

# PALABRA VERDADERA

*Aportes y Realidades de la Industria Venezolana de los Hidrocarburos  
Dr. Martín Essenfeld Yahr - Prof. Miguel Castillejo*



Macolla de pozos en FPO. Fuente: bnamericas.com

## DECISIONES DE ESPACIADO: TEORÍA VERSUS REALIDADES OPERACIONALES

*Dr. Martín Essenfeld Yahr*

### Introducción

Desde el inicio de la historia de la explotación de los hidrocarburos, con el primer yacimiento descubierto, surgieron de inmediato las preguntas que hasta el día de hoy se deben hacer y se hacen los respectivos operadores: cuántos pozos se requieren para drenar efectivamente el yacimiento; cuando se deben perforar más pozos y a qué ritmo; cuando dejan los pozos nuevos a perforarse de “agregar valor” al activo completo denominado yacimiento; hay algún efecto entre el espaciado elegido y el recobro final anticipado; qué efecto tiene el ritmo de perforación y/o el número de pozos activos sobre la utilización adecuada en el tiempo de las instalaciones de superficie requeridas para manejar la producción; y algunas otras más que dejaremos por fuera en esta discusión.



Conceptualmente, si para un yacimiento específico, el espaciado a utilizarse (otra manera de decir el número de pozos a utilizarse) no incide sobre el recobro final a lograrse sobre el volumen de POES a ser drenado, **en teoría la pregunta de espaciado pasa a ser estrictamente económica**, y el problema planteado pasa a ser de “aceleración de producción”. Esta última aseveración obvia el aspecto operacional (con implicaciones económicas) de que cualquier decisión que se tome sobre el número de pozos activos y la tasa consolidada de producción del yacimiento afectará directamente el requerimiento y uso extendido de las instalaciones de superficie asociadas al nivel de producción anticipado.

Uno de los mejores resúmenes históricos sobre la evolución del tratamiento del tema de espaciado corresponde a Frick, en la Referencia [1] Petroleum Production Handbook Vol 2. Allí ya se hace evidente el peligro de “sobresimplificar” el análisis, no reconocer su naturaleza multivariable, así como la necesidad de analizar caso a caso el yacimiento **antes de hacer generalizaciones alejadas de la realidad operacional**.

Con estos antecedentes históricos, indicamos que ha habido una participación importante de la Ingeniería de Petróleo Venezolana en la discusión y decisiones sobre el tema de “espaciamiento” tanto a nivel del país como a nivel internacional.

## La historia en Venezuela

En los Estados Unidos, históricamente se había usado un espaciado de 40 acres, equivalente a que cada pozo drenara un cuadrado de unos 400 metros por lado. En algunos estados de los mismos Estados Unidos, las Comisiones Regulatorias estipulaban un espaciado mínimo de 80 acres (560 metros por lado).

En Venezuela, las autoridades del Ministerio primero de Minas e Hidrocarburos, y luego de Energía y Minas, establecieron “mallas de ubicación de localizaciones” para las distintas áreas, utilizando una distancia mínima entre pozos del orden de 600 metros (lo que equivale a decir un área de drenaje por pozo de unos 90 acres).

Sin embargo, desde que el Ministerio estableció la “malla de localizaciones”, siempre estuvo abierto a los planteamientos caso a caso que justificaran técnicamente la necesidad, utilidad y conveniencia (para casos específicos) de que se **autorizara en cualquier yacimiento específico** un espaciado

distinto. Pero, la postura de las autoridades siempre fue la misma: **La autorización era contingente a que se demostrara inequívocamente que la disminución del espaciado no derivaría en un efecto negativo sobre los estimados de recobro final para el yacimiento específico, sino generalmente que lo incrementara.**

Así, aunque por muchísimos años se dijo y publicó que el recobro final de un yacimiento era independiente de la tasa del yacimiento, y por tanto del número total de pozos y de su tasa individual, todos los que así opinaron reconocían que ello dependía de las características particulares de cada yacimiento en lo que se refería a heterogeneidad, propiedades de los fluidos por diferencias estructurales, y un amplio conjunto de razones que aquí no mencionaremos.

