

# MATRIZ DE SELECCIÓN DE COMPLETAMIENTOS MÚLTIPLES

## MATRIX OF MULTIPLE COMPLETIONS SELECTION

Alberto Ríos González\*  
Óscar Jiménez Ortiz\*\*  
Ángela Ximena Rincón\*\*\*

Recibido: 27 de noviembre de 2017

Aceptado: 16 de agosto de 2018

### Resumen

Las tecnologías desarrolladas para la administración de yacimientos en la industria del petróleo han permitido incrementar las reservas de las compañías operadoras. Algunas de estas tecnologías apuntan al desarrollo de yacimientos estratificados, ya que sus diferentes propiedades petrofísicas o sus restricciones para fluir en conjunto hacen muy poco rentable la producción del hidrocarburo de manera convencional. Por ello, la implementación de los completamientos múltiples (inteligentes, selectivos, duales, etc.) hace rentable la producción de varios yacimientos a través de un mismo pozo. Con el propósito de seleccionar pozos candidatos para obtener el máximo rendimiento se creó una matriz de selección de completamientos múltiples, la cual recomienda un tipo de completamiento con base en las respuestas a una serie de preguntas.

**Palabras clave:** matriz de selección, completamiento múltiple, estratos, yacimientos estratificados.

### Abstract

The technologies developed for reservoir management in the oil industry over time have allowed operating companies to increase their reserves. Some of these technologies are aimed at the development of stratified reservoirs, due to their differences in petrophysical properties or restrictions to flow together, it isn't profitable to produce them in a conventional way, so the implementation of multiple completions (intelligent, selective, dual, etc.) make the production of several reservoirs through the same well profitable. With the purpose of select candidate wells to obtain the maximum performance, a matrix of selection of multiple completions is created, which will give its recommendation based on the answers of a series of questions.

**Keywords:** matrix selection, multiple completion.

---

\* Ingeniero de petróleos, perforador direccional. Coinvestigador, grupo de investigación Nuevas Tecnologías de Perforación, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. alberto.rios@profesores.uamerica.edu.co

\*\* Estudiante de Ingeniería de Petróleos. Grupo de investigación Nuevas Tecnologías de Perforación, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. oscar.jimenez2@estudiantes.uamerica.edu.co

\*\*\* Estudiante de Ingeniería de Petróleos. Coinvestigador, grupo de investigación Nuevas Tecnologías de Perforación, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. angela.rincon2@estudiantes.uamerica.edu.co

## INTRODUCCIÓN

La implementación de completamientos que se adapten a las condiciones del pozo y permitan un incremento en la producción o inyección, tanto para recobro mejorado como para disposición, son cada vez más frecuentes, ya que integran herramientas que se diseñan según las necesidades especiales de cada campo.

Los yacimientos perforados en un mismo pozo se realizan con el objetivo de mejorar las condiciones de producción en el proceso de aislamiento de arenas, puesto que sus características (índice de inyectividad y tasa de flujo) difieren entre sí. Con la implementación de estos completamientos se puede reducir de costos e incrementar la rentabilidad de los proyectos, ya que surgen nuevas alternativas para administrar un yacimiento.

