

# Diseño optimizado de fracturas hidráulicas en el Yacimiento 25 de Mayo Medanito, Jagüel de los Machos

Por *Miguel Porollan* y *Daniel Yochcaff*  
(Petrobras S.A.)

En las operaciones de terminación y reparación de pozos en el Yacimiento 25 de Mayo - Medanito Jagüel de los Machos, los principales costos están asociados a las entre 15 y 25 fracturas mensuales que se realizan. El objetivo de este trabajo es el de analizar operaciones realizadas y definir criterios de optimización, con el fin de emplearlos en operaciones futuras.



evaluar el efecto del mismo. Los caudales empleados son relativamente altos. En caso de ser necesario, se incrementa la viscosidad al fluido de fractura.

- Programa de operación:

Prueba de Admisión – Bombeo DFIT: se realiza un bombeo DFIT con el objetivo de estimar la presión de reservorio. Además del análisis de la Función G, se estima el mecanismo de *leak off* presente. En la mayoría de los casos se bombea un volumen de ácido de cabecera para limpieza de punzados, y se realiza, además, una prueba de admisión con un *Step Down Rate Test*, con el objetivo de evaluar las fricciones por tortuosidad y en punzados. En base a la misma se puede definir el bombeo de un *slug* de arena o sílice, o bien bombear una píldora erosiva en el colchón de la fractura. En la figura 4 se muestra el árbol de decisiones empleado actualmente.

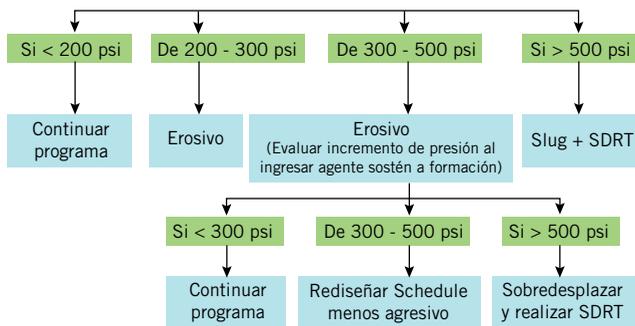


Figura 4. Análisis de fricciones por tortuosidad.

- Fractura hidráulica: De acuerdo a los análisis de las pruebas de admisión realizadas, se puede modificar el diseño de la fractura original. Para el caso donde por antecedentes de la zona existen muchas probabilidades de encontrarnos con fricciones elevadas, se considera realizar la fractura hidráulica por *tubing*, con equipo de *work-over*, para disponer de mayor margen de presión de trabajo, poder evaluar con mayor precisión la acción de los *slugs* o de cada cambio de concentración de agente de sostén al llegar a los punzados, así en tiempo real realizar cambios en el diseño si fuera preciso.

## Estadística de operaciones

La figura 5 es un gráfico estadístico que muestra la evolución de algunos parámetros de fractura en la Formación Choiyoi en los últimos cinco años: cantidad de fracturas mensuales; porcentaje de fracturas con arenamiento prematuro mensual; tamaño de fractura medido en bolsas por metro bruto, volumen de agua inyectado cada 100 bolsas; etcétera. Estos valores son promedios mensuales. Se observa que, con el tiempo, el tamaño de fractura se ha ido incrementando, en tanto que los volúmenes de agua inyectada han ido disminuyendo, con los beneficios asociados. Este volumen de agua por bolsa de arena Vol Iny/100 bolsas es un indicador que refleja un mejor empleo de los *slugs* de arena definidos en el Árbol de Decisiones a Partir de *Step Down Rate Test*; además, es indicador de los porcen-

tajes de colchón empleado, nivel de agresividad de la rampa o escalón de concentraciones de arena o concentraciones máximas. Esta disminución con el tiempo, acompañada de una disminución de los porcentajes de arenamiento mensual, fundamentalmente en los últimos meses, indica una optimización de las operaciones de fractura.

## Evaluación y optimización de fracturas hidráulicas

Para nuestro caso, siendo que las modalidades de las operaciones ya están en cierto grado definidas de acuerdo a lo que se discutió en los puntos anteriores, el trabajo de optimización se refiere fundamentalmente a definir los tamaños de fractura más adecuados. Para evaluar esto, se adopta un criterio económico; en nuestro caso, se considera al Valor Presente Neto, el cual permite estimar los tamaños de fractura óptimos, para cada condición de reservorio.

