

# Levantamiento artificial por gas

**Rick von Flatern**  
*Editor senior*

Los sistemas de levantamiento artificial están diseñados para ayudar a la energía natural del yacimiento a llevar los fluidos de formación a la superficie con las tasas previstas. Los sistemas de levantamiento artificial por gas sustentan o incrementan la producción mediante la inyección de gas a alta presión —desde el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción— en los fluidos que ingresaron en la tubería de producción desde la formación. El gas inyectado reduce la densidad del fluido y, por consiguiente, su presión hidrostática. Esto permite que la presión de yacimiento en sitio levante los fluidos aligerados.

La aplicabilidad técnica y la viabilidad económica de las instalaciones de levantamiento artificial por gas son determinadas por dos factores: la disponibilidad de gas y los costos de compresión. En la mayoría de los casos de pozos con sistemas de levantamiento artificial por gas, los pozos cercanos producen suficiente gas para alimentar el sistema, y después de llevar los fluidos a la superficie, el gas puede ser separado de los líquidos y retornar al espacio anular entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción a fin de mantener la presión y el volumen de gas requeridos. Cuando las circunstancias lo permiten, la industria también utiliza sistemas naturales de levantamiento artificial por gas o auto-levantamiento artificial por gas, que resultan altamente económicos porque eliminan la necesidad de contar con compresores, líneas de conducción o una fuente independiente de gas natural.

## Diseño del sistema

Los ingenieros diseñan los sistemas de levantamiento artificial por gas calculando primero el potencial de producción de cada pozo de la red. Posteriormente, sobre la base del volumen y la presión de gas disponibles, asignan a cada pozo una tasa de producción y una asignación de gas óptimas para el levantamiento artificial.

Un sistema ideal de levantamiento artificial por gas es aquel en el que el gas se inyecta en la columna de fluido a una tasa continua y a una presión constante. Este proceso asegura una tasa de flujo de fluidos estable desde el yacimiento y sólo es posible en los campos en los que se dispone de suficientes volúmenes de gas de alta presión y los fluidos pueden fluir fácilmente hacia el pozo a través de la formación.

Además, los ingenieros deben construir los pozos de manera tal que admitan el tipo de sistema de inyección que ha de utilizarse. El gas puede ser inyectado en la columna de fluido mediante un sistema abierto que no posee sello alguno entre la tubería de producción y el espacio anular existente entre ésta y la tubería de revestimiento, o que utiliza una válvula fija en la tubería de producción para aislar dicho espacio anular de la tubería de producción. Sin embargo, la configuración más común para un pozo con levantamiento artificial por gas incluye un empacador y válvulas de levantamiento artificial por gas.

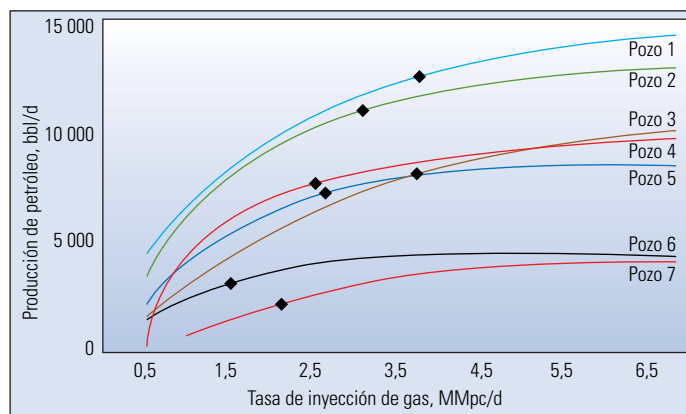


Figura 1. Optimización de los sistemas de levantamiento artificial por gas. Todos los pozos o redes de pozos de un campo petrolero poseen un punto de operación óptimo del levantamiento artificial (diamantes negros) en el que el pozo producirá la mayor cantidad de fluido. La utilización de un software de optimización de sistemas de levantamiento artificial por gas ayuda a los diseñadores de estos sistemas a establecer una tasa óptima de inyección de gas para cada pozo de la red. Las tasas se basan en la disponibilidad de gas y en el potencial de producción de fluidos de la formación. Por consiguiente, la producción óptima de cada pozo de una red puede ser menor que su potencial.

El diseño de un sistema de levantamiento artificial por gas que optimice la producción constituye un desafío complejo. Los ingenieros deben dar cuenta de la interacción de todas las partes del sistema de producción; el potencial, las restricciones y las necesidades de cada pozo deben ser considerados individualmente, junto con las de la red como un todo. Los diámetros y longitudes de las líneas de flujo y los tubulares de fondo de pozo, el equipo de procesamiento, la disponibilidad de gas y compresores, la composición de los fluidos y otros factores inciden en la eficiencia del levantamiento artificial por gas y en la producción.

