

Instalación típica de un campo submarino. Los árboles de producción submarinos situados por encima de cuatro pozos contienen las válvulas de control de presión y los orificios de inyección de productos químicos. Un conector de línea de flujo transporta los fluidos producidos desde cada árbol hasta un colector submarino, que mezcla la producción de los pozos antes de enviarla por los conectores de línea de flujo hasta una estación submarina de bombeo de refuerzo. La bomba suministra la energía necesaria para enviar los fluidos producidos a través de dos arreglos de terminación de tuberías (PLETs) y luego a lo largo de las líneas de flujo y por los tubos ascendentes hasta la cubierta de producción de la embarcación flotante de producción, almacenamiento y descarga (FPSO). Una línea umbilical integrada (verde) proveniente de la embarcación FPSO suministra energía eléctrica e hidráulica para las funciones de control de los árboles de producción o los colectores y provee los productos químicos para suprimir la formación de incrustaciones e hidratos en la corriente de producción. En el fondo marino, el arreglo de terminación de líneas umbilicales (UTA) transporta los productos químicos y los fluidos hidráulicos (conectores blancos) hasta el colector, que los envía a cada árbol de producción. El arreglo UTA también envía la energía eléctrica a un sistema de distribución que dirige las líneas de energía eléctrica (cables negros) hasta el colector, la bomba de refuerzo y los árboles.

Infraestructura submarina

Matt Varhaug
Editor senior

Para reemplazar las reservas decrecientes de los campos petroleros de tierra firme o de los pozos de áreas marinas perforados en aguas someras, muchas compañías de E&P están recurriendo a sus áreas prospectivas de aguas profundas. Las actividades de exploración o producción en áreas de aguas profundas y ultra-profundas se llevan a cabo en tirantes de agua (profundidad del lecho marino) que oscilan entre 300 y 3 050 m [1 000 y 10 000 pies] o profundidades aún mayores. Estas profundidades hacen que la mayoría de los pozos sean terminados como pozos submarinos, con los cabezales, el equipo de control de presión y el equipo de producción emplazados en el fondo marino.

Desde las terminaciones de los pozos de aguas profundas y ultra-profundas, los fluidos producidos son enviados a una instalación de procesamiento por medio de un *sistema de producción submarino*. Un sistema de producción submarino consiste en la infraestructura submarina utilizada para producir petróleo y gas en los yacimientos marinos y contiene uno o más pozos submarinos y los subsistemas necesarios para enviar los hidrocarburos a una instalación de procesamiento fija, flotante, submarina o terrestre. Estos subsistemas pueden dividirse en árboles de producción submarinos, controles de producción, colectores, conectores de líneas de flujo, líneas de flujo, tubos ascendentes, líneas umbilicales y los componentes de procesamiento. La inyección de agua o gas de regreso en los pozos submarinos también es una función del sistema de producción submarino. Generalmente, el petróleo, el gas y el agua producidos en el yacimiento fluyen desde un pozo hasta

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* 28, no. 2 (Mayo de 2016).
 Copyright © 2016 Schlumberger.

un árbol de producción submarino, y a través de un conector de líneas de flujo, hasta un colector y una línea de flujo submarina. Actualmente, muchos operadores dirigen la línea de flujo hasta una bomba de refuerzo para energizar el flujo a medida que se desplaza entre el fondo marino y un tubo ascendente que lo lleva a la superficie para su procesamiento.

El equipo del lecho marino

El *cabezal de pozo submarino*, instalado al comienzo de la fase de perforación, proporciona los cimientos estructurales del pozo. Además, es donde se instala el *árbol de producción submarino*. En algunas configuraciones, el árbol contiene el colgador de la tubería de producción y aloja las líneas eléctricas e hidráulicas utilizadas para manejar las válvulas de seguridad de fondo de pozo, las válvulas de terminación de pozos y los sensores de presión o temperatura. La función del árbol de producción submarino es controlar y manejar la presión y el flujo a lo largo de toda la vida productiva del pozo y posibilitar cualquier intervención que sea necesaria. El árbol de producción es el principal mecanismo de cierre del pozo en el fondo marino y actúa como interfaz para las operaciones de re-entrada en los pozos. Un *módulo de control submarino* (SCM) fijado al árbol contiene la instrumentación, los componentes electrónicos y las conexiones hidráulicas necesarias para la operación segura de las válvulas de fondo de pozo, los estranguladores (orificios) y las válvulas del árbol submarino.



