróleo, que se extrae junto con petróleo de los yacimientos de gas y petróleo, y en forma de gas de los campos de condensado de gas, donde algunos componentes líquidos del petróleo se convierten al estado gaseoso cuando la presión es alta (10 a 70 mPa). Cuando disminuye la presión (a un valor de entre 4 y 8 mPa) el condensado que contiene hidrocarburos pesados se separa del gas por condensación. El gas se extrae de pozos que alcanzan hasta 6,4 km o más de profundidad, con presiones de manto que van desde 3 mPa hasta 70 mPa (véase la Figura 75.3.)

El gas natural contiene entre 90 y 99 % de hidrocarburos, principalmente metano (el hidrocarburo más sencillo) junto con cantidades menores de etano, propano y butano. Asimismo, tiene trazas de nitrógeno, vapor de agua, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y a veces gases inertes, como argón o helio. Los gases naturales que contienen más de 50 g/m<sup>3</sup> de hidrocarburos con moléculas de tres o más átomos de carbono (C<sub>3</sub> o superiores) se clasifican como gases “pobres”.

En función del uso que se le dé como combustible, el gas natural se comprime o se licúa. El procedente de yacimientos de gas y condensado de gas se prepara en el mismo yacimiento para que cumpla unos criterios de transporte específicos antes de comprimirlo y conducirlo a los gasoductos. La preparación incluye la eliminación del agua con desecadores (deshidratadores, separadores y calentadores), del petróleo con filtros de coalescencia, y de sólidos mediante filtración. También se eliminan del gas natural el ácido sulfhídrico y el dióxido de carbono, para que no corroan los gasoductos y el equipo de transporte y de compresión. Antes de la transmisión se eliminan igualmente el propano, el butano y el pentano presentes en el gas natural, para evitar que se condensen y formen líquidos en

Tabla 75.2 • Composición del petróleo y el gas natural.

**Hidrocarburos**

**Parafinas:** Las moléculas de hidrocarburos de cadena saturada parafínica (alifáticas) del crudo tienen como fórmula  $C_nH_{2n+2}$ , y pueden ser cadenas rectas (normales) o ramificadas (isómeros) de átomos de carbono. Las moléculas de parafina de cadena normal, más ligeras, se encuentran en los gases y en las ceras parafínicas. Las parafinas de cadena ramificada suelen encontrarse en fracciones pesadas del crudo y tienen mayores índices de octano que las parafinas normales.

**Aromáticos:** Son compuestos de hidrocarburos de anillo insaturado (cíclicos). Los naftalenos son compuestos aromáticos de doble anillo fusionado. Los aromáticos más complejos, los polinucleares (tres o más anillos aromáticos fusionados), se encuentran en fracciones pesadas del crudo.

**Naftenos:** Son grupos de hidrocarburos de anillo saturado, de fórmula  $C_nH_{2n}$ , dispuestos en forma de anillos cerrados (cíclicos), que se encuentran en todas las fracciones del crudo excepto en las más ligeras. Predominan los naftenos de un solo anillo (parafinas monocíclicas) con 5 y 6 átomos de carbono, encontrándose los naftenos de dos anillos (parafinas dicíclicas) en los componentes más pesados de la nafta.

**No hidrocarburos**

**Azufre y sus compuestos:** El azufre está presente en el gas natural y el petróleo crudo en forma de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), formando compuestos (tioles, mercaptanos, sulfuros, polisulfuros, etc.) o como azufre elemental. Cada gas y cada crudo tienen distintos tipos y cantidades de compuestos de azufre, pero por lo general la proporción, estabilidad y complejidad de los compuestos son mayores en las fracciones pesadas del crudo.

Los compuestos de azufre denominados mercaptanos, que tienen olores característicos, detectables incluso a muy bajas concentraciones, se encuentran en el gas, en los crudos de petróleo y en los destilados. Los más comunes son los metilmercaptanos y los etilmercaptanos. Los mercaptanos se añaden con frecuencia al gas comercial (GNL y GPL) para odorizarlo con miras a la detección de fugas.

Existe riesgo de exposición a niveles tóxicos de  $H_2S$  cuando se realizan trabajos de perforación, producción, transporte y procesamiento de petróleo y de gas natural. La combustión de hidrocarburos de petróleo que contienen azufre produce compuestos indeseables, como el ácido sulfúrico y el dióxido de azufre.

**Compuestos de oxígeno:** En los crudos de petróleo se encuentran compuestos de oxígeno, como fenoles, cetonas y ácidos carboxílicos en cantidades variables.

**Compuestos de nitrógeno:** El nitrógeno se encuentra en las fracciones ligeras del crudo formando parte de compuestos básicos, y con mayor frecuencia en las fracciones pesadas, en compuestos no básicos que también pueden contener trazas metálicas.

**Trazas metálicas:** En los crudos de petróleo se encuentran con frecuencia cantidades muy pequeñas de metales como cobre, níquel, hierro, arsénico y vanadio.

**Sales inorgánicas:** A menudo, los crudos de petróleo contienen sales inorgánicas, como el cloruro sódico, el cloruro de magnesio y el cloruro cálcico, suspendidas en el crudo o disueltas en el agua retenida (salmuera).

**Dióxido de carbono:** Puede proceder de la descomposición de bicarbonatos presentes en el crudo o añadidos al mismo, o del vapor utilizado en el proceso de destilación.

**Ácidos nafténicos:** Algunos crudos de petróleo contienen ácidos nafténicos (orgánicos), que pueden volverse corrosivos a temperaturas superiores a  $232\text{ }^\circ\text{C}$  cuando la acidez del crudo supera cierto nivel.

**Materiales radiactivos naturales:** Los crudos de petróleo y los depósitos y lodos de perforación contienen a menudo materiales radiactivos naturales (NORM) cuyos bajos niveles de radiactividad pueden suponer un riesgo.

Figura 75.3 • Plataforma marina de producción de gas natural instalada en aguas de 87,5 metros de profundidad en la zona de Pitas Point del Canal de Santa Bárbara, en el sur de California.



el sistema (véase la sección “Operaciones de producción y procesamiento de gas natural”).

El gas natural se transporta por gasoductos desde los campos de extracción hasta las plantas de licuefacción, donde se comprime y se enfría hasta aproximadamente  $-162\text{ }^\circ\text{C}$  para producir gas natural licuado (GNL) (véase la Figura 75.4). La composición del GNL es distinta de la del gas natural debido a la eliminación de algunas impurezas y componentes durante el proceso de licuefacción. El GNL se utiliza sobre todo para aumentar la provisión de gas natural durante los períodos de fuerte demanda y para abastecer gas a zonas alejadas de los principales gasoductos. Se regasifica añadiendo nitrógeno y aire para hacerlo equivalente al gas natural antes de introducirlo en las tuberías de suministro. El GNL se utiliza también como combustible para automóviles como alternativa a la gasolina.

Los gases asociados al petróleo y los gases de condensado se clasifican como “ricos” porque contienen cantidades considerables de etano, propano, butano y otros hidrocarburos saturados. Los gases asociados al petróleo y los gases de condensado se separan y licúan para producir gas de petróleo licuado (GPL) por compresión, adsorción, absorción y enfriamiento en plantas de procesamiento de gas y petróleo. En esas plantas se produce también gasolina natural y otras fracciones de hidrocarburos.

A diferencia del gas natural, el gas asociado al petróleo y el gas de condensado, los obtenidos del procesamiento del petróleo

Figura 75.4 • La planta de GNL más grande del mundo, en Arzew, Argelia.



(producidos como subproductos de procesamiento en las refinerías) contienen cantidades considerables de hidrógeno e hidrocarburos insaturados (etileno, propileno, etc.). La composición de los gases obtenidos del procesamiento del petróleo depende de cada proceso específico y de los crudos de petróleo utilizados. Por ejemplo, los gases obtenidos mediante craqueo térmico suelen contener cantidades considerables de olefinas, mientras que los obtenidos por craqueo catalítico tienen más isobutanos. Los gases de pirólisis contienen etileno e hidrógeno. La composición de los gases naturales y de los principales gases de procesamiento del petróleo se indica en la Tabla 75.3.

El gas natural combustible, con un poder calorífico de entre 35,7 y 41,9 MJ/m<sup>3</sup> (8.500 a 10.000 kcal/m<sup>3</sup>), se usa principalmente como combustible para proporcionar calor en el ámbito doméstico, agrícola, comercial e industrial. El hidrocarburo del gas natural se utiliza también como materia prima para procesos petroquímicos y químicos. El gas de síntesis (CO + H<sub>2</sub>) se obtiene del metano por oxigenación o mediante conversión de vapor de agua, y se utiliza para preparar amoníaco, alcohol y otros productos químicos orgánicos. El gas natural comprimido (GNC) y el gas natural licuado (GNL) se usan como combustible para motores de combustión interna. Los gases de petróleo licuado (GPL) obtenidos del procesamiento del petróleo tienen valores caloríficos más altos: 93,7 MJ/m<sup>3</sup> (propano) (22.400 kcal/m<sup>3</sup>) y 122,9 MJ/m<sup>3</sup> (butano) (29.900 kcal/m<sup>3</sup>), y se utilizan como combustible en

el ámbito doméstico y en la industria, aparte de en automóviles (NFPA 1991). Es posible convertir los hidrocarburos insaturados (etileno, propileno, etc.) derivados de los gases obtenidos del procesamiento del petróleo en gasolina de alto octanaje, o bien utilizarse como materias primas en las industrias de procesos químicos y petroquímicos.