El primer paso en la optimización de las fracturas hidráulicas es la evaluación de las operaciones ya realizadas. Para ello, se emplean diferentes herramientas que permiten estimar la geometría de la fractura realizada:

- Análisis de las fracturas hidráulicas por ajuste de presiones netas:** para ello, se compara la evolución de la Presión Neta Observada (resultado de la diferencia entre la presión en la fractura registrada o calculada a partir de los registros de la operación y la presión de cierre de la formación), y la Presión Neta del Modelo que considera el *software* de simulación de fractura empleado.
- Ensayos de presión:** permite estimar parámetros de reservorio y de la geometría de fractura. De todas maneras, esta información no se dispone usualmente. En algunos casos se dispone de ensayos de presión pre-fractura, el que permite estimar el valor de  $k$  o  $k_h$  con precisión. Luego, con análisis de producción, conociendo el valor de  $k$ , se estima con mayor exactitud los parámetros de la geometría de fractura.
- Análisis de producción:** Partiendo de datos de producción, y con empleo de *software* que genera soluciones analíticas o numéricas, con modelos de Geometrías de Fractura, Reservorios y Límite, se puede estimar con cierto grado de precisión una longitud y conductividad de fractura, además de un valor de  $k_h$ . En el yacimiento, la mayoría de pozos produce varios intervalos en conjunto, por lo que este análisis se complica. Se dispone de pozos que han producido durante un tiempo adecuado de una sola formación, lo que ha permitido analizarlos y llegar a conclusiones para diferentes tipos de condición de reservorio.
- Perfiles especiales:** ej Xmac: permite estimar la altura de fractura empaquetada.

No se dispone de trabajos de microsísmica, que podrían brindarnos un panorama del grado de complejidad de la fractura; es decir, si es *planar* o es compleja por la interacción con fisuras naturales, heterogeneidades, generación de múltiples fracturas en el NearWellbore, etcétera. Además, nos daría una estimación de longitud creada. De todas maneras, se dispone de indicios de que la geometría

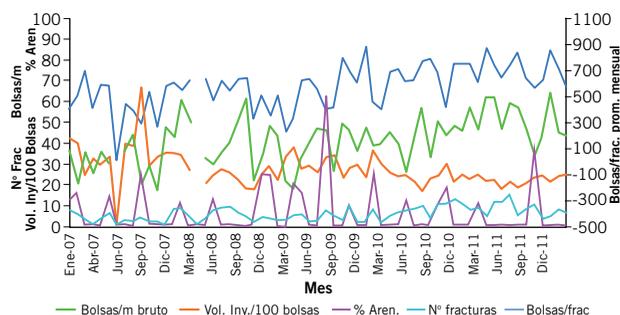


Figura 5. Evolución de algunos parámetros de fractura en la formación Choiyoi.

introducción de parámetros económicos, ya que se tiene un ingreso económico correspondiente a la producción, y costos asociados, se puede definir la fractura óptima. Esto se hace para distintos tipos de roca, por lo que se pueden definir parámetros generales a la hora de realizar el diseño de una nueva operación de fractura.

A continuación, se describen ejemplos de los análisis realizados para distintas condiciones de la formación, que son definidas con apoyo de Reservorios y Geología. Además, cabe indicar que en la mayoría de los casos, la calidad de reservorio se puede representar por algunos de los siguientes tipos:

tría de la fractura, en esta formación al menos, en algunos casos puede ser compleja:

- Del análisis de fracturas realizadas:
  - La evolución de la Función G muestra en muchos casos mecanismo de Pressure Dependent Leakoff, característico de formaciones con fisuras naturales.
  - Por ajuste de presiones netas, se pueden tener varias soluciones para llegar a un buen “matching”. Empleando un simulador de fractura 3D, se puede trabajar sobre el modelo empleado con el fin de tener en cuenta geometrías con cierto grado de complejidad. De esta manera, se ha podido obtener buenos ajustes considerando múltiples fracturas, empleando parámetros del modelo coherentes.
- De los análisis de producción, la longitud de fractura efectiva se corresponde con la obtenida por ajuste de presiones netas, en general, cuando en el modelo del simulador se consideran múltiples fracturas.