Figura 1. Colector submarino. Este colector, que está siendo levantado para ser instalado en el fondo marino, tomará los fluidos producidos en varios pozos y los llevará hasta una línea de flujo que se conecta a una plataforma de producción.

Las secciones de tuberías, denominadas *conectores*, conectan las estructuras submarinas y sirven como enlaces a través de los cuales se transmiten los fluidos. La longitud de estos segmentos de tuberías oscila entre algunos metros y cientos de metros. A menudo se instala un conector para transportar la producción aguas abajo del árbol. El fluido producido puede ser enviado a través de un *medidor de flujo multifásico* para medir los volúmenes y las tasas de producción.

Cuando la producción en un desarrollo submarino proviene de múltiples pozos, los conectores de las líneas de flujo provenientes de los pozos individuales envían los fluidos producidos a un *colector de producción submarino* (Figura 1). Mediante el transporte de los fluidos producidos desde los múltiples pozos hasta el colector de producción, el operador reduce el

número de líneas de flujo que deben ser acomodadas en el siguiente paso de la cadena de producción. Al llegar al colector, los fluidos producidos en los diversos pozos se mezclan antes de ser enviados a una línea de flujo que llega hasta la plataforma de producción. Los *colectores para inyección* funcionan de un modo similar y son utilizados para manejar la distribución del agua, el gas y los productos químicos inyectados en uno o más pozos submarinos.

Algunas instalaciones submarinas cuentan con un *colector de terminación de tubería* (PLEM), que conecta una línea de flujo con otra estructura submarina o une una tubería principal con una ramificación. El PLEM puede estar provisto de puntos de empalme con otros componentes, tales como las válvulas de aislamiento, las válvulas de derivación y los arreglos de sensores. Algunos diseños de colectores PLEM cuentan con mecanismos incorporados para lanzar los diablos o depuradores de tuberías, que son los dispositivos utilizados para limpiar o monitorear el interior de las tuberías.

Cuando un yacimiento no posee suficiente energía para llevar los fluidos desde un componente submarino al siguiente, se puede instalar una bomba de refuerzo submarina. Las *bombas de refuerzo submarinas* funcionan como un sistema de levantamiento artificial de fondo marino, incrementando tanto la tasa de flujo como la recuperación mediante la reducción de la contrapresión sobre el yacimiento.

Otros avances registrados recientemente en materia de procesamiento submarino son utilizados para mejorar la rentabilidad de los campos petroleros. La separación y la reinyección del agua producida en el fondo marino permiten aliviar los problemas de restricción de la capacidad de tratamiento del agua de superficie y a la vez se complementa la energía del yacimiento a través de mecanismos de desplazamiento por empuje de agua. La compresión de gas submarina, incluyendo la compresión de gas húmedo, permite mejorar la viabilidad de ciertos desarrollos marginales.

El flujo de fluidos hacia la superficie

Las *líneas de flujo* vinculan uno o más campos petroleros de regreso a una instalación de producción —una instalación de procesamiento costera o una plataforma de producción fija emplazada en aguas más someras— pero en las áreas de aguas más profundas se utilizan embarcaciones flotantes de producción, almacenamiento y transporte (FPSOs). Las líneas de flujo no necesariamente describen un curso recto desde el cabezal del pozo hasta la plataforma, sino que además pueden curvarse para evitar obstáculos, tales como la infraestructura submarina existente, u obstrucciones naturales tales como los cañones o los montes submarinos. Dado que siguen la topografía del fondo marino, las líneas de flujo ascienden gradualmente desde las porciones más profundas y más frías del campo petrolero y atraviesan aguas más someras y relativamente más cálidas hasta llegar a la instalación de producción.