### Propiedades de los gases de hidrocarburos

Según la National Fire Protection Association de Estados Unidos, son gases inflamables (combustibles) los que arden a las concentraciones de oxígeno normalmente presentes en el aire. La combustión de gases inflamables es similar a la de vapores de líquidos de hidrocarburos inflamables, ya que se requiere una temperatura de ignición específica para iniciar la reacción de combustión y cada uno de ellos arde únicamente dentro de una cierta gama definida de mezclas de gas y aire. Los líquidos inflamables tienen un determinado *punto de inflamabilidad* [temperatura (siempre inferior al punto de ebullición) a la que desprenden vapores suficientes para la combustión]. Los gases inflamables no parecen tener punto de inflamabilidad, ya que normalmente se encuentran a temperaturas superiores a sus puntos de ebullición, incluso estando licuados, y por lo tanto se hallan siempre a temperaturas muy por encima de sus puntos de inflamabilidad.

La National Fire Protection Association de Estados Unidos (1976) define los gases comprimidos y licuados como sigue:

- “Son gases comprimidos los que a todas las temperaturas atmosféricas normales en el interior de los recipientes que los contienen se encuentran únicamente en estado gaseoso a presión”.
- “Son gases licuados los que a las temperaturas atmosféricas normales en el interior de los recipientes que los contienen se encuentran en parte en estado líquido y en parte en estado gaseoso, y están a presión mientras queda líquido en el recipiente”.

El principal factor que determina la presión en el interior del recipiente es la temperatura del líquido contenido en él. Cuando se le expone a la atmósfera, el gas licuado se vaporiza con gran rapidez y se desplaza por el suelo o la superficie del agua a menos que se disperse en el aire por efecto del viento o del movimiento mecánico del aire. A temperaturas atmosféricas normales, aproximadamente la tercera parte del líquido contenido en el recipiente se vaporiza.

Los gases inflamables se clasifican asimismo como combustibles e industriales. Los primeros, incluidos el gas natural y los gases de petróleo licuados (propano y butano), arden en presencia de aire para producir calor en estufas, hornos, calentadores de agua y calderas. Los segundos, como el acetileno, se utilizan en operaciones de transformación, soldadura, corte y termotratamiento. Las diferencias entre las propiedades del gas natural licuado (GNL) y de los gases de petróleo licuados (GPL) se indican en la Tabla 75.3.

Tabla 75.3 • Composición normal aproximada de los gases naturales y gases de procesamiento del petróleo (porcentaje en volumen).

Tipo de gas	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	C <sub>5+</sub>
Gas natural	NA	98	0,4	NA	0,15	NA	0,05	NA	1,4	NA
Gas asociado al petróleo	NA	42	20	NA	17	NA	8	NA	10	3
Gases de procesamiento del petróleo										
Craqueo catalítico	5-6	10	3-5	3	16-20	6-11	42-46	5-6	NA	5-12
Pirólisis	12	5-7	5-7	16-18	0,5	7-8	0,2	4-5	NA	2-3

### En busca de petróleo y gas natural

La búsqueda de petróleo y gas natural requiere conocimientos de geografía, geología y geofísica. El petróleo suele encontrarse en ciertos tipos de estructuras geológicas, como anticlinales, trampas por falla y domos salinos, que se hallan bajo algunos terrenos y en muy distintos climas. Tras seleccionar una zona de interés, se llevan a cabo numerosos tipos diferentes de prospecciones geofísicas y se realizan mediciones a fin de obtener una evaluación precisa de las formaciones del subsuelo, a saber:

- *Prospecciones magnetométricas.* Las variaciones del campo magnético terrestre se miden con magnetómetros suspendidos de un aeroplano, a fin de localizar formaciones de rocas sedimentarias cuyas propiedades magnéticas son generalmente débiles en comparación con las de otras rocas.
- *Prospecciones fotogramétricas aéreas.* Las fotografías tomadas con cámaras especiales desde aeroplanos proporcionan vistas tridimensionales de la tierra, que se utilizan para determinar formaciones geológicas en las que puede haber yacimientos de petróleo y gas natural.
- *Prospecciones gravimétricas.* Como las grandes masas de roca densa aumentan la atracción de la gravedad, se utilizan gravímetros para obtener información sobre formaciones subyacentes midiendo pequeñas diferencias de gravedad.
- *Prospecciones sísmicas.* Las prospecciones sísmicas proporcionan información sobre las características generales de la estructura del subsuelo (véase la Figura 75.5). Las medidas se obtienen a partir de ondas de choque generadas por detonación de cargas

explosivas en agujeros de pequeño diámetro; mediante dispositivos vibrantes o de percusión tanto en tierra como en el agua, y mediante descargas explosivas subacuáticas de aire comprimido. El tiempo transcurrido entre el comienzo de la onda de choque y el retorno del eco se utiliza para determinar la profundidad de los sustratos reflectores. Gracias al uso reciente de superordenadores para generar imágenes tridimensionales, la evaluación de los resultados de las pruebas sísmicas ha mejorado notablemente.

- *Prospecciones radiográficas.* La radiografía consiste en el uso de ondas de radio para obtener información similar a la que proporcionan las prospecciones sísmicas.
- *Prospecciones estratigráficas.* El muestreo estratigráfico es el análisis de testigos extraídos de estratos rocosos del subsuelo para ver si contienen trazas de gas y petróleo. Se corta con una barrena hueca un trozo cilíndrico de roca, denominado testigo, y se empuja hacia arriba por un tubo (sacatestigos) unido a la barrena. El tubo sacatestigos se sube a la superficie y se extrae el testigo para su análisis.

Cuando las prospecciones y mediciones indican la presencia de formaciones de estratos que pueden contener petróleo, se perforan pozos de exploración para determinar si existe o no petróleo o gas y, en caso de que exista, si es asequible y puede obtenerse en cantidades comercialmente viables.

### Operaciones en alta mar

Aunque la perforación del primer pozo petrolífero en alta mar se llevó a cabo a principios del decenio de 1900 en las costas de California, el comienzo de las modernas perforaciones submarinas tuvo lugar en 1938, con un descubrimiento en el Golfo de México, a 1,6 km de la costa de Estados Unidos. Después de la segunda Guerra Mundial, la perforación submarina tuvo una rápida expansión, primero en aguas poco profundas cercanas a zonas de producción conocidas de tierra firme, y más tarde en otras zonas de aguas poco profundas o profundas de todo el mundo y en los climas más diversos, desde el Ártico al Golfo Pérsico. Al principio, la perforación submarina sólo era posible en aguas de hasta 91 m de profundidad aproximadamente; en cambio, las plataformas modernas superan los 3,2 km. Las actividades petrolíferas en alta mar comprenden la exploración, perforación, producción, procesamiento, construcción submarina, mantenimiento, reparación y el transporte a tierra del petróleo y el gas, por barco o mediante oleoductos y gasoductos.

### Plataformas marinas

Las plataformas de perforación sirven de soporte a las torres de perforación, los utensilios y el equipo para las operaciones en alta mar o en aguas interiores, y las hay de distintos tipos, desde barcos y barcasas flotantes o sumergibles hasta plataformas fijas sobre soportes de acero utilizadas en aguas poco profundas y plataformas de gravedad grandes, flotantes, de hormigón armado, que se utilizan en aguas profundas. Una vez completada la perforación, las plataformas marinas se usan como soporte del equipo de producción. Las más grandes tienen capacidad para más de 250 operarios y demás personal de apoyo, para helipuertos y plantas de procesamiento, además de capacidad de almacenamiento de petróleo crudo y condensado de gas (véase la Figura 75.6).

Por lo común, para la perforación con plataforma flotante en aguas profundas, el equipo de la cabeza del pozo se baja hasta el fondo del océano y se conecta de forma estanca a la entubación o tubería de revestimiento del pozo. La tecnología de fibra óptica permite controlar a distancia una plataforma central grande y trabajar con plataformas satélite más pequeñas y plataformas submarinas. Las instalaciones de producción de la

Figura 75.5 • Arabia Saudí, operaciones sísmicas.



American Petroleum Institute

Figura 75.6 • Embarcaciones de perforación; buque perforador Ben Ocean Laneer.



plataforma grande procesan el crudo, el gas y el condensado de las instalaciones satélite antes de su embarque en tierra.

El tipo de plataforma utilizado en la perforación submarina suele estar determinado por el tipo de pozo que se va a perforar (de exploración o de producción) y por la profundidad del agua (véase la Tabla 75.4).