Trabajando en conjunto con las herramientas descritas, se ha podido estimar geometrías de fractura efectivas, y calibrar al modelo empleado por el simulador de fractura 3D.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de variables involucradas, ya sea propiedades mecánicas, de reservorio, fluidos de reservorio, etcétera, el objetivo fundamental de esta evaluación es la de asociar la producción correspondiente a la formación con la operación de fractura realizada. Cuando se tiene esta correspondencia, y con los modelos de simuladores de fractura y de reservorio ajustados, se realiza un análisis de sensibilidad para otros tamaños de fractura, modalidades de operación, fluidos, etcétera. Finalmente, con la

FLEXIBILIDAD |  
RESPALDO |  
EXPERIENCIA |

[www.edvsa.com](http://www.edvsa.com)

La respuesta necesaria para el éxito de nuestros clientes en sus grandes proyectos de ingeniería, construcción y servicios.

◀ NEUQUÉN	◀ SAN JUAN
◀ COMODORO RIVADAVIA	◀ LAS HERAS
◀ RÍO GALLEGOS	◀ RÍO GRANDE

### Pozos con buena calidad de reservorio, elevada permeabilidad

Para estos casos, asociado a la presencia de gran cantidad de fisuras, y que implica pérdida de fluido elevada, lo que se busca es una fractura relativamente corta y de buen ancho para sobrepasar al daño que hubiera resultado durante la perforación o completación.

### Pozo con buena calidad de reservorio, permeabilidad moderada

A continuación, se muestra el análisis realizado a un pozo de buena calidad de reservorio. Este pozo produjo de un solo intervalo durante un tiempo elevado; por las condiciones del mismo, se puede considerar como un pozo tipo para la calidad de reservorio correspondiente.

**Análisis de producción:** el software empleado permite definir parámetros de modelos de pozo con fractura vertical en reservorio homogéneo o de doble porosidad con límite cerrado (ver figura 6).

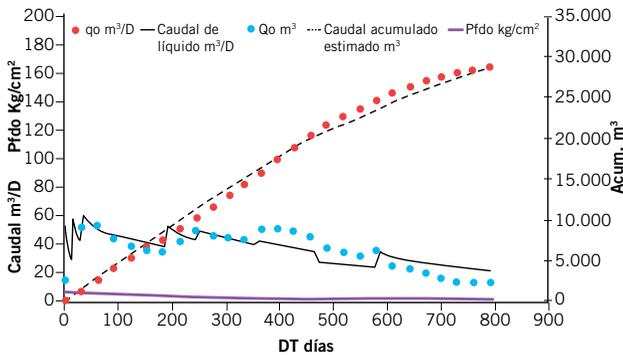


Figura 6. Análisis de producción.

**Análisis de sensibilidad:** Con el modelo de simulación ajustado, se realiza el análisis de sensibilidad considerando distintos tamaños de fractura (ver figura 7).

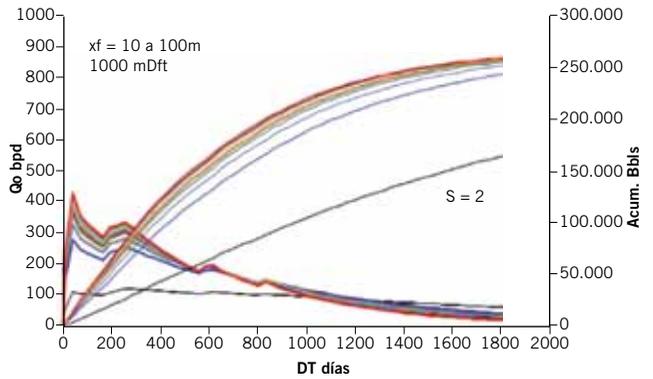


Figura 7. Análisis de sensibilidad con Xf.

**Análisis de fractura realizada:** Se realiza un ajuste de presiones netas; este análisis permite ajustar las propiedades mecánicas de reservorio y de fluidos de reservorio del modelo del simulador 3D, a fin de que las Pnetas ( $P_{frac-Pcierre}$ ) calculadas por el modelo sean iguales a las reales. Se realiza además un DFIT que permite, entre otros, estimar la presión de reservorio, determinar la evolución de la Función "G", y observar el mecanismo de *Leakoff* correspondiente a *Pressure Dependent Leakoff* asociado a fisuras naturales. En la figura 8 se muestra el gráfico correspondiente a la evolución de la Función G y a los ajustes de prueba de admisión y fractura hidráulica.