En resumen, se llevaba el asunto del espaciado a un tema económico de optimización del valor neto presente de un flujo de caja descontado. Se recomendaba entonces perforar todos los pozos que fueran necesarios, hasta que la inversión incremental no agregara valor presente neto al desarrollo. Es decir en un gráfico de VPN versus número de pozos, el valor óptimo elegido debía corresponder al número de pozos que llevara al máximo VPN del Plan de Producción.

**egep**  
CONSULTORES

**CREANDO VALOR  
DESDE SU PROPÓSITO**

## La Ingeniería Venezolana y su participación

Antes de 1990, uno de los primeros trabajos publicados en Venezuela sobre el valor o conveniencia de la perforación interespaciada (léase pozos con espaciado menor al de la retícula general) fue presentado por Tomás Mata como Trabajo Especial de Grado por reválida en la Universidad Central de Venezuela (Referencia [2]).

A nivel internacional, Richard Corrie publicó en 2001 el trabajo “Analytical Solution to Estimate the Optimum Number of Wells to Achieve Maximum Economical Return” (Referencia [3]). En Marzo 2019, el mismo venezolano Corrie publicó sobre el tema en el Foro de Yacimientos de la Sociedad de Ingenieros de Petróleo a nivel mundial. De allí se extrae la Figura 1 que se incluye en esta nota.

De ese trabajo de nivel internacional de Corrie, sin menoscabo de su valor y reconociendo que el autor indica su uso “de no haber otra opción”, se resaltan las suposiciones (ver Ecuación 1) sobre valor de recobro final prefijado, representación unidimensional del yacimiento, comunicación hidráulica, tasa-tipo por pozo, declinación exponencial, precios netos etc. **Todas limitantes con respecto a los casos reales en la naturaleza.**

Precisamente, otros ingenieros también venezolanos, han publicado casos que han ameritado un tratamiento mucho menos “genérico” de la explotación, donde privan condiciones específicas de heterogeneidad de la roca, avances irregulares de los fluidos (agua y gas libre), y los efectos geométricos (areales y volumétricos) que afectan la decisión del espaciado.

En todos los trabajos con el enfoque de “análisis económico” se observa poca o ninguna consideración del efecto de la tasa (léase número de pozos) sobre la utilización de las instalaciones superficiales durante la meseta de tasa y su duración en el tiempo, especialmente si se trata de instalaciones totalmente nuevas o expansión de instalaciones existentes.

En el caso de crudos extra-pesados como en la Faja del Orinoco, el tema de espaciado adquiere una importancia especial. Aquí, el advenimiento y utilización de pozos con geometrías novedosas (espina de pescado en varios niveles verticales y diferentes orientaciones areales) incide sobre las consideraciones tradicionales. Sobre este último tema, el

también venezolano ingeniero de petróleo de la UCV Rolando García ha realizado trabajos de análisis de resultados de campo que se publicarán a futuro en esta misma serie de PALABRA VERDADERA.

Es de interés resaltar que el mismo venezolano Richard Corrie, publicó en Mayo 2010 en el mismo Foro Internacional de la SPE mundial la propuesta de abrir la discusión sobre “Donde Perforar el Primer Pozo de un Prospecto Exploratorio”. De nuevo, si ese pozo es exitoso, la discusión de la estrategia de desarrollo pasa de inmediato a los criterios de espaciado.

Antes de cerrar esta revisión, es de justicia reconocer el papel que históricamente jugaron los Ingenieros Venezolanos de la División de Reservas del Ministerio de Energía y Minas en la fijación de los espaciados permisibles en cada región. Primero desarrollaron los Mapas de Localizaciones a 600 metros. Luego ajustaron dicha malla o retícula para áreas con yacimientos de crudo extrapesado. Finalmente, tuvieron la profundidad técnica para reconocer, para yacimientos individuales, las situaciones específicas que ameritaban la perforación de pozos “fuera de la malla oficial de localizaciones” o a espaciados menores, para lograr los barridos que mejoraran el recobro final en cada caso. En este grupo destacan Gustavo Sorondo y los demás Ingenieros de la División de Reservas del MEM.