### Tipos de pozos

**Pozos de exploración.** Después del análisis de los datos geológicos y de las prospecciones geofísicas se perforan pozos de exploración, en tierra firme o en el mar. Los pozos de este tipo que se perforan en zonas donde no se había encontrado antes petróleo ni gas se denominan pozos experimentales o de cateo. Los pozos donde se encuentra petróleo o gas reciben el nombre de “pozos de descubrimiento”. Otros pozos de exploración, conocidos como “pozos de delimitación” o “de valoración”, se perforan para determinar los límites de un yacimiento después del descubrimiento, o para buscar nuevas formaciones que

contengan petróleo o gas, situadas cerca o debajo de las que ya se sabe que contienen el producto. A un pozo donde no se encuentra petróleo ni gas, o sólo en cantidades demasiado escasas para una producción económica, se le llama “pozo seco”.

**Pozos de desarrollo.** Después de un descubrimiento se determina de forma aproximada la extensión del yacimiento mediante una serie de pozos de delimitación o de valoración. Acto seguido se perforan pozos de desarrollo para producir gas y petróleo, cuyo número depende de la definición esperada del nuevo yacimiento, tanto en tamaño como en productividad. Debido a la incertidumbre acerca de la forma o el confinamiento de los yacimientos, algunos pozos de desarrollo pueden resultar pozos secos. A veces, la perforación y la producción se realizan simultáneamente.

**Pozos de geopresión y geotérmicos.** Son pozos que producen agua a una presión (7.000 psi) y una temperatura (149 °C) extremadamente elevadas, la cual puede contener hidrocarburos. El agua se convierte en una nube de vapor caliente y gases que se expande rápidamente al ser liberada a la atmósfera debido a una fuga o una rotura.

**Pozos mermados o casi agotados.** Son los que producen menos de diez barriles de petróleo diarios en un yacimiento.

**Pozos de múltiples zonas.** Cuando se descubren múltiples formaciones productivas al perforar un solo pozo, puede introducirse una columna de tubos en un mismo pozo para cada una de las formaciones. El petróleo y el gas de cada formación se dirigen a su respectiva tubería y se aíslan de los demás mediante obturadores, que sellan los espacios anulares entre la columna de tubos y el revestimiento. Son los denominados pozos “de múltiples zonas”.

**Pozos de inyección.** Bombeo de aire, agua, gas o productos químicos a los yacimientos de los campos de producción, ya sea para mantener la presión o para desplazar el petróleo hacia pozos de producción mediante fuerza hidráulica o un aumento de la presión.

Tabla 75.4 • Tipos de plataformas de perforación submarina.

Tipo de plataforma	Profundidad (m)	Descripción
Barcazas y plataformas sumergibles	15–30	Barcazas o plataformas que se remolcan hasta el lugar de la perforación y se hunden y apoyan en el fondo. Columna inferior con capacidad de flotación para mantener la torre de perforación a flote cuando se mueve.
Con gato (sobre soportes)	30–100	Plataformas móviles flotantes autoelevadoras, cuyos soportes se elevan para poder remolcarlas. Una vez en el lugar de la perforación, se bajan los soportes hasta el fondo y después se extienden para elevar la plataforma por encima del nivel del agua.
Plataformas flotantes	100–3,000+	Estructuras de gravedad de hormigón armado de grandes dimensiones, autónomas, con varios niveles, que se remolcan hasta el lugar de la perforación, se sumergen con lastre de agua hasta una profundidad predeterminada, para que las columnas y los dispositivos estabilizadores contrarresten el oleaje, y se anclan. Con frecuencia, el crudo se almacena en las columnas hasta su descarga. Plataformas flotantes más pequeñas, suspendidas de la misma forma, que soportan únicamente el equipo de perforación y son atendidas por una embarcación de servicio
Barcazas de perforación	30–300	Barcazas autopropulsadas, flotantes o semisumergibles.
Barcos de perforación	120–3,500+	Barcos flotantes o semisumergibles muy avanzados, de diseño especial.
Plataformas fijas	0–250	Plataformas construidas sobre soportes de acero (blindajes) que se hunden y fijan en el lugar de la perforación, e islas artificiales utilizadas como plataformas.
Plataformas submarinas	ND	Instalaciones de producción subacuáticas.

Figura 75.7 • Equipo de perforación en Ellef Ringnes Island, en el Artico canadiense.



**Pozos de servicio.** Son los que se utilizan para operaciones de pesca de tubos o accesorios y operaciones con cable de acero, colocación de obturadores o tapones, o retirada y rehabilitación. Asimismo se perforan para la evacuación subterránea del agua salada que se separa del crudo y el gas.

### Métodos de perforación

**Equipos de perforación.** Los equipos de perforación básicos contienen una torre, una tubería de perforación, un cabrestante de gran capacidad para bajar y subir la tubería de perforación, una mesa o plataforma que hace girar la tubería y la barrena, una mezcladora y una bomba de lodos, y un motor para el accionamiento de la plataforma giratoria y el cabrestante (véase la Figura 75.7). Se pueden montar sobre camiones sondas o perforadoras pequeñas que se utilizan para perforar pozos de exploración o de prospección sísmica, con objeto de trasladarlas de un lugar a otro. Las perforadoras grandes se instalan en el lugar de la perforación o tienen torres portátiles articuladas (plegables) para facilitar la manipulación e instalación.

**Perforación por percusión o con cable.** El método de perforación más antiguo es el que se realiza por percusión o con cable. Es un método lento y de profundidad limitada, que rara vez se utiliza. Se basa en triturar la roca elevando y dejando caer una pesada barrena cincel con vástago sujeta al extremo de un cable. Cada cierto tiempo se extrae la barrena y los fragmentos de roca triturada se suspenden en agua y se eliminan sacándolos a la superficie mediante lavado a presión o bombeo. A medida que el agujero va adquiriendo mayor profundidad, se le reviste con tubería de acero para evitar su derrumbe y como protección contra la contaminación de las aguas subterráneas. La perforación, incluso de un pozo de escasa profundidad, representa un trabajo considerable y al encontrar petróleo o gas no hay modo de controlar el flujo inmediato de producto a la superficie.

**Perforación rotativa.** La perforación rotativa es el método más común y se utiliza para perforar pozos tanto de exploración como de producción, hasta profundidades superiores a 7.000 m. Para perforar en tierra pozos sísmicos de poca profundidad se utilizan perforadoras ligeras montadas sobre camiones. Para abrir los pozos de exploración y de producción se utilizan perforadoras rotativas móviles y flotantes, semipesadas y pesadas. El equipo de

perforación rotativa se monta sobre una plataforma de perforación con una torre de 30 a 40 m de altura, y comprende una plataforma giratoria, motor, mezcladora de lodo y bomba de inyección, un cabrestante o malacate con cable metálico, y numerosos tubos, de 27 m de longitud cada uno aproximadamente. La plataforma hace girar un vástago de transmisión cuadrado conectado a la tubería de perforación. El vástago cuadrado tiene en la parte superior una lanzadera de lodo conectada a unas válvulas de seguridad antirreventones. La tubería de perforación gira a una velocidad de entre 40 y 250 rpm y hace girar una barrena de fricción de bordes cortantes fijos, tipo cincel, o una barrena de rodillos con cuchillas rotativas de dientes endurecidos.

**Perforación rotopercutante.** La perforación rotopercutante, o por rotación y percusión, es un método combinado en el que una barrena rotativa utiliza un líquido hidráulico circulante para accionar un mecanismo tipo martillo, creando así una serie de rápidos golpes de percusión que permiten que la barrena perforo y simultáneamente triture la tierra.

**Electroperforación y turboperforación.** La mayoría de las plataformas giratorias, cabrestantes y bombas de los equipos de perforación pesados suelen ser accionados por motores eléctricos o turbinas, lo que permite mayor flexibilidad en las operaciones y la perforación telecontrolada. La electroperforación y la turboperforación son nuevos métodos que proporcionan a la barrena una potencia más directa al conectar el motor de perforación justo por encima de la barrena, en el fondo del agujero.

**Perforación direccional.** La perforación direccional es una técnica de perforación rotativa que guía la columna de perforación siguiendo una trayectoria curva a medida que el agujero se hace más profundo. Este método se utiliza para llegar hasta yacimientos que son inaccesibles mediante la perforación vertical. Asimismo reduce los costes, ya que permite perforar varios pozos en distintas direcciones desde una sola plataforma. Este mayor alcance de perforación permite penetrar en yacimientos submarinos desde la costa. Muchos de estos métodos son posibles gracias al empleo de ordenadores para guiar perforadoras automáticas y tubería flexible (espiral), que se sube y baja sin tener que conectar y desconectar secciones.

**Otros métodos de perforación.** La perforación abrasiva es un método en el que se utiliza un material abrasivo a presión (en lugar de una barra con barrena) para atravesar los sustratos. Otros métodos son la perforación con explosivos y la perforación con llama.

**Abandono.** Cuando los yacimientos de petróleo y gas natural dejan de ser productivos, normalmente se taponan los pozos con cemento para evitar flujos o fugas a la superficie y proteger los estratos y el agua subterráneos. Se retira el equipo y los emplazamientos de los pozos abandonados se limpian y se devuelven a la normalidad.