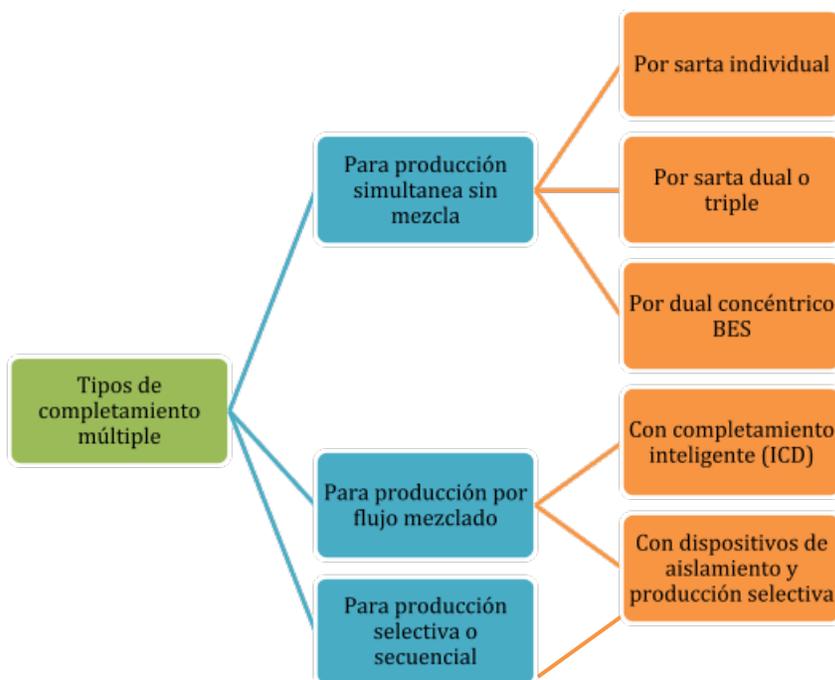
La matriz de selección de completamiento múltiple permite identificar pozos candidatos por medio de una serie de preguntas; según las respuestas, la matriz recomienda un tipo de completamiento, que tiene como base el estudio de variables, condiciones y parámetros que apliquen para cada caso.

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la matriz se realizó una revisión bibliográfica sobre nuevas herramientas implementadas y se recuperó información de empresas de completamiento y experiencias de campo. Esta información se analizó para identificar las variables determinantes en la selección y las condiciones de un pozo o yacimiento; factores que permiten postular un pozo como candidato para la instalación de un completamiento múltiple.

Teniendo en cuenta las referencias bibliográficas estudiadas, se identificaron tres variables fundamentales: yacimientos, condiciones mecánicas y requerimientos de usuario. De acuerdo con estas variables, se realizó una selección preliminar para aplicarla a un completamiento múltiple.

Las preguntas al usuario se basaron en el estudio de referencias bibliográficas, condiciones y variables; por su parte, las respuestas determinan el completamiento más apropiado para el pozo. Las preguntas están construidas con base en el esquema de diagrama de flujo, que posteriormente se programó en forma de cuestionario para ser incluido en una página web, y de esta forma generar confiabilidad y facilitar el acceso a la misma. Con la revisión bibliográfica no solo se formularon las preguntas, sino también se establecieron categorías y tipos de completamiento múltiple como alternativas a recomendar, las que se pueden observarse en la figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de la clasificación de los completamientos múltiples utilizada para la investigación.

A continuación, se presentan cada una de las categorías para las condiciones y variables mencionadas.

## Yacimiento

El seguimiento de las variables de yacimiento es un factor muy importante para el desarrollo del mismo, al igual que para la selección del tipo de completamiento. Se valoraron condiciones de yacimiento para la instalación de un completamiento múltiple, ya que sin ellas la instalación de este sistema de producción no representaría una opción rentable. La condición principal es que deben existir dos o más yacimientos con hidrocarburos en un mismo pozo y cuyos fluidos:

- No puedan mezclarse debido a regulaciones gubernamentales (véase, por ejemplo, lo establecido en Colombia en el Decreto 1895 de 1973)
- No permitan una producción simultánea de los yacimientos, debido a sus propiedades petrofísicas, de fluidos y su recobro primario.

La primera condición restringe la producción mezclada y está netamente ligada a formas de fiscalización del hidrocarburo en un determinado país, por ello esta decisión depende de la operadora. Para la segunda condición se estudiaron variables como la diferencia en índices de productividad, que a su vez está ligada a la permeabilidad respectiva de cada una de las capas. Se estableció que, debido a sus ambientes depositacionales, los yacimientos completamente aislados por una capa impermeable, la cual no permite el flujo de hidrocarburos detrás de la cara del pozo, son denominados yacimientos estratificados (Muñoz y Soto, 2008). Otro aspecto relevante es que estos hidrocarburos pudieron haber pertenecido a la misma roca madre, pero en el proceso de migración y maduración sus propiedades de fluido o su recobro primario cambiaron, por ende, todas las propiedades de fluido asociadas a estas variables son completamente diferentes.