## Palabra Verdadera

**Encuentra todos los volúmenes aquí**

<http://egepconsultores.com>

## Otros criterios para la certificación de reservas

Para la gran mayoría de las empresas productoras de hidrocarburos, por no decir todas, la clasificación y certificación de sus reservas en libros es imperativa tanto dentro del país en el que operen como en el país donde se cotizan sus acciones en el caso de empresas con accionariado público, sometido a las regulaciones de las Bolsas y Mercados (USA, Canadá, Europa etc). Los conceptos utilizados generalmente son bastante claros: volumen descubierto, pozos de avanzada, pozos delineatorios, pozos de desarrollo, reservas probadas, desarrolladas, y dentro de esas reservas probadas **la fracción producible y la fracción no-producible**.

Otra vez, para diferenciar entre los volúmenes producibles y no-producibles, la importancia del tema es evidente: Es el espaciado requerido el que dictará el número mínimo de pozos (espaciado máximo) que se requiere disponer para su explotación en tiempo razonable. Una vez reconocido el factor tiempo y las instalaciones requeridas en diferentes escenarios, la optimización económica de la decisión es fundamental.

## Conclusión y Corolario

De la discusión que antecede debe quedar clara la contribución que han realizado los ingenieros venezolanos de petróleo sobre el tema de espaciado, mapas de localizaciones disponibles y modificaciones a los mismos, especialmente al iniciar la explotación de la Faja Petrolífera del Orinoco.

Una vez más, esta serie de documentos de PALABRA VERDADERA, deja documentada, para nuestros jóvenes profesionales del futuro, qué se hizo en el pasado, como se hizo y quién lo hizo, a nivel nacional e internacional. Lo que no se deja escrito se lo lleva el tiempo y el olvido. En ese caso ¿Qué queda de referencia? dicen los veteranos: “el que no sabe de dónde viene, no sabe hacia dónde va, y generalmente repite los errores del pasado”.

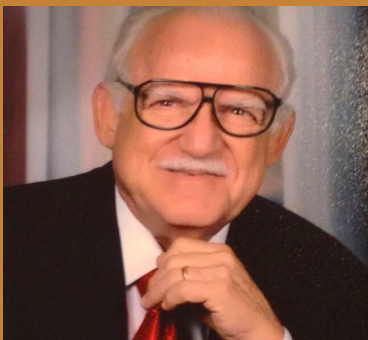
Si se puede, es mejor evitar esos errores ya cometidos, y aprovechar los éxitos que esos venezolanos ya lograron.

## Desde La Escuela De Petróleo - UCV

El tema tratado en esta Capsula de PALABRA VERDADERA ilustra de manera clara la contribución que han realizado en el tiempo los Ingenieros de Petróleo Venezolanos al desarrollo a la discusión nacional e internacional del delicado tema de espaciado. Decimos delicado, ya que ciertamente es un tema que muchas veces enfrenta a los operadores con los entes reguladores.

Ello obedece a que la primera prioridad de los reguladores generalmente es “proteger el recobro final esperado de los yacimientos”, dejando los criterios de beneficio económico en un segundo plano.

Dicho de otra manera, si la reducción de espaciado no es absolutamente necesaria para pasar los umbrales económicos mínimos, los entes reguladores generalmente lo consideran un “proyecto financiero” de aceleración de producción con el sólo objetivo de mejorar el valor presente de la producción final prevista, sin mejorar el recobro, lo cual a sus ojos no representa un beneficio para el Estado.



Dr. Martín Essinfeld Yahr, CEO de EGEP Consultores

Graduado Summa Cum Laude en 1966 de la Universidad Estatal de Pennsylvania, EE. UU.  
Con un B.S. en Ingeniería de Petróleo y Gas Natural y un Doctorado en Ingeniería de Petróleo y Gas Natural en 1970.

Luego de trabajar en Mobil, en 1972 funda Egep Consultores y hasta la fecha ha sido un referente internacional en el área de la producción de petróleo y gas, realizando miles de proyectos para operadoras como Shell, Exxon, PDVSA y compañías en todas partes del mundo.