Hoy, los diseñadores pueden encarar estos cálculos complejos utilizando programas de optimización que modelan la red de producción (Figura 1). Estos programas permiten al ingeniero optimizar el sistema sobre la base de un vector económico relacionado con los campos petroleros, tal como la producción total de fluidos, la producción total de gas o la producción total de petróleo, y verificar los efectos de diversas tasas de inyección.

Debido al cambio constante de las condiciones de cada pozo en particular y del campo en general, los operadores pueden acoplar las capacidades de optimización controladas por computadora a los datos transferidos en tiempo real. Y luego pueden ajustar las tasas de inyección para que se adecuen a las condiciones cambiantes e identificar rápidamente los pozos o sistemas de levantamiento artificial por gas con rendimiento insuficiente y adoptar medidas para corregirlos.

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* 28, no. 1 (Enero de 2016).

Copyright © 2016 Schlumberger.

Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Jason Jones, Tyler, Texas, EUA, y a Eric Lovie, Singapur.

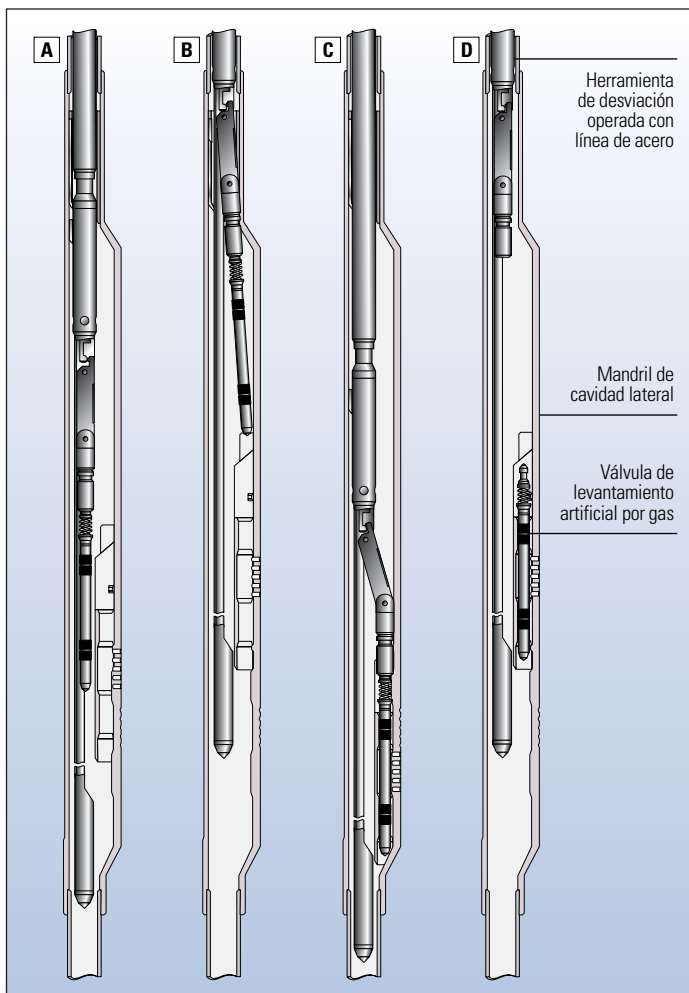


Figura 2. Colocación y recuperación de las válvulas de levantamiento artificial por gas. Las válvulas de levantamiento artificial por gas se bajan en el pozo y se colocan en los mandriles de cavidad lateral utilizando una herramienta operada con línea de acero o con tubería flexible, fijada a una herramienta de desviación. La herramienta de desviación contiene un mecanismo de resorte, que se fija en su posición mientras la válvula se baja en el pozo. El operador de la línea de acero o de la tubería flexible baja la herramienta más allá del mandril de cavidad lateral (A) y luego invierte la dirección (B), lo que destraba el resorte. Cuando la base de la válvula pasa por la apertura del mandril, el resorte la coloca en la apertura. Luego, el operador invierte la dirección nuevamente y la válvula baja y se introduce en el mandril (C). A continuación, el operador tira hacia arriba, lo que fija la válvula en su posición y desengancha la herramienta de servicio de la válvula (D). El operador puede invertir el proceso para recuperar la válvula utilizando una herramienta de extracción de válvulas de levantamiento artificial por gas fijada a la herramienta de desviación.