A partir de información recuperada de los casos de campo, se estableció que al menos una división de 3 ft que presente continuidad en el yacimiento creará una barrera impermeable, siempre y cuando los cuerpos divididos almacenen hidrocarburo rentable.

Otro factor determinante es la diferencia de permeabilidades entre las arenas a producir. Esta diferencia de permeabilidades, al igual que el espesor de la zona aislante, varía acorde a la zona o al campo donde –según el criterio de la operadora– se determinará la máxima diferencia de permeabilidades en un pozo de dos arenas productoras. Para el caso de campo descrito anteriormente se presentó una diferencia de hasta 6 darcys entre las zonas (Jiménez y Rincón, 2017).

El problema de la diferencia entre propiedades de yacimiento y fluido se resuelve o mitiga por medio del diseño y selección de herramientas utilizadas en casos estudio tratados por documentos de investigación. En algunos casos, si hay presencia de zonas de crudo o gas apretado, se debe instalar válvulas de control binario (El-Sayed et ál., 2014). Debe considerarse que estos completamientos múltiples tienen ciertas restricciones, como en los completamientos duales, cuyo sistema de levantamiento no admite rangos mayores a 10 % de relación gas petróleo (Cabana y Zuluaga, 2016; Navas y Parada, 2012; Amaris y Castro, 2012).

Se examinó también la posibilidad de la instalación de sistemas inyectoros/productores, contemplando que existan dos zonas: una que produce por empuje hidráulico, en la cual sería muy probable una intrusión de agua que dejaría a la capa sin rentabilidad para seguir produciendo hidrocarburo, y otra con un empuje diferente al de la primera (expansión capa de gas o roca/fluido), que le permita tener sostenibilidad en la tasa de producción de aceite, para de esta forma convertir la primera zona con intrusión de agua en inyector y aislar la segunda zona para que siga produciendo aceite. Una consideración importante para la instalación de este tipo de completamiento dentro de los factores de yacimiento es la conectividad que se tenga de la zona en la que aumentó el corte de agua, ya que esta tiene presencia no solo en ese pozo, sino en todo el campo.

Considerando los anteriores parámetros y restricciones se realizaron las preguntas para ser integradas al diagrama de flujo y para la posterior decisión de instalación de un tipo de completamiento. Las preguntas planteadas respecto a las variables del yacimiento se presentan en el anexo 1 (rombos de color naranja).

## Mecánicas

Las condiciones mecánicas para la instalación de un completamiento múltiple en su mayoría están ligadas a las restricciones de las herramientas del ensamble, tales como empaques, tuberías concéntricas, etc. Según esto, se procedió a consultar fuentes de información de proveedores de herramientas (catálogos) e identificar restricciones mecánicas que presenten los diferentes tipos de completamiento múltiple, para establecer tres preguntas asociadas a las condiciones mecánicas del pozo, las cuales se integraron al diagrama de flujo y se describen a continuación.

La primera pregunta considera la geometría del pozo, ya que, de acuerdo con esta, existen restricciones para algunas de las opciones presentadas en la investigación (ver figura 1). Los completamientos de sartas duales o dual de bombeo electrosumergible (BES) están diseñados para pozos ligeramente desviados o pozos verticales (Amaris y Castro, 2012), a diferencia de los completamientos inteligentes o selectivos, los que pueden ser instalados en pozos *off-shore* de alcance extendido o multilaterales. Bajo esta premisa se planteó una pregunta para discriminar la aplicación de un tipo u otro.

Es importante considerar las restricciones que presentan las herramientas para completar el pozo; por ello, el espaciamiento entre las arenas para sarta selectiva, bien sea de producción o inyección, es un factor relevante, ya que sin el espaciamiento suficiente no se podrá instalar un compartimento aislado con el que se pueda evitar flujo cruzado entre zonas. Acorde a lo anterior, se planteó la segunda

pregunta, que parte del estudio de casos de campo en los que se utilizaron diversas herramientas de completamiento de diferentes empresas. En dichos casos se encontró una longitud mínima de componentes para un compartimento de inyección o de producción; teniendo en cuenta este criterio, se selecciona el tipo completamiento de inyección que puede ser selectivo o directo; este último no requiere de compartimentos de inyección preferencial, por lo tanto, no se requiere de espaciamiento entre arenas. El criterio anterior aplica también para completamiento de producción selectiva con camisas deslizantes.