### Operaciones de perforación

#### Técnicas de perforación

La plataforma de perforación sirve de base para que los operarios acoplen y desacoplen las secciones de tubería de perforación que se utilizan para aumentar la profundidad de perforación. A medida que aumenta la profundidad del orificio se va alargando el tubo y se suspende de la torre la columna de perforación. Cuando hay que cambiar una barrena, se extrae del pozo toda la columna del tubo de perforación, separando cada una de las secciones que la integran y disponiéndolas verticalmente

dentro de la torre. Una vez colocada la nueva barrena, el proceso se invierte y el tubo vuelve a situarse en el agujero para proseguir con la perforación. Ha de prestarse mucha atención a que el tubo de la columna de perforación no se disgregue y caiga en el interior del orificio, ya que sería difícil y muy costoso recuperarlo y podría dar lugar, incluso, a que el pozo tuviera que abandonarse. Otro problema que puede plantearse es que las herramientas de perforación se atasquen en el agujero al detener la perforación. Por ello, una vez que se inicia ésta normalmente se continúa sin interrupción hasta terminar el pozo.

### **Lodo de perforación**

El lodo de perforación es un líquido compuesto de agua o petróleo y arcilla con aditivos químicos (por ejemplo, formaldehído, cal, hidrácida sódica, baritina). A menudo se añade sosa cáustica para controlar el pH (acidez) del lodo de perforación y neutralizar aditivos del lodo y líquidos de terminación potencialmente peligrosos. El lodo de perforación se inyecta en el pozo bajo presión desde el tanque de mezcla en la plataforma de perforación, por el interior de la tubería de perforación hasta la barrena. Después, el lodo asciende por entre la superficie exterior de la tubería de perforación y las paredes del agujero y vuelve a la superficie, donde se filtra y recicla.

El lodo de perforación se utiliza para refrigerar y lubricar la barrena, lubricar la tubería y expulsar del agujero de perforación los fragmentos de roca triturados. El lodo de perforación se utiliza también para controlar el flujo que sale del pozo, al revestir las paredes del agujero y oponer resistencia a la presión del gas, petróleo o agua que encuentre la barrena. Se pueden inyectar chorros de lodo a presión en el fondo del agujero para facilitar la perforación.

### **Revestimiento y cementación**

El revestimiento es una tubería pesada de acero especial que reviste el agujero del pozo. Se utiliza para evitar el derrumbe de las paredes del agujero de la perforación y proteger los estratos de agua dulce previniendo fugas del flujo de retorno de lodo durante las operaciones de perforación. El revestimiento sella también las arenas impregnadas de agua y las zonas de gas a alta presión. Inicialmente se utiliza cerca de la superficie y se cementa para guiar la tubería de perforación. Para ello se bombea una lechada de cemento a la tubería y se la fuerza a subir por el espacio comprendido entre el revestimiento y las paredes del pozo. Una vez fraguado el cemento y colocado el revestimiento, se continúa con la perforación utilizando una barrena de menor diámetro.

Después de colocar en el pozo el revestimiento superficial, se montan en la parte superior de éste dispositivos antirreventones (grandes válvulas, sacos o empaquetaduras), en lo que se denomina un árbol. Cuando se descubre petróleo o gas, se entuba el fondo del pozo, es decir, se reviste para evitar que penetren en el agujero de perforación tierra, rocas, agua salada y otros contaminantes, y también con objeto de crear un conducto para las tuberías de extracción de crudo y gas.

### **Operaciones de terminación, recuperación optimizada y rehabilitación**

#### **Terminación**

La terminación es el proceso de poner un pozo en producción una vez perforado hasta la profundidad a que se espera encontrar petróleo o gas. Comprende varias operaciones, entre ellas la penetración de la tubería de revestimiento y la limpieza del oleoducto para expulsar el agua y el sedimento a fin de que no obstaculicen el flujo de producción. Durante la perforación se utilizan barrenas sacatestigos especiales para extraer muestras de hasta

50 m de longitud con el fin de analizarlas para determinar cuándo debe efectuarse la penetración. Primero se extraen la tubería de perforación y la barrena, y se cementa el tramo final de revestimiento; después se introduce en el pozo una pistola de perforación consistente en un tubo metálico con casquillos que contienen balas o cargas explosivas huecas. Las cargas se detonan por medio de impulsos eléctricos para que atraviesen la entubación y penetren en el yacimiento, creando así aberturas para que el petróleo y el gas fluyan al pozo y, a través de éste, lleguen a la superficie.

El flujo de petróleo crudo y gas natural se controla mediante una serie de válvulas, denominadas “árboles de navidad”, que se colocan en la parte superior de la cabeza del pozo. Se instalan monitores y controles para accionar de forma automática o manual las válvulas de seguridad de superficie y subterráneas, en caso de cambio de presión, incendio u otra situación peligrosa. Una vez obtenidos el petróleo y el gas natural, se separan y se eliminan del petróleo crudo el agua y el sedimento.

### **Producción y conservación de petróleo crudo y gas natural**

La producción de petróleo se lleva a cabo básicamente por desplazamiento mediante agua o gas. Al iniciarse la perforación, casi todo el crudo está a presión. Esta presión natural disminuye a medida que se van extrayendo petróleo y gas del yacimiento, durante las tres fases de la vida de éste.

- Durante la primera fase, llamada de producción emergente, el flujo lo controla la presión natural del yacimiento, debida al gas disuelto en el petróleo, al gas a presión atrapado encima del petróleo y a la presión hidráulica del agua atrapada debajo de este último.
- La segunda fase, la de producción por presión artificial, se realiza inyectando gas a presión en el yacimiento cuando se ha agotado la presión natural.
- La fase tres, denominada de agotamiento o de producción marginal, tiene lugar cuando los pozos sólo producen intermitentemente.

Al principio no se conocían bien las fuerzas que afectaban a la producción de petróleo y gas natural. El estudio del comportamiento de los yacimientos de petróleo y gas natural se inició al comienzo del siglo XX, cuando se descubrió que bombeando agua en un yacimiento aumentaba la producción. En aquel entonces, la industria recuperaba entre el 10 y el 20 % de la capacidad de los yacimientos, frente a unas tasas de recuperación actuales que superan el 60 % antes de que los pozos se vuelvan improductivos. El concepto de control se basa en que una tasa de producción rápida disipa la presión del yacimiento con mayor rapidez, reduciendo por tanto la cantidad total de petróleo recuperable. Dos de las medidas que se utilizan para conservar los yacimientos petrolíferos son la unificación y el espaciado de los pozos.

- *La unificación* consiste en explotar un campo como una sola unidad a fin de aplicar métodos de recuperación secundarios y mantener la presión, aunque para ello sea necesaria la intervención de varias compañías diferentes. La producción total se distribuye equitativamente entre las distintas compañías.
- *El espaciado* de los pozos es la delimitación y el correcto emplazamiento de los pozos para conseguir la máxima producción sin disipar un campo por exceso de perforaciones.

### **Métodos de recuperación de producto adicional**

La productividad de los yacimientos de petróleo y gas natural mejora con diversos métodos de recuperación. Uno de ellos consiste en abrir pasos en los estratos por procedimientos químicos o físicos para que el petróleo y el gas puedan moverse

con mayor libertad por los yacimientos hasta el pozo. Se inyecta agua y gas en los yacimientos para mantener la presión de trabajo por desplazamiento natural. Métodos de recuperación secundarios, entre los que se incluyen el desplazamiento por presión, la producción por presión artificial y la inyección de agua, mejoran y restauran la presión del yacimiento. La recuperación optimizada consiste en el empleo de diversos métodos de recuperación secundarios en múltiples combinaciones diferentes. Asimismo incluye métodos más avanzados para obtener producto adicional de yacimientos agotados, como la recuperación térmica, que utiliza calor en lugar de agua o gas para forzar la salida de mayor cantidad de petróleo crudo de los yacimientos.

### Acidificación

La acidificación es un método para aumentar el rendimiento de un pozo bombeando ácido directamente en un yacimiento productor con objeto de abrir canales de flujo mediante la reacción de los productos químicos y los minerales. Al principio se utilizaba ácido clorhídrico (normal) para disolver las formaciones calizas. Este ácido es aún muy utilizado, pero ahora se le añaden diversas sustancias químicas para controlar su reacción y evitar la corrosión y la formación de emulsiones.

Junto al ácido clorhídrico se emplean también ácido fluorhídrico, ácido fórmico y ácido acético, dependiendo del tipo de roca o de los minerales del yacimiento. El ácido fluorhídrico siempre se combina con uno de los otros tres ácidos y originalmente se usaba para disolver la arenisca. Suele llamarsele “ácido antilodo”, dado que actualmente se utiliza para limpiar perforaciones taponadas con lodo de perforación y restaurar la permeabilidad dañada en las inmediaciones del agujero del pozo. Los ácidos fórmico y acético se utilizan en yacimientos profundos, muy calientes, de caliza y dolomita, y como ácidos de descomposición antes de la perforación. El ácido acético también se añade a los pozos como agente tampón neutralizante para controlar el pH de los líquidos de estimulación del pozo. Casi todos los ácidos llevan aditivos, como inhibidores para evitar la reacción con los revestimientos metálicos, y tensoactivos para prevenir la formación de lodos y emulsiones.