### Válvulas de levantamiento artificial por gas

Las *válvulas de levantamiento artificial por gas* son los medios con los cuales los operadores ajustan la tasa de inyección de gas en la columna de fluido de la tubería de producción. Las válvulas de retención, dentro de las válvulas de levantamiento artificial por gas, permiten el flujo en una sola dirección; desde el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción hacia la tubería de producción. Para maximizar la eficiencia, las válvulas de levantamiento artificial por gas se colocan a la mayor profundidad posible dentro del pozo; la profundidad de colocación está limitada por la presión de inyección disponible. Las *válvulas de levantamiento artificial por gas operadas por la presión de inyección* están diseñadas para abrirse normalmente en respuesta a un valor especificado de presión de gas en el espacio anular.

Además, las válvulas de levantamiento artificial por gas pueden colocarse a diferentes profundidades, entre la válvula inferior extrema y la superficie. Estas válvulas se utilizan principalmente al inicio de la producción para reducir la densidad del fluido que se ha elevado por encima del punto primario de inyección de gas de la válvula colocada a mayor profundidad. Este proceso se conoce como *arranque del pozo o descarga del pozo*. Generalmente, la válvula operativa es la válvula inferior extrema.

Las *válvulas de levantamiento artificial por gas operadas con la presión de producción*, colocadas a diversas profundidades en el pozo, pueden abrirse en respuesta a un nivel prefijado de presión ejercida por la columna de fluido producido y permanecen cerradas a menos que el pozo experimente un incremento del volumen de fluido en la tubería de producción, punto en el cual se abren para asistir en el levantamiento del excedente de fluido del pozo.

Los ingenieros colocan las válvulas convencionales de levantamiento artificial por gas en mandriles que forman parte de la sarta de producción; dichas válvulas sólo pueden ser recuperadas si se extrae la sarta de tubería de producción. Las válvulas también pueden ser colocadas en *mandriles de cavidad lateral*, que proporcionan la comunicación entre el espacio anular y la tubería de producción y un mecanismo de fijación que mantiene la válvula en su posición. Estas válvulas pueden ser colocadas en los mandriles y recuperadas con herramientas operadas con línea de acero o tubería flexible (Figura 2).

Los sellos de la válvula se ajustan a un diámetro interior pulido de la pared interna del mandril; el sello y el diámetro interior pulido generan un trayecto aislado para que el gas fluya a través de la válvula y hacia el interior de la sarta de producción. El gas sale de la válvula a través de un orificio dimensionado para producir la tasa de flujo de gas pretendida hacia el interior de la tubería de producción. Para obtener las tasas de flujo de fluido estacionario y constante, que son esenciales para un sistema optimizado de levantamiento artificial por gas, el gas debe ingresar en la sarta de producción a una velocidad crítica.

La velocidad crítica se define en general como la velocidad mínima del gas en la tubería de producción, requerida para desplazar las gotitas de fluido en sentido ascendente. Por debajo de la velocidad crítica, las gotitas caen y los líquidos se acumulan en el pozo. Además, cuando la tasa cae por debajo del flujo crítico los cambios pequeños producidos en las presiones aguas abajo pueden producir cambios grandes en la tasa de flujo, que el sistema podría interpretar como la necesidad de contar con más gas, lo que puede producir oscilaciones en la presión y en las tasas de producción. Por encima del flujo crítico, el sistema no puede detectar los cambios producidos aguas abajo de la válvula, por lo que no responderá a la situación a través del incremento del flujo de gas.

### **Versiones de los sistemas de levantamiento artificial por gas**

Los sistemas de levantamiento artificial por gas son de flujo continuo o bien de flujo intermitente. La mayoría de los pozos utiliza sistemas de levantamiento artificial por gas de flujo continuo porque complementan las fuentes de gas en sitio, lo que genera el flujo estacionario natural de los fluidos de formación a la superficie. La inyección continua de gas requiere una fuente confiable de gas de alta presión a lo largo de toda la vida productiva de un pozo. No obstante, en muchos casos, las fuentes de gas en sitio declinan antes del drenaje completo de la zona, lo que obliga a los operadores a recurrir a fuentes externas para mantener el volumen de extracción.

Los sistemas de levantamiento artificial por gas de flujo intermitente inyectan el gas en la sarta de producción en forma periódica para desplazar los tapones de fluido. El gas a alta presión se expande rápidamente después de ingresar en la tubería, lo que lleva el fluido a la superficie. A diferencia del flujo estacionario generado por los sistemas de levantamiento artificial por gas de flujo continuo, el flujo intermitente produce tapones que pueden ocasionar dificultades en la manipulación del gas y del fluido en la superficie. Además, los cambios de presión extremos provocados por la inyección súbita de gas en la tubería de producción generan golpes de presión cerca de la zona de producción, lo que puede dar lugar a la producción de arena en ciertas formaciones.