La profundidad del agua afecta la temperatura, lo que puede incidir adversamente en el flujo entre el árbol submarino y la instalación de producción. Tras salir del cabezal del pozo, los fluidos producidos calientes pueden encontrar temperaturas de aguas profundas cercanas a los 2°C [36°F] en el fondo marino. La transferencia de calor entre el fluido producido presente en la tubería y el agua de mar circundante puede enfriar el fluido hasta el punto en que comienzan a formarse hidratos de gas. El cambio producido en la temperatura del fluido más allá del árbol incide en la estrategia de manejo termal del operador. En ciertos campos petroleros, productos químicos tales como el metanol [CH₃OH] o el monoetileno glicol [C₂H₆O₂] se inyectan en el sistema con el fin de mantener el flujo de la corriente del pozo y luego se recuperan en la superficie y se reutilizan. Algunos operadores emplean

líneas de flujo calentadas eléctricamente, mientras que otros utilizan tuberías aisladas con espuma. Algunos operadores sepultan las líneas de flujo por debajo del fondo marino para aislarlas, pero las líneas de flujo de algunos campos petroleros no requieren ni aislación ni calor adicional. La química y la reología de los fluidos producidos dictaminan la metodología a adoptar.

Las líneas de flujo de producción van desde el colector hasta las estructuras vinculadas a los tubos ascendentes que dirigen el flujo de fluidos hasta la instalación de producción. Los *tubos ascendentes* transportan los fluidos producidos desde el fondo marino hasta la instalación de producción de superficie. Al igual que las líneas de flujo, muchos tubos ascendentes se encuentran aislados de las temperaturas frías del agua marina y ofrecen una medida de flexibilidad para tolerar las corrientes subterráneas o el movimiento de la instalación flotante.

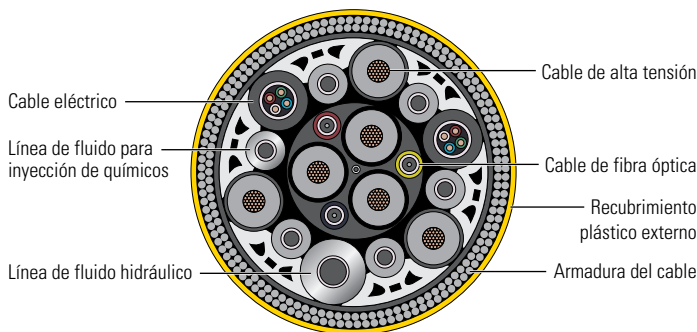


Figura 2. Corte transversal de una línea umbilical. Las líneas umbilicales suministran la energía eléctrica, el fluido hidráulico, los productos químicos y las comunicaciones por fibra óptica con el sistema de producción submarino. Las mangueras, cables, líneas de inyección y otros conductos independientes se colocan unidos dentro un anillo externo armado diseñado para tolerar las condiciones rigurosas del ambiente submarino.

El cabestro de seguridad de superficie

La instalación de procesamiento de superficie proporciona los servicios de energía, control, comunicación e inyección de productos químicos de regreso al sistema de producción submarino. Estos servicios son transmitidos a través de un *sistema de distribución submarino utilizando líneas umbilicales*. Los múltiples conductos termoplásticos y de acero a menudo se unen con las líneas hidráulicas, las líneas de inyección de productos químicos, los conductores de alimentación y los cables de fibra óptica, para formar una sola *línea umbilical integrada* (Figura 2). Estos conductos flexibles requieren técnicas de manufactura y materiales sofisticados para tolerar las temperaturas, las presiones y las corrientes que existen en los océanos profundos. Los conductores de alimentación suministran la electricidad para el equipo submarino y los sensores del sistema. Las líneas hidráulicas se utilizan para abrir y cerrar las válvulas submarinas. Las líneas de fibra óptica transmiten instantáneamente la información de los sensores y los comandos de control entre el fondo marino y la superficie. Algunas líneas umbilicales bombean productos químicos en la corriente de producción. Los conductos umbilicales directa o indirectamente proporcionan servicios a casi todos los componentes del sistema de producción submarino y son cruciales para la operación del campo. Las líneas normalmente se dirigen desde la instalación de procesamiento hasta un *arreglo de terminación de líneas umbilicales* (UTA) emplazado en el fondo marino, desde donde se distribuyen los servicios a través de todo el campo.

Al llegar a la superficie, los fluidos producidos son separados y tratados en la instalación de procesamiento. Desde allí, una tubería de exportación transporta el producto hasta una instalación de almacenamiento y descarga o hasta una refinería en tierra firme para su ulterior procesamiento y distribución.