### Fracturación

La *fracturación* es el método utilizado para aumentar el flujo de petróleo o gas natural a los pozos a través de un yacimiento mediante fuerza o presión. La producción puede disminuir porque la formación del yacimiento no sea lo bastante permeable para que el petróleo pueda fluir libremente hacia el pozo. La fracturación fuerza la apertura de canales subterráneos bombeando al yacimiento, a alta presión, un líquido con materiales o productos de entibación especiales (como arena, metal, bolas químicas y conchas) para producir fisuras. Se puede añadir nitrógeno al líquido para estimular la expansión. Cuando se suprime la presión, el líquido se retira y los materiales de entibación permanecen, manteniendo así las fisuras abiertas para que el petróleo pueda circular más fácilmente.

La *fracturación masiva* consiste en bombear grandes cantidades de líquido a los pozos para crear hidráulicamente fisuras de miles de pies de longitud. La fracturación masiva se utiliza normalmente para abrir pozos de gas donde las formaciones de los yacimientos son tan densas que ni siquiera el gas puede atravesarlas.

### Mantenimiento de la presión

Dos métodos comunes de mantenimiento de la presión son la inyección de agua o gas (aire, nitrógeno, dióxido de carbono y gas natural) en yacimientos donde las presiones naturales son reducidas o insuficientes para la producción. Ambos métodos exigen perforar pozos de inyección auxiliares en determinados lugares

para conseguir los mejores resultados. La inyección de agua o gas para la presión de trabajo del pozo se denomina *desplazamiento natural*. El empleo de gas a presión para aumentar la presión del yacimiento recibe el nombre de *producción o extracción por presión artificial (con gas)*.

### Inyección de agua

El método secundario de recuperación optimizada utilizado con más frecuencia es el bombeo de agua a un yacimiento de petróleo para empujar el producto hacia los pozos de producción. En el método *inyección de agua “five spot”* (cinco puntos), se perforan cuatro pozos de inyección para formar un cuadrado con el pozo de producción en el centro. Se controla la inyección para mantener un avance uniforme del frente de agua hacia el pozo productor a través del yacimiento. Una parte del agua que se utiliza es agua salada, obtenida del petróleo crudo. En la *inyección de agua con baja tensión superficial*, se añade al agua un tensoactivo para facilitar la circulación del petróleo por el yacimiento reduciendo su adherencia a la roca.

### Inyección miscible

La inyección de líquido miscible y de polímero miscible son métodos de recuperación optimizados que se utilizan para mejorar la inyección de agua reduciendo la tensión superficial del petróleo crudo. Primero se inyecta en un yacimiento un líquido miscible (es decir, soluble en el crudo). Después, se inyecta otro líquido que empuja la mezcla de crudo y líquido miscible hacia el pozo de producción. La *inyección de polímero miscible* consiste en utilizar un detergente para separar el crudo de los estratos mediante lavado. Detrás del detergente se inyecta un gel o agua espesada para desplazar el crudo hacia el pozo productor.

### Inyección de fuego

La inyección de fuego, o combustión *in situ* (en el yacimiento), es un método de recuperación térmica de elevado coste consistente en inyectar en el yacimiento grandes cantidades de aire o de un gas que contenga oxígeno e inflamar una parte del petróleo crudo. El calor producido por el fuego reduce la viscosidad del crudo denso y permite que éste fluya más fácilmente. Los gases calientes producidos por el fuego elevan la presión del yacimiento y crean un estrecho frente de combustión que empuja al crudo menos denso desde el pozo de inyección hacia el de producción. El crudo denso permanece donde se encuentra y aporta combustible adicional a medida que el frente de llama avanza lentamente. El proceso de combustión se vigila y controla cuidadosamente regulando el aire o el gas inyectado.

### Inyección de vapor

La inyección de vapor es un método de recuperación térmica consistente en calentar el petróleo crudo denso y reducir su viscosidad inyectando vapor a muy alta temperatura en el estrato más bajo de un yacimiento relativamente poco profundo. El vapor se inyecta a lo largo de un período de 10 a 14 días y después se cierra el pozo más o menos durante otra semana para permitir que el vapor caliente completamente el yacimiento. Al mismo tiempo, el aumento de temperatura expande los gases del yacimiento, elevando así la presión de éste. Entonces se reabre el pozo y el crudo calentado, ahora menos viscoso, fluye por el pozo. Un método más reciente consiste en inyectar vapor no muy caliente y a baja presión en secciones mayores de dos, tres o más zonas simultáneamente, creando de ese modo una “cámara de vapor” que comprime el petróleo en cada una de las zonas. Esto permite obtener un mayor flujo de petróleo hacia la superficie utilizando menos vapor.

## Operaciones de producción y procesado de gas natural

Hay dos tipos de pozos que producen gas natural. Los pozos de gas húmedo producen gas que contiene líquidos disueltos y los de gas seco producen gas que no puede licuarse fácilmente.

Una vez extraído de los pozos de producción, el gas natural se envía a las plantas de procesado. El procesado del gas natural exige conocer cómo interactúan la temperatura y la presión y cómo afectan a las propiedades de los líquidos y gases. Casi todas las plantas de procesado de gas trabajan con gases que son mezclas de diversas moléculas de hidrocarburos. El procesado del gas tiene por finalidad separar estos gases en constituyentes de composición similar mediante diferentes procesos, como absorción, fraccionamiento y reciclado, para que puedan transportarse y ser utilizados por los consumidores.

### Procesos de absorción

La absorción es un proceso de tres fases: recuperación, extracción y separación.

**Recuperación.** Elimina los gases residuales indeseables y algo de metano absorbiéndolos del gas natural. La absorción se lleva a cabo en una torre de contracorriente, donde el gas del pozo entra por el fondo y asciende a través del petróleo de absorción, que circula hacia abajo. El petróleo de absorción es “pobre” cuando entra en el recipiente por la parte superior y “rico” cuando sale por el fondo, ya que ha absorbido los hidrocarburos deseables del gas. El gas que sale por la parte superior de la unidad se denomina “gas residual.”

La absorción también puede realizarse mediante refrigeración. El gas residual se utiliza para enfriar previamente el gas de admisión, el cual pasa a continuación por una enfriadora de gas a temperaturas de 0 a -40 °C. El petróleo de absorción pobre se bombea a través de una enfriadora antes de entrar en contacto con el gas frío de la unidad de absorción. En las unidades enfriadoras de la mayoría de las plantas se utiliza propano como refrigerante. Se inyecta glicol directamente en la corriente de gas de admisión para que se mezcle con el agua contenida en el gas, a fin de prevenir la congelación y la formación de hidratos. La mezcla de glicol y agua se separa del hidrocarburo gaseoso y líquido en el separador de glicol y después se reconcentra evaporando el agua en una unidad de regeneración.

**Extracción.** El siguiente paso del proceso de absorción es la extracción, o desmetanización. El metano remanente se extrae del petróleo rico en plantas de recuperación de etano. Normalmente, el proceso se divide en dos fases. En la primera, se extrae al menos la mitad del metano del petróleo rico reduciendo la presión y aumentando la temperatura. El petróleo rico restante suele contener suficiente etano y propano para hacer deseable la reabsorción. Si no se vende, el gas de evaporación se utiliza como combustible en la planta o como presaturador, o se recicla incorporándolo al gas de admisión en la torre de absorción principal.

**Separación.** En la fase final del proceso de absorción, la destilación, se utilizan vapores para separar los hidrocarburos deseables del petróleo de absorción rico. En los alambiques húmedos se utiliza como medio de separación vapor de agua, y en los alambiques secos vapores de hidrocarburos obtenidos de la vaporización parcial del petróleo caliente bombeado a través del alambique rehevador. Este controla el punto de ebullición final y el peso molecular del petróleo pobre, y el punto de ebullición de la mezcla de hidrocarburos obtenidos como producto final.

### Otros procesos

**Fraccionamiento.** Es la separación de la mezcla de hidrocarburos deseables procedentes de las plantas de absorción en productos individuales específicos, relativamente puros. El fraccionamiento es posible cuando los dos líquidos, denominados producto superior y producto de fondo, tienen distinto punto de ebullición. El proceso de fraccionamiento consta de tres partes: una torre para separar los productos, un rehevador para calentar el producto a tratar y un condensador para eliminar el calor. La torre tiene numerosas bandejas, por lo que se produce un amplio contacto entre vapor y líquido. La temperatura del rehevador determina la composición del producto de fondo.

**Recuperación de azufre.** Antes de enviar el gas para su venta es necesario separar de él el ácido sulfhídrico. Esto se lleva a cabo en plantas de recuperación de azufre.