Existe un criterio muy importante en la vida del pozo: su producción de arena; por lo tanto, se decidió que la tercera pregunta defina si el pozo la produce o no. Asimismo, se recomienda los tipos de completamiento múltiple que tienen control sobre esta; entre estos se encuentran los sistemas *gas lift* (CIED PDVSA, 1997) o completamientos con dispositivos controladores de flujo (Amer, 2016).

Con base en estas premisas provenientes de información de campo y documentos de investigación, se establecieron las preguntas acerca de restricciones o condiciones mecánicas, las cuales se muestran en el anexo 1 (rombos de color azul).

### Requerimientos del usuario

Para una apropiada selección se deben considerar los requerimientos del usuario en relación al objetivo del completamiento, ya que es él quien mejor conoce el comportamiento del pozo y tiene los conocimientos específicos de los pozos de su campo o de su zona.

Las preguntas se realizan, como se mencionó antes, con el objetivo de conocer las condiciones del campo o los planes destinados para el pozo, o para fundamentar la decisión en la matriz de selección. En esta sección se incluye la consideración ii planteada en el apartado de yacimiento, en la que se consulta si es posible producir de forma mezclada las zonas prospectas. Las preguntas están asociadas a los requerimientos del ingeniero, en cuanto a si desea realizar una evaluación independiente de las zonas, para lo cual se recomienda el completamiento con camisas deslizantes de producción (Jiménez y Rincón, 2017).

Otra pregunta referente al plan de desarrollo del pozo es si requiere futuras estimulaciones, ya que, de necesitarlas, existe actualmente en la industria un tipo de completamiento para tal fin (válvulas de manga deslizante). En esta sección se formulan preguntas muy puntuales para determinar los requerimientos del usuario en cuanto a la instalación de un completamiento múltiple.

### Desarrollo sistematizado

En la representación sistematizada de la matriz para la selección de los completamientos múltiples, se utilizó lenguaje de marcas de hipertexto (HTML, por sus siglas en inglés) y Java, al igual que programación asociada a páginas web.

De esta forma concluye la metodología de la investigación y los procedimientos realizados para la identificación de las variables y la clasificación y determinación de requerimientos, los cuales quedan representados en un diagrama de flujo para la toma de decisión (ver anexo 1).

## RESULTADOS

Como se evidenció en este estudio, la matriz de selección de completamiento múltiple permite identificar los pozos candidatos y el tipo de completamiento sugerido. Para poder acceder a la matriz de selección de completamientos múltiples, hay que dirigirse a la página web [www.mgcp.com.co](http://www.mgcp.com.co), ingresar usuario y contraseña, seleccionar el tema *completamientos múltiples* y la opción *matriz de selección*.

Al ingresar en la matriz, el usuario encuentra una serie de preguntas. Dependiendo de las respuestas se despliegan o no preguntas adicionales. Cuando el usuario ha respondido todas las preguntas que le atañen, en la parte inferior de la pantalla aparecerá la recomendación junto a una nota que indica condiciones especiales que caracterizan el completamiento múltiple.

El primer tipo de pregunta requiere llenar una casilla, y el segundo, elegir una opción de un listado, tal como se observa en la figura 2. De esta forma el usuario podrá realizar su consulta en la matriz de forma sistematizada y cómoda. En la parte final de la página aparece como resultado la recomendación del tipo de completamiento múltiple a instalar; si hace clic en el vínculo, el usuario será redirigido a otra página, donde encontrará una breve descripción, recomendaciones o restricciones del tipo de completamiento que se le ha recomendado.

## Matriz de Selección Completamientos Múltiples

La matriz de selección de completamiento múltiple permite identificar pozos candidatos por medio de una serie de preguntas que se encuentran a continuación y como resultado recomienda un tipo de completamiento.