### Ecuación Simplificada para Estimar Número de Pozos que Maximizan el Valor Presente Neto de la Producción Final Estimada – Tomado de la Referencia [3]

De no tener otra opción disponible para estimar el número de pozos, recomendaba utilizar la ecuación presentada en dicho trabajo:

$$W_o = \frac{N_p \left\{ \left[ 365 \cdot Q \cdot V \cdot C \cdot \ln(1+i) \right]^{0.5} - \ln(1+i) \cdot C \right\}}{(365 \cdot Q \cdot C)}$$

donde:

$W_o$  es el número óptimo de pozos para lograr máximo valor presente neto del proyecto

$N_p$  es la producción total acumulada, en barriles

$i$  es la tasa de descuento, en fracción

$C$  es el valor presente neto de la inversión después de impuesto, en US\$ por pozo

$Q$  es la tasa inicial de producción, en barriles por día por pozo

$V$  es el precio del petróleo neto a boca de pozo después de impuesto, en US\$/barril

La ecuación tiene como función objetivo el máximo valor presente neto (NPV) del desarrollo del campo en función del número pozos:

$$NPV_{(W_o)} = \{365 \cdot W_o \cdot Q \cdot V [(365 \cdot W_o \cdot Q / N_p) + \ln(1+i)]\} - C \cdot W_o - Z$$

donde:

$NPV_{(W_o)}$  es el máximo valor presente neto con el número óptimo de pozos, en US\$

$Z$  es el NPV de las inversiones no-dependiente del número de pozos después de impuesto, en US\$

y supone que el yacimiento es homogéneo, totalmente interconectado, se comporta como una unidad hidráulica (dimensión cero), que los pozos tienen la misma tasa de producción inicial y todos declinan exponencialmente. Es un modelo económico (no físico) que equilibra la tasa de producción del yacimiento con el número de pozos asumiendo una producción total acumulada fija.

Aun en el caso de que se mantuviere el recobro final, sin mejorarlo, la posición del Estado no sería razonable si los precios son estables o disminuyen en el tiempo, ya que el incremento de producción elevaría los impuestos correspondientes. Por el contrario, esa posición negativa del Estado sería razonable si se prevé un incremento de los precios en el mercado, ya que con mayores precios a futuro, acelerar la producción no haría sentido.

En cualquier caso, y aparte de esta discusión de “objetivos financieros”, lo más frecuente es que se piense que la reducción de espaciado no mejora el recobro final.

Los trabajos presentados en esta misma serie de PALABRA VERDADERA confirman que hay una serie de casos donde la reducción de espaciado **si incrementa el barrido y el recobro**, aunque hay aspectos de optimización operacional de instalaciones que podrían incidir negativamente y disminuir el atractivo de la decisión

Cabe resaltar que el Prof. Richard Corrie, estudioso del tema, fue Director de la Escuela de Petróleo, además de Profesor por varios años, y guió muchos de nuestros estudiantes en tesis y pasantías sobre el tema. La Escuela de Petróleo se siente orgullosa de su aporte al desarrollo de este tema a nivel nacional e internacional.

Prof. Miguel Castillejo  
Director  
Escuela de Ingeniería de  
Petróleo UCV  
Mayo -2021



#### Referencias

[1] T. C. Frick y R. W. Taylor, Edits., PETROLEUM PRODUCTION HANDBOOK, vol. II, McGraw-Hill Book Company, 1962.

[2] T. Mata, «Trabajo Especial de Grado para reválida como Ingeniero de Petróleo,» Caracas, 1994.

[3] Corrie Matos Richard. SPE 71431. “An Analytical Solution to Estimate the Optimum Number of Development Wells to Achieve Maximum conomical Return” Octubre 2001



### Prof. Miguel Castillejo, Director, Escuela de Petróleo UCV

Graduado en la Universidad Central de Venezuela de Ingeniero de Minas en 1981. Ha ocupado varios cargos Directivos dentro de la Institución. En la actualidad se desempeña como Profesor Titular y Director de la Escuela de Ingeniería de Petróleo, dedicado principalmente a la Geomecánica Minera, Petrolera y Civil. También es Coordinador del Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela de Geología Minas y Geofísica, es asesor de estudiantes en Tesis de grado y Postgrado, así como en el desarrollo de proyectos de Geomecánica en Obras Civiles de gran importancia para el país.

miguel.castillejo@ucv.ve