**Reciclado del gas.** El reciclado del gas no es un medio de mantener la presión ni un método de recuperación secundario, sino un método de recuperación optimizada que se utiliza para aumentar la producción de líquidos derivados del gas natural extraído de yacimientos de “gas húmedo”. Después de extraer los líquidos del “gas húmedo” en plantas de reciclado, el “gas seco” restante se devuelve al yacimiento a través de pozos de inyección. Al recircular por el yacimiento, el “gas seco” absorbe más líquidos. Los ciclos de producción, procesado y recirculación se repiten hasta que se han extraído del yacimiento todos los líquidos recuperables y sólo queda “gas seco”.

### Preparación de los campos de producción de petróleo y gas natural

Poner en producción un nuevo campo de petróleo o gas natural exige amplios trabajos de preparación. El acceso al emplazamiento puede estar limitado o dificultado por condiciones climáticas o geográficas. Entre los requisitos necesarios se incluyen instalaciones de transporte, construcción, mantenimiento, alojamiento y administración; equipos de separación de petróleo, gas y agua; transporte de petróleo crudo y gas natural; instalaciones de abastecimiento de agua y evacuación de residuos, y muchos otros servicios, instalaciones y equipos de diversa índole. La mayoría de ellos no están disponibles en el emplazamiento y deben aportarlos la compañía perforadora o productora o contratistas externos.

### Actividades de los contratistas

Las compañías de prospección y producción de petróleo y gas natural suelen utilizar los servicios de contratistas para que provean algunos o la totalidad de los siguientes servicios de soporte necesarios para perforar y poner en explotación campos productores:

- Preparación del emplazamiento: desmonte, construcción de carreteras, rampas y pasarelas, puentes, campos de aterrizaje, puertos marítimos, muelles, embarcaderos y plataformas de carga y descarga.
- Montaje e instalación: equipo de perforación, energía y servicios, tanques y oleoducto, alojamientos, edificios de mantenimiento, garajes, soportes, edificios de servicio y administración.
- Trabajos bajo el agua: instalación, inspección, reparación y mantenimiento de equipos y estructuras subacuáticos.
- Mantenimiento y reparación: mantenimiento preventivo de equipos de perforación y producción, vehículos y embarcaciones, maquinaria y edificios.
- Contratas: servicio de comidas; servicios de conservación; protección y seguridad de las instalaciones y del perímetro;

conserjería, actividades recreativas y de soporte; almacenamiento y distribución de equipo de protección, repuestos y suministros desechables.

- Ingeniería y trabajos técnicos: pruebas y análisis, servicios informáticos, inspecciones, laboratorios, análisis no destructivos, almacenamiento y manipulación de explosivos, protección contra incendios, permisos, protección ambiental, medicina y salud, higiene industrial y medidas de seguridad y frente a vertidos.
- Servicios externos: teléfono, radio y televisión, alcantarillado y recogida de basuras.
- Equipos de transporte y manutención: aviones y helicópteros, servicios marítimos, maquinaria pesada de construcción y maquinaria de manutención.

### Servicios

Tanto si las operaciones de exploración, perforación y producción se llevan a cabo en tierra firme o en el mar, se necesita energía eléctrica de fuerza y alumbrado y otros servicios de soporte, como los siguientes:

- Generación de energía: gas, electricidad y vapor;
- Agua: abastecimiento, depuración y tratamiento de agua dulce, y agua de procesado;
- Alcantarillado y drenaje: aguas pluviales, tratamiento sanitario y tratamiento y evacuación de aguas residuales (con petróleo);
- Comunicaciones: teléfono, radio y televisión, comunicaciones por ordenador y vía satélite,
- Servicios: luz, calefacción, ventilación y refrigeración.

### Condiciones de trabajo, salud y seguridad

El trabajo en torres de perforación requiere normalmente un equipo mínimo de 6 personas (el *perforista* y su segundo, tres ayudantes o auxiliares de perforación (*perforistas asistentes*) y un *cabrestanero*) bajo las órdenes de un jefe de obra o capataz (*manipulador de la herramienta*) que es responsable del correcto avance del trabajo de perforación. El primer y segundo perforistas tienen la responsabilidad general de las operaciones de perforación y la supervisión del equipo de perforación durante sus turnos respectivos. Los perforistas deben conocer la capacidad y las limitaciones de sus equipos, ya que el trabajo sólo puede avanzar al ritmo del miembro más lento del equipo.

Los ayudantes de perforación se sitúan en la plataforma para manejar el equipo, leer los instrumentos y realizar trabajos generales de mantenimiento y reparación. El *cabrestanero* tiene que trepar casi hasta la cima de la torre de perforación cuando se está introduciendo o extrayendo del pozo la tubería de perforación y ayuda a introducir y extraer los tubos en el árbol de válvulas. Durante la perforación, maneja también la bomba de lodo y también ayuda a la cuadrilla de perforación.

El personal encargado de montar, colocar, disparar y recuperar las pistolas de perforación, debe estar correctamente adiestrado, conocer los riesgos de los explosivos y estar cualificado para manipular explosivos, cables de cebo y cápsulas detonadoras. Otros miembros del personal que trabajan en los campos petrolíferos o los frecuentan son los geólogos, ingenieros, mecánicos, conductores, personal de mantenimiento, electricistas, operarios de oleoductos y peones.

Los pozos se perforan las veinticuatro horas del día, en turnos de 8 o 12 horas, y los trabajadores deben poseer considerable experiencia, destreza y energía para afrontar las duras exigencias físicas y mentales de su trabajo. Prolongar el horario de trabajo de una cuadrilla puede acarrear graves accidentes o lesiones. La perforación requiere un estrecho trabajo en equipo y una gran coordinación para poder realizar las tareas de forma

segura y en el momento oportuno. Debido a estos y otros requisitos, es necesario prestar atención al estado de ánimo y a la salud y seguridad de los trabajadores. Períodos adecuados de descanso y relajación, alimentación nutritiva e higiene y alojamientos apropiados, con aire acondicionado en climas húmedos y calurosos, y calefacción en zonas de clima frío, son aspectos esenciales.

Los principales riesgos profesionales relacionados con las operaciones de prospección y producción, son las enfermedades por exposición a elementos geográficos y climáticos, el estrés producido por tener que recorrer largas distancias por el agua o por terreno difícil, y las lesiones personales. El aislamiento físico de los lugares de prospección y su lejanía de los campamentos base, y los largos períodos de trabajo necesarios en las plataformas de perforación marinas y en lugares remotos en tierra, pueden acarrear problemas psicológicos. En otros apartados de esta *Enciclopedia* se tratan asimismo muchos otros riesgos específicos de las operaciones en alta mar, como el buceo.

El trabajo en alta mar es peligroso en todo momento, tanto en el puesto de trabajo como fuera de él. Algunos trabajadores no pueden soportar el estrés del trabajo en alta mar a un ritmo exigente, durante largos períodos de tiempo, en un relativo confinamiento y sometidos a condiciones ambientales continuamente cambiantes. Entre los síntomas de estrés de los trabajadores están la irritabilidad inusual, otros síntomas de angustia mental, beber o fumar en exceso y el consumo de drogas. Trabajadores de plataformas han descrito problemas de insomnio, que pueden agravarse por altos niveles de vibración y ruido. La confraternización entre trabajadores y los permisos frecuentes para ir a tierra pueden reducir el estrés. El mareo y el ahogamiento, así como la exposición a condiciones climáticas rigurosas, son otros riesgos del trabajo en alta mar.

La exposición a climas rigurosos, infecciones o enfermedades parasitarias en zonas donde éstas son endémicas, provoca patologías (como enfermedades del tracto respiratorio). Aunque muchas de estas enfermedades requieren todavía estudios epidemiológicos en trabajadores de la perforación, se sabe que trabajadores del petróleo han experimentado periartritis del hombro y del omoplato, epicondilitis humeral, artrosis de la columna cervical y polineuritis de las extremidades superiores. En las operaciones de perforación también existe la posibilidad de padecer enfermedades por exposición al ruido y las vibraciones. La gravedad y frecuencia de estas enfermedades relacionadas con la perforación parece ser proporcional al tiempo de servicio y exposición a las condiciones de trabajo adversas (Duck 1983; Ghosh 1983; Montillier 1983).

Mientras se realizan actividades de perforación y producción pueden sufrirse lesiones por muchas causas, como resbalones y caídas, manipulación de tubos, elevación de tuberías y equipos, uso inadecuado de herramientas y manipulación incorrecta de explosivos. Se pueden producir quemaduras por vapor, fuego, ácido o lodo que contenga sustancias químicas, como el hidróxido sódico. La exposición al petróleo crudo y a productos químicos puede provocar dermatitis y lesiones de la piel.

Existe la posibilidad de exposición aguda y crónica a una gran variedad de materiales y sustancias químicas insalubres presentes en las actividades de perforación y producción para la obtención de petróleo y gas natural. En la Tabla 75.2 se relacionan algunas sustancias químicas y materiales que pueden estar presentes en cantidades potencialmente peligrosas, entre ellos los siguientes:

- Petróleo crudo, gas natural y ácido sulfhídrico durante la perforación y los reventones.
- Metales pesados, benceno y otros contaminantes presentes en el crudo.