¿Hay mas de una zona prospectiva en el pozo (inyección o producción)?

¿Hay una diferencia mayor de 6 Darcies entre las formaciones?  
 Considere que este parámetro es muy relativo, y no reemplaza ningún valor de campo, depende de la máxima diferencia de permeabilidades entre las formaciones productoras del campo.

¿Las capas productoras se encuentran divididas por barreras de muy baja permeabilidad de al menos 3 ft?  
 Se consideran discontinuidades, arcillas, shales o arenas de muy baja permeabilidad como barreras, considere también la continuidad de la barrera que permita que hayan dos estratos de diferentes características petrofísicas y de fluido a lo largo del yacimiento que no permitan que se crucen los fluidos detrás de la cara del pozo, el valor mínimo estimado para crear esa separación litológica es de 3 ft.

¿Acorde a las facilidades y la tasa de retorno es factible la instalación de un completamiento múltiple?

¿Una o mas capas productoras depletaron o entraron en irrupción de agua y gas?

Se definió tipo de pozo

Productor

¿Que tipo de pozo es con respecto a la geometría?

Vertical o Desviado

¿Requiere fiscalizar las zonas de forma simultanea e independiente?

¿Desea tener control de reservas y retrasar frentes de agua de forma simultanea en todas las zonas?

---

### Recomendaciones

- [Instalar completamiento SSD.](#)

**Figura 2.** Captura de pantalla de página web de la matriz de selección de completamientos múltiples, en la que se muestran las preguntas realizadas (parte superior) y recomendación(s) (parte inferior).

Inicialmente, aparecerán seleccionadas las primeras cuatro preguntas, ya que son un requerimiento básico para que un completamiento múltiple pueda ser instalado; si alguna de estas no es seleccionada, no se podrá acceder a las siguientes preguntas y la matriz dará como resultado final la recomendación de no instalar un completamiento múltiple.

Una vez que las cuatro primeras preguntas se encuentren marcadas, la matriz prosigue con cinco preguntas adicionales, cuyas respuestas habilitarán o deshabilitarán otras preguntas. Simultáneamente, la matriz generará la recomendación correspondiente a las respuestas ingresadas.

Cabe resaltar que algunas preguntas de la matriz van acompañadas de las consideraciones que se tuvieron en cuenta para su formulación, las cuales se visualizan justo debajo.

Una vez recomendado un completamiento múltiple, la matriz dará, junto con el resultado, una serie de recomendaciones que podrán visualizarse en la misma pantalla.

El usuario podrá visualizar una breve descripción y una imagen del completamiento múltiple haciendo clic en el enlace que presenta la recomendación.

Esta es la descripción de los pasos de uso la matriz y de acceso a todas sus aplicaciones. Adicionalmente, en la pestaña de completamientos múltiples hay otra pestaña llamada *manual del usuario*, en la que se puede visualizar un video acerca del uso y funcionamiento de la herramienta.

## DISCUSIÓN

La matriz para la selección de un completamiento múltiple presentada en este artículo se basa en la identificación de parámetros y condiciones y en el análisis de los mismos. Según el análisis de la literatura, este modelo no se había desarrollado antes, por lo menos, no de una forma que abarcara las diferentes condiciones que convierten a un pozo en candidato para la selección de este tipo de completamiento. No obstante, la matriz representa el estudio de las variables a grandes rasgos; igualmente, su uso está restringido a yacimientos que presentan discontinuidades en la estratificación.

Cabe resaltar que si bien la matriz cuenta con un sustento técnico sólido, también se realizó con base en información de campo, por lo cual su precisión puede variar dependiendo de los campos o cuencas y sus diferentes propiedades o condiciones.

Otro aspecto importante a señalar en la instalación de este tipo de completamientos es la alta inversión que estos requieren, ya que en la mayoría de los casos no solo sus herramientas, sino también su mantenimiento (en especial, el de las nuevas tecnologías desarrolladas en el área de completamientos inteligentes que administran el flujo de entrada al yacimiento), suelen ser bastante costosos, por lo que las empresas realizan un estudio de factibilidad considerando las reservas que aún se encuentran sin explotar.