**Análisis de sensibilidad con simulador de fractura:** Una vez calibrado el simulador de fractura con el análisis de producción, se realizan corridas, variando la cantidad de bolsas de agente de sostén, estimando la geometría de fractura para cada caso (ver figura 9).

**Análisis económico:** Para cada alternativa de tamaño, diseño, etcétera, se asocia una curva de producción, y con los costos correspondientes se pueden evaluar cada una de ellas económicamente. En nuestro caso, utilizamos

# M MARTELLI ABOGADOS

Sarmiento 1230, piso 9, C1041AAZ, Buenos Aires, Argentina  
Tel +54 11 4132 4132 - Fax +54 11 4132 4101  
info@martelliabogados.com www.martelliabogados.com

EMPRESA NEUQUINA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA



25 años al servicio de nuestros clientes



- Operación y Mantenimiento
- Planificación e Inspección
- Laboratorio de Metrología
- Mediciones Ambientales

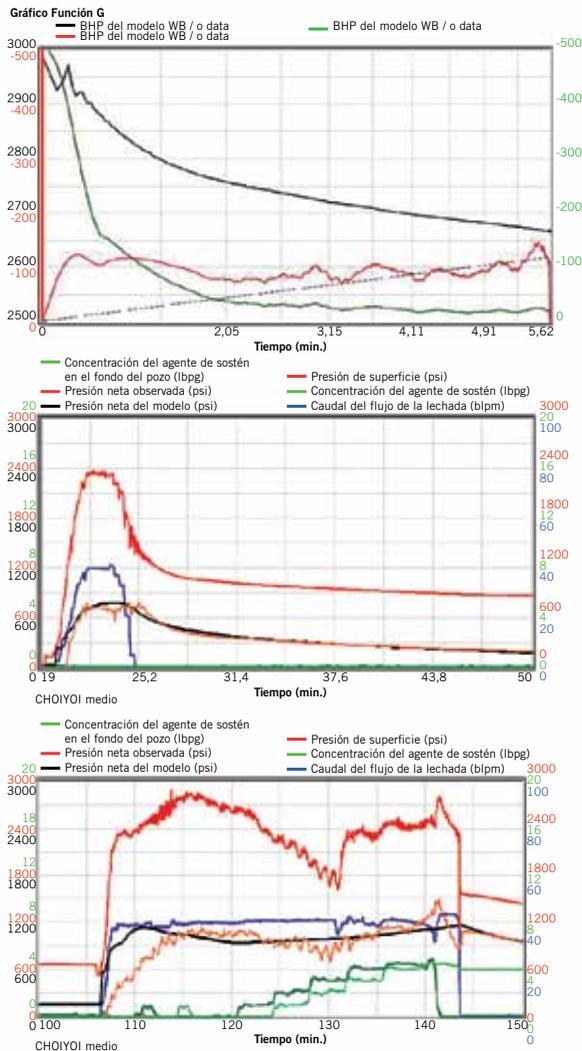


Figura 8. Evolución de la función G y ajustes de prueba de admisión.

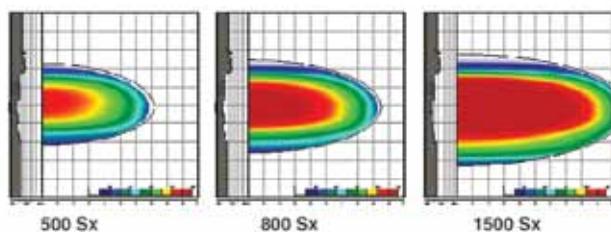


Figura 9. Simulación de fracturas en función de cantidad de agente de sostén.

el Valor Presente Neto y definimos los tamaños de fractura óptima como aquellos para los cuales se tiene VPN (o VAN) máximos. Para este ejemplo, podemos considerar un rango del orden de 900-1.000 bolsas (ver figura 10).

**Análisis comparativo con otros diseños de fractura:** Por último, se evalúan diseños más agresivos desde el punto de vista de caudales, porcentaje de colchón y concentraciones finales, con los cuales se puede tener más riesgo de arenamiento prematuro, y se los compara con el correspondiente a la modalidad de diseño actual (ver figura 11).