- Amianto, formaldehído, ácido clorhídrico y otras sustancias químicas y materiales peligrosos.
- Materiales radiactivos naturales (NORM) y equipos con fuentes radiactivas.

### Seguridad

La perforación y la producción se realizan en todo tipo de climas y en condiciones meteorológicas variables, desde selvas tropicales y desiertos hasta los hielos del Artico y desde tierra firme hasta el Mar del Norte. Las cuadrillas de perforación tienen que trabajar en condiciones difíciles, expuestas a ruido, vibración, mal tiempo, riesgos físicos y averías mecánicas. La plataforma de perforación, la plataforma giratoria, y el equipo suelen estar resbaladizos y vibran debido al funcionamiento del motor y a la perforación, por lo que los trabajadores han de realizar movimientos precisos y cuidadosos. Existe el riesgo de resbalones y caídas desde lugares altos al trepar por la perforadora y la torre, y riesgo de exposición a petróleo crudo, gas, lodo y humos de escape del motor. La operación de acoplar y desacoplar rápidamente los tubos de perforación requiere entrenamiento, destreza y precisión por parte de los trabajadores para realizarlo de forma segura una y otra vez.

Las cuadrillas de construcción, perforación y producción que trabajan en alta mar tienen que enfrentarse a los mismos riesgos que las que trabajan en tierra, más los riesgos adicionales específicos del trabajo en alta mar, como la posibilidad de desplome de la plataforma en el mar y la previsión de procedimientos de evacuación especializada y equipo de supervivencia en caso de emergencia. Otra consideración importante cuando se trabaja en alta mar es la necesidad de bucear a mucha o poca profundidad para instalar, mantener e inspeccionar el equipo.

### Incendio y explosión

Siempre existe riesgo de reventón cuando se perfora un pozo, con la consiguiente formación de una nube de gas o vapor, seguida de explosión e incendio. Además, existe un potencial adicional de riesgo de incendio y explosión en las operaciones de procesado de gas.

Los trabajadores de plataformas marinas y sondas de perforación deben ser evaluados cuidadosamente después de ser sometidos a un reconocimiento físico exhaustivo. La selección de personal de plataforma marina con historial o síntomas evidentes de enfermedades pulmonares, cardiovasculares o neurológicas, epilepsia, diabetes, alteraciones psicológicas y adicción a las drogas o al alcohol, debe sopesarse cuidadosamente. Dado que los trabajadores tendrán que utilizar previsiblemente equipo de protección respiratoria, en particular los que estén entrenados y equipados para la extinción de incendios, deberá evaluarse física y mentalmente en cuanto a su capacidad para desempeñar estas tareas. El reconocimiento médico deberá incluir una evaluación psicológica acorde con los requisitos particulares del trabajo a realizar.

Entre los servicios médicos de urgencia de los equipos de perforación y plataformas de producción marinos deberá incluirse el equipamiento necesario para un pequeño dispensario o clínica, atendido por un médico cualificado que esté a bordo permanentemente. El tipo de servicio médico prestado se determinará en función de la disponibilidad, distancia y calidad de los servicios disponibles en tierra. La evacuación puede realizarse por barco o helicóptero, o un médico puede viajar hasta la plataforma o facilitar asesoramiento médico por radio al médico de a bordo cuando sea necesario. Cuando varias plataformas grandes operen en una zona de reducida extensión, como por ejemplo el Mar del Norte, se puede estacionar un barco médico en la zona para contar con mayor disponibilidad y poder atender con más rapidez a un trabajador enfermo o lesionado.

También el personal que no trabaja directamente en torres o plataformas de perforación debe ser sometido a reconocimiento médico previo al empleo y periódicamente, sobre todo si va a ser contratado para trabajar en climas inusuales o en condiciones rigurosas. En estos reconocimientos deberán tenerse en cuenta las especiales exigencias físicas y psicológicas del trabajo.

### Protección personal

Deberá ejecutarse un programa de supervisión y muestreo de higiene industrial, junto a un programa de vigilancia médica, para evaluar sistemáticamente el alcance y efecto de las exposiciones peligrosas para los trabajadores. Asimismo deberá establecerse un plan de vigilancia para detección de vapores inflamables y exposiciones tóxicas, por ejemplo a ácido sulfhídrico, durante las operaciones de exploración, perforación y producción. No se deberá permitir prácticamente ninguna exposición a  $H_2S$ , especialmente en plataformas marinas. Un método eficaz para controlar la exposición es utilizar lodo de perforación debidamente ponderado para evitar la entrada de  $H_2S$  en el pozo y añadir sustancias químicas al lodo para neutralizar el  $H_2S$  eventualmente retenido. Se deberá enseñar a todos los trabajadores a detectar la presencia de  $H_2S$  y a adoptar medidas preventivas inmediatas para reducir la posibilidad de exposición tóxica y explosiones.

El personal que realice actividades de exploración y producción deberá tener y utilizar equipo de protección personal apropiado, como por ejemplo:

- Protección para la cabeza (cascos con forro interior resistente a la intemperie).
- Guantes (guantes de trabajo antideslizantes, resistentes al petróleo, ignífugos o térmicos cuando sea necesario).
- Protección para los brazos (mangas largas o guanteletes resistentes al petróleo).
- Protección para los pies y las piernas (botas de seguridad protegidas contra la intemperie, botas de seguridad impermeables al petróleo con puntera de acero y suela antideslizante).
- Protección ocular y facial (gafas de seguridad, gafas de montura ajustada y pantalla facial para manipulación de ácidos).
- Protección de la piel contra el calor y el frío (crema con filtro solar y máscaras faciales contra el frío).
- Ropa climatizada y protegida contra la intemperie [parkas (cazadoras con capucha), prendas de lluvia].
- Cuando se requiera, equipo antifuego, ropa ignífuga y delanteros o trajes resistentes a los ácidos.

Las salas de control, alojamientos y otras dependencias de las plataformas marinas grandes suelen estar presurizadas para impedir la entrada de atmósferas nocivas, como por ejemplo ácido sulfhídrico gaseoso, que pueden desprenderse al penetrar el yacimiento o en situaciones de emergencia. Puede necesitarse protección respiratoria en caso de fallo de la presurización y cuando exista posibilidad de exposición a gases tóxicos (ácido sulfhídrico), asfixiantes (nitrógeno, dióxido de carbono), ácidos (ácido fluorhídrico) u otros contaminantes atmosféricos al trabajar fuera de las zonas presurizadas.

Cuando se trabaje cerca de pozos de geopresión o geotérmicos, deberá considerarse la necesidad de utilizar guantes aislados y trajes completos de protección contra el calor y el vapor, con suministro de aire para la respiración, ya que el contacto con vapor y gases calientes puede producir quemaduras en la piel y los pulmones.

Se utilizarán arneses de seguridad y cabos salvavidas cuando se esté en pasillos y pasarelas, especialmente en plataformas marinas y con mal tiempo. Al trepar a perforadoras y torres de

perforación, se usarán arneses y cabos salvavidas enganchados a un contrapeso. Con frecuencia se utilizan cestas de personal que transportan cuatro o cinco trabajadores provistos de equipo de flotación personal, para transbordar cuadrillas entre embarcaciones y plataformas o torres de perforación marinas. Otros medios de transferencia son los “cables de transbordo.” Los utilizados para transbordos desde embarcaciones a plataformas marinas se enganchan justo encima del borde de las plataformas de desembarque de las embarcaciones, mientras que los utilizados para transbordos desde plataformas a embarcaciones deben engancharse aproximadamente a un metro del borde exterior.

Proveer instalaciones para el aseo de los trabajadores y el lavado de la ropa, y observar unas prácticas de higiene adecuadas, son medidas fundamentales para controlar la dermatitis y otras enfermedades de la piel. Cuando proceda, se deberá considerar la conveniencia de proveer puestos de lavado ocular de emergencia y duchas de seguridad.

### **Medidas de protección y seguridad**

En los sistemas de cierre de seguridad de las plataformas petrolíferas y de gas natural, se utilizan diversos dispositivos y monitores para detectar fugas, incendios, roturas y otras situaciones de peligro, activar alarmas y parar operaciones siguiendo una secuencia lógica y planificada. Cuando la naturaleza del gas o el crudo lo aconsejen, se utilizarán métodos de ensayo no destructivos, por ejemplo ultrasónicos, radiográficos, de partículas magnéticas, colorantes líquidos penetrantes o inspecciones visuales, para determinar el grado de corrosión de las tuberías, tubos de calentadores, unidades de tratamiento y recipientes empleados en la producción y procesamiento de petróleo crudo, condensado y gas natural.

Válvulas de cierre temporal superficiales y subsuperficiales protegen instalaciones terrestres, pozos individuales en aguas de poca profundidad y plataformas multipozo de perforación y producción en alta mar, y se activan automáticamente (o manualmente) en caso de incendio, variaciones críticas de presión, rotura catastrófica en la cabeza del pozo u otra emergencia. También se utilizan para proteger pequeños pozos de inyección y pozos de producción por presión artificial con gas.