Estos aspectos no son tratados en la matriz de selección, ya que realizar una evaluación financiera para cada caso implica tener un conocimiento profundo, tanto en prospectividad del yacimiento, como del presupuesto designado por el administrador activo.

A pesar de las limitantes presentadas, la matriz de selección representa un avance importante en materia de análisis de este tipo de completamientos, ya que ofrece una recomendación válida que permite el desarrollo del potencial del pozo y según las necesidades y respuestas del usuario.

Existen diferentes tipos de completamiento múltiple en la industria, la mayoría de ellos son considerados como opción en la matriz; sin embargo, cada tipo de completamiento requiere un diseño especial y acorde con los requerimientos y necesidades del pozo, bien sean condiciones de fluidos o restricciones mecánicas específicas de *casing* o de *liner* que no pudieran permitir instalar un tipo en particular de completamiento múltiple.

Para futuros desarrollos, se recomienda la adopción o seguimiento de un caso de estudio específico que incorpore análisis de compatibilidad de fluido con las herramientas utilizadas en el completamiento (en el caso de completamientos inteligentes).

Se sugiere realizar análisis nodal para cada una de las zonas, con el que se calcula la cantidad de aporte de cada una y determina el diferencial óptimo que permita la producción de dos o más zonas sin generar flujo cruzado. De esta manera se administran adecuadamente las reservas del yacimiento, como sucede en el caso de manejo de frentes de agua, en el que es muy común ver instalado un completamiento inteligente con válvulas internas controladoras, con el cual se puede regular y administrar el flujo independiente de las zonas, evitando aquellas que presenten alto corte de agua y dándole prioridad a las de aceite.

## REFERENCIAS

- Amaris, J., y Castro, L. (2012). *Estudio de viabilidad para la implementación del completamiento dual concéntrico con bombeo electrosumergible en los pozos A y B del Campo Castilla* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería de Petróleos, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Amer, A. (2016, abril). Toward improving reservoir management practices in naturally fractured carbonate reservoirs using adjustable inflow control devices. En *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*. Simposio llevado a cabo en Dammam, Arabia Saudita.
- Cabana, L., y Zuluaga, J. (2016). *Evaluación técnico-financiera del completamiento dual para un pozo tipo del bloque Cubiro* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería de Petróleos, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Centro Internacional de Educación y Desarrollo Filial de Petróleos de Venezuela S. A. (1997). *Completación y reacondicionamientos de pozos*. Caracas: CIED PDVSA.
- Hajjar, H., y Al-Azizi, B. (2016, enero). Use of sliding sleeve valves in long lateral for control of production, injection and stimulation completion. En *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*. Simposio llevado a cabo en Abu Dabi, Emiratos Arabes. doi: 10.2118/178162-MS
- Jiménez, Ó., y Rincón, Á. (2017). *Diseño del módulo de completamientos múltiples del manual general de completamiento de pozos de Ecopetrol S. A.* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería de Petróleos, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Muñoz, S., y Soto, C. (2008). *Desarrollo de una metodología para cuantificar y estimar la distribución de la saturación de petróleo remanente en yacimientos estratigráficamente complejos durante el periodo de producción primaria* (tesis de maestría). Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Decreto 1895 de 1973. *Por la cual se dictan normas sobre la explotación de petróleo y gas*. Diario Oficial 33.951, 17 de octubre de 1973.
- El-Sayed, M., Al Mutairi, A., Hassane, M., Kutty, S., Karrani, S., y Kurian, A. (2014, 13 de noviembre) Three-zone commingled and controlled production using intelligent well completion. En *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. Simposio llevado a cabo en Abu Dabi, Emiratos Árabes. doi: 10.2118/172166-MS
- Navas, F., y Parada, O. (2012). *Evaluación técnico-financiera de la viabilidad para la implementación de un sistema de completamiento dual en un pozo candidato del Campo Costayaco en la cuenca del Putumayo* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería de Petróleos, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.

Anexo 1. Diagrama de flujo para matriz de selección