Los expertos recomiendan la aplicación de levantamiento artificial por gas de flujo continuo para los pozos de gran volumen que exhiben altas presiones estáticas de fondo de pozo (BHP) y para los pozos marinos que poseen mecanismos fuertes de empuje por agua o formaciones que producen mediante inundación de agua y que exhiben una alta productividad (PI) y altas relaciones gas/petróleo (RPGs). Los sistemas de levantamiento artificial por gas de flujo intermitente, en general, no se recomiendan para pozos que producen más de 30 m<sup>3</sup>/d [200 bbl/d] o en pozos con altas BHPs pero bajo PI o con bajas BHPs y alto PI. En consecuencia, muchos sistemas de flujo intermitente se despliegan en pozos agotados que primero utilizaron sistemas de flujo continuo y en pozos de gas que han comenzado a producir agua.

Los sistemas de *auto-levantamiento artificial por gas*, también conocidos como sistemas naturales o en sitio de levantamiento artificial por gas, poseen requerimientos específicos y, por ende, su empleo es menos común que el de los sistemas tradicionales. En vez de utilizar gas bombeado por el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción, estos sistemas son alimentados por los casquetes de gas de los yacimientos o las formaciones gasíferas no contiguas. Los ingenieros de terminación de pozos diseñan los pozos con sistemas de auto-levantamiento artificial por gas

para incluir un diseño de terminación a través del casquete de gas o la zona de gas, que permite que el gas fluya hacia el interior de la tubería de producción. Los operadores controlan la tasa de flujo de gas con una *válvula de auto-levantamiento artificial por gas* diseñada específicamente con un área de flujo que puede ser ajustada desde la superficie.

Los operadores pueden utilizar un sistema de auto-levantamiento artificial por gas de la misma forma en que utilizarían un sistema más tradicional continuo o intermitente. Pero, como eliminan ciertos requerimientos de equipamiento, los sistemas de auto-levantamiento ofrecen una ventaja en términos de ahorro de capital y reducen el peso sobre las plataformas marinas porque eliminan la necesidad de contar con un compresor. Además, los sistemas de auto-levantamiento artificial por gas permiten al operador producir el gas asociado sin re-terminar el pozo. Y, dado que las aperturas de los orificios en las válvulas de los sistemas de auto-levantamiento artificial por gas pueden ser ajustadas en forma remota, los operadores pueden controlar las tasas de inyección de gas para dar cabida a los cambios registrados en la producción de fluidos de formación sin intervenciones.

### **Los argumentos a favor del levantamiento artificial por gas**

Los sistemas de levantamiento artificial por gas ofrecen diversas ventajas no disponibles en otros sistemas de levantamiento artificial. Las válvulas de levantamiento artificial por gas colocadas en mandriles de cavidad lateral pueden ser extraídas con facilidad y en forma económica y reemplazarse sin utilizar un equipo de remediación de pozos.

Los mandriles de cavidad lateral de los sistemas de levantamiento artificial por gas se sitúan de manera tal que las cavidades que contienen las válvulas se encuentran desplazadas con respecto a la línea central de la tubería de producción, lo que protege a las válvulas de levantamiento artificial por gas del flujo de fluidos y los sólidos. En consecuencia, la tecnología de levantamiento artificial por gas constituye una buena opción para los pozos fracturados hidráulicamente o los pozos terminados en formaciones no consolidadas que producen arena sistemáticamente. Los sistemas de levantamiento artificial por gas son aplicables en pozos de alto ángulo, baja productividad y alta RPG.

Los sistemas de levantamiento artificial por gas intermitentes también pueden operar con eficacia en pozos de baja productividad y baja presión. En consecuencia, para captar la producción final cuando la vida productiva de un pozo llega a su fin, los operadores pueden reemplazar los otros sistemas de levantamiento artificial por sistemas de levantamiento artificial por gas hasta que la presión de fondo de pozo se torne demasiado baja para extraer los volúmenes de fluido objetivo, punto en el cual los operadores habitualmente cambian los sistemas AL por sistemas de bombeo mecánico o sistemas eléctricos sumergibles.

El levantamiento artificial por gas es una técnica de levantamiento artificial importante. Si se dispone de una fuente de gas confiable, los sistemas de levantamiento artificial por gas, que son altamente fiables, flexibles y robustos, pueden operar durante toda la vida productiva del pozo. La capacidad para cambiar las válvulas permite a los operadores adaptarse a los cambios registrados en la producción a lo largo de toda la vida productiva del pozo. En consecuencia, a menudo, el levantamiento artificial por gas es el método de levantamiento artificial preferido en los pozos submarinos de aguas profundas en los que la operación continua en condiciones de alta presión y altas tasas de flujo resulta de crucial importancia.