La inspección y conservación de grúas, cabrestantes, tambores, cable de acero y material conexo, es un aspecto importante de la seguridad en perforación. La caída de una columna de perforación en el interior de un pozo es un grave incidente que puede acarrear la pérdida del pozo. Pueden producirse lesiones, y a veces muertes, cuando el personal es golpeado por un cable de acero al romperse estando tenso. El funcionamiento seguro del equipo de perforación depende también de la marcha suave y el correcto mantenimiento del cabrestante, que deberá estar correctamente mantenido, con los tornos auxiliares y los sistemas de freno bien ajustados. Cuando se trabaje en tierra firme, deberán mantenerse las grúas a una distancia segura de las líneas de tendido eléctrico.

La manipulación de explosivos durante las operaciones de exploración y perforación se realizará bajo el control de una persona expresamente cualificada. A continuación se indican algunas precauciones de seguridad que deben tenerse en cuenta al utilizar una pistola de perforación:

- No golpear o dejar caer nunca una pistola cargada, ni dejar caer tubos u otros materiales sobre una pistola cargada.
- Despejar la línea de fuego y evacuar al personal innecesario de la plataforma y de la planta baja de la torre de perforación cuando se baje la pistola al pozo y se recupere de él.
- Controlar el trabajo que se realice en la cabeza del pozo y en sus inmediaciones mientras la pistola esté en el pozo.

- Restringir el uso de radios y prohibir la soldadura al arco mientras la pistola esté conectada al cable para prevenir su disparo por un impulso eléctrico inadvertido.

La planificación de procedimientos y los simulacros para situaciones de emergencia son importantes para la seguridad de los trabajadores de plataformas marinas y de torres de perforación y producción de petróleo y gas natural. Debe evaluarse cada tipo de emergencia posible (por ejemplo, incendio o explosión, emanaciones de gases tóxicos o inflamables, condiciones meteorológicas inusuales, caída de trabajadores por la borda, o la necesidad de abandonar una plataforma) y trazar planes de reacción específicos. Es necesario que los trabajadores estén entrenados en las acciones correctas que deben llevar a cabo en las emergencias y conozcan perfectamente el equipo a utilizar.

La seguridad y la supervivencia en caso de caída de helicópteros al agua son consideraciones importantes en relación con las operaciones de las plataformas marinas y los procedimientos para situaciones de emergencia. Los pilotos y pasajeros deben llevar cinturones de seguridad y, en caso necesario, equipo de supervivencia durante el vuelo. Deberán llevarse puestos chalecos salvavidas en todo momento, tanto durante el vuelo como durante el transbordo desde el helicóptero a la plataforma o al barco. Al subir y bajar de un helicóptero o trabajar en sus inmediaciones, se deberá tener cuidado de mantener el cuerpo y los materiales por debajo de la trayectoria de las palas del rotor.

La formación, tanto de los trabajadores de tierra como de los de alta mar, es esencial para la seguridad de la operación. Se deberá pedir a los trabajadores que asistan a reuniones periódicas programadas de seguridad sobre requisitos obligatorios y otras cuestiones. Se han dictado normas legales por organismos gubernamentales, como la Occupational Safety and Health Administration, el Servicio de Guardacostas de Estados Unidos para operaciones en alta mar y sus equivalentes en el Reino Unido, Noruega y otros países, que regulan la seguridad y la salud de los trabajadores de exploración y producción, tanto en tierra como en el mar. El Repertorio de recomendaciones prácticas de la Organización Internacional del Trabajo *Safety and Health in the Construction of Fixed Offshore Installations in the Petroleum Industry* (Seguridad y salud en la construcción de instalaciones fijas en alta mar en la industria del petróleo) (1982) ofrece asesoramiento en este sentido. El American Petroleum Institute tiene varias normas y métodos recomendados sobre seguridad y salud en relación con las actividades de exploración y producción.

### **Medidas de protección y prevención de incendios**

La prevención y protección contra incendios, especialmente en plataformas marinas de perforación y producción, es un elemento importante para la seguridad de los trabajadores y la continuidad de las operaciones. Se debe entrenar y enseñar a los trabajadores a reconocer el triángulo de fuego, como se explica en el capítulo *Fuego*, en lo concerniente a líquidos, gases y vapores de hidrocarburos inflamables y combustibles y a los posibles riesgos de incendio y explosión. Es esencial una sensibilización respecto a la prevención de incendios, que incluya el conocimiento de las fuentes de ignición, como soldadura, llamas libres, altas temperaturas, energía eléctrica, chispas de electricidad estática, explosivos, oxidantes y materiales incompatibles.

Tanto en tierra como en alta mar se utilizan sistemas de protección contra el fuego activos y pasivos.

- Los sistemas pasivos comprenden el ignifugado, disposición y espaciado, diseño de equipos, clasificación eléctrica y drenaje.
- Se instalan detectores y sensores que activan alarmas y pueden activar también sistemas de protección automáticos, al detectar calor, llamas, humo, gas o vapores.

- La protección activa contra el fuego incluye sistemas de agua contra incendios, suministro de agua de extinción, bombas, hidrantes, mangueras y sistemas de aspersores fijos; sistemas automáticos de extinción con productos químicos en polvo y extintores manuales; sistemas de halón y de dióxido de carbono para zonas confinadas o cerradas, como salas de control, salas de ordenadores y laboratorios, y sistemas de espuma y agua.

Los empleados que deban combatir incendios, desde pequeños incendios en las fases incipientes hasta grandes incendios en espacios cerrados, como por ejemplo en plataformas marinas, deberán estar correctamente entrenados y equipados. Los trabajadores designados como jefes de bomberos y jefes de operaciones en caso de incidente, necesitan dotes de mando y formación especializada adicional en técnicas avanzadas de lucha contra incendios y de control de incendios.

### Protección del medio ambiente

Las principales fuentes de contaminación del aire, el agua y el suelo en la producción de petróleo y gas natural son los vertidos de petróleo y las emanaciones de gas en tierra o en el mar, ácido sulfhídrico presente en el petróleo y emanaciones de gas a la atmósfera, productos químicos peligrosos presentes en el lodo de perforación que contaminan el agua o la tierra, y productos de la combustión de los incendios de pozos de petróleo. Los posibles

efectos para la salud pública derivados de la inhalación de partículas de humo procedentes de incendios de grandes proporciones en campos petrolíferos, ha sido causa de gran preocupación desde los incendios de campos de petróleo que se produjeron en Kuwait durante la guerra del Golfo Pérsico en 1991.

Entre las medidas de control de la contaminación se incluyen normalmente las siguientes:

- Separadores de API y otras instalaciones de tratamiento de residuos y de aguas residuales.
- Control de vertidos, incluyendo barreras de contención para vertidos en agua.
- Contención de vertidos, diques y drenajes para controlar vertidos de petróleo y desviar el agua contaminada con petróleo hacia instalaciones de tratamiento.

Se crean modelos de dispersión de gas para determinar la zona que probablemente resultaría afectada por una nube de gas o vapor tóxico o inflamable originada por un escape. Se realizan estudios de capas freáticas para proyectar el alcance máximo que tendría la contaminación del agua en caso de contaminación por petróleo.

Los trabajadores deberán estar entrenados y cualificados para aplicar medidas de urgencia en respuesta a vertidos y emanaciones. Normalmente se encarga a contratistas especializados en reparación de contaminaciones el control de los grandes vertidos y el diseño de los proyectos de reparación.

### Referencias

Duck, BW. 1983. Petróleo, extracción y transporte marítimo. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.

Energy Information Administration. 1996. *International Petroleum Statistics Report: January 1996*. Washington, DC: US Department of Energy

Ghosh, PK. 1983. Petróleo, plataformas marinas. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT: 1559-1563.

Montillier, J. 1983. Perforación, petróleo y agua. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.

National Fire Protection Association (NFPA). 1976. *Fire Protection Handbook*, 14 edición. Quincy, Massachusetts: NFPA.

—. 1991. *Fire Protection Handbook*, 17 edición. Quincy, Massachusetts: NFPA.

Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1982. *Safety and Health in the Construction of Fixed Offshore Installations in the Petroleum Industry*. Repertorio de Recomendaciones prácticas de la OIT. Ginebra: OIT.

### Otras lecturas recomendadas

American Petroleum Institute. 1980. *Facts about Oil*. Manual 4200-10/80-25m, octubre 1980. Washington, DC: American Petroleum Institute.

Nabieva, GV. 1976. Occupational disease in oil rig workers. *Gigiena truda i proffesional'nye zabollevanija* 8:22-24.

National Safety Council. 1995. *Petroleum Section Safety and Health Fact Sheet*. Itasca, Illinois: National Safety Council.

Panov, GE y cols. 1977. Ergonomic assessment of work posture on drilling rigs. *Besopasnost' truda v promyslennosti* 3:49.

Salpukas, A. 1995. New ideas for US oil. *New York Times*, 16 noviembre.