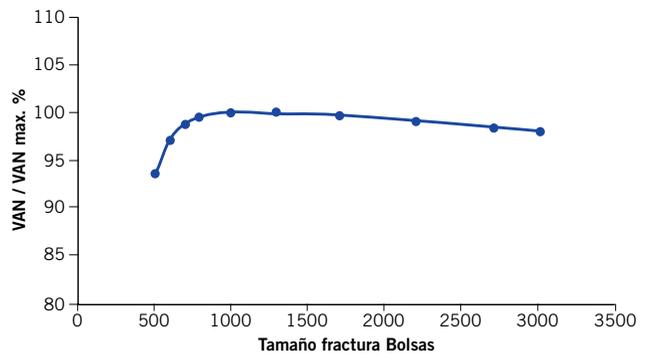


Figura 10. Análisis optimización fractura.

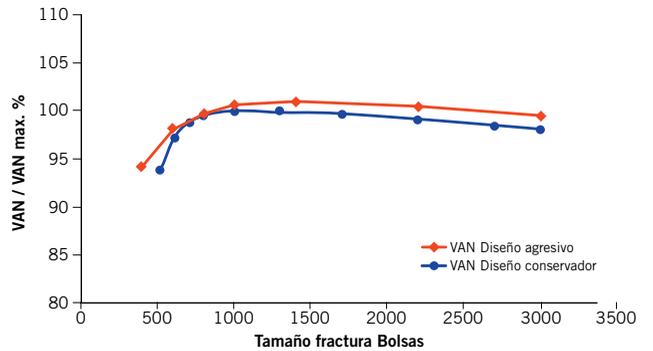


Figura 11. Análisis optimización fractura.

Este último gráfico nos indica que para las condiciones de reservorio analizadas, para cierto tamaño de fractura, un diseño más agresivo nos daría mayor beneficio económico que un diseño tal como el empleado en la realidad en el pozo, pero al ser los márgenes no muy grandes (diferencia entre ambas curvas para un cierto tamaño de fractura), para casos futuros es preciso evaluar, tal como se describió en puntos anteriores, la posibilidad de encontrarnos con problemas de comunicación pozo-fractura al momento de decidir el diseño de fractura final.

### Pozo con menor calidad de reservorio: permeabilidad baja

El siguiente análisis (ver figura 12) corresponde a un pozo con reservorios de menor calidad, con dos fracturas realizadas y que produjo un tiempo considerable de ambos intervalos.

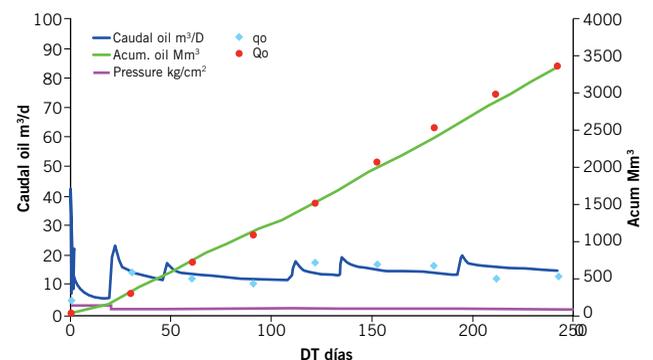


Figura 12. Análisis de producción.



# ULTRALIVIANOS

Tu día más seguro, tu vida más liviana.



## Urban



Modelo  
**FRONTIER BROWN**

CORDONES\*



Modelo  
**HORIZON BROWN**

CORDONES\*



NUMERACIÓN DISPONIBLE 36 AL 46

\*Alternativa de cordones. Incluidos en la caja.



**PUNTERA DE ALUMINIO**  
40 % MÁS LIVIANA



**CALZADO**  
DIELECTRICO



D E H I C I

**Análisis de sensibilidad de producción para distintos tamaños de fractura (figura 13)**

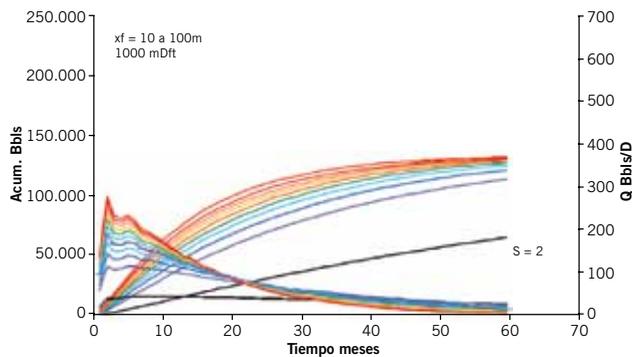


Figura 13. Análisis de sensibilidad.

Análisis de fracturas realizadas; el pozo evaluado se completa con dos fracturas en FM Choiyoi, las que por ajuste de presiones netas muestran fracturas de geometría semejantes entre sí. En las figuras 14 a y b se muestra los ajustes correspondientes a la primera prueba de admisión y fractura realizada.

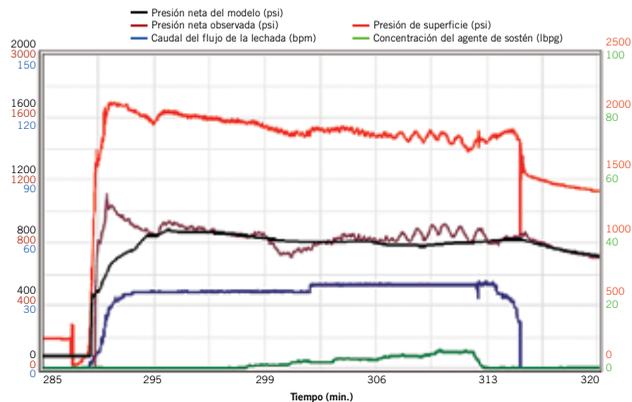


Figura 14 a. Ajustes realizados.

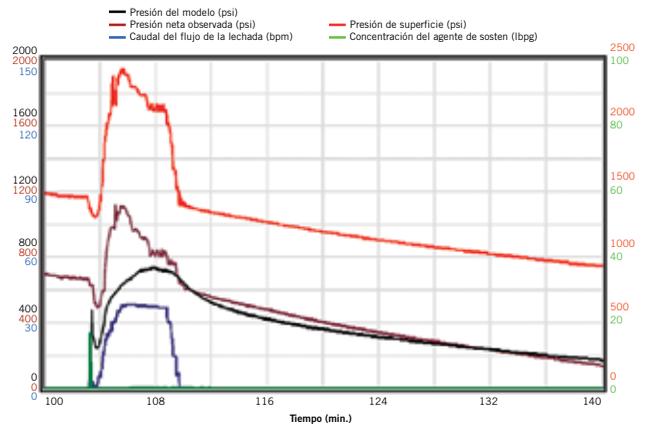


Figura 14 b. Ajustes realizados.

**Análisis de sensibilidad con simulador de fractura:** Una vez calibrado el simulador de fractura con el análisis de producción, se realizan corridas con otros tamaños de fractura. La figura 15 muestra las correspondientes a la etapa superior.

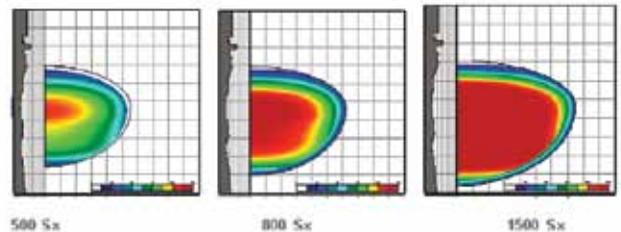


Figura 15. Corridas con distintos tamaños de fractura.

**Análisis económico y Análisis comparativo con otras alternativas de diseño:** A continuación, en la figura 16, se muestra el análisis económico, y la comparación para el caso de un diseño más agresivo: El tamaño

**correntoso**  
Lake & River Hotel  
Villa La Angostura - Parque Nacional Nahuel Huapi

**ESTE OTOÑO ELEGÍ CORRENTOSO**

UNA EXPERIENCIA ÚNICA

**BENEFICIOS EXCLUSIVOS PARA LOS SOCIOS IAPG**  
20% de descuento / Copa de bienvenida / Trekking por la historia de Correntoso  
No promocionable ni combinable con otras promociones vigentes. Válido hasta el 19 de abril de 2015.

Info & reservas: (+5411) 4803 0030 | grupos@correntoso.com | www.correntoso.com



# CUBRIENDO **EL MAPA.** SATISFACIENDO **SUS NECESIDADES.**



ELECTRIC LINE

SLICK LINE

WELL TESTING

COILED TUBING

## Superior soluciones que se extienden al mundo.

Somos una empresa que se compromete a satisfacer inmediatamente las necesidades de nuestros clientes de petróleo y gas, y siempre hemos creído en ir más allá de sus expectativas. Ese compromiso se extiende alrededor del mundo mientras continuamos ampliando nuestros servicios de perforación, terminación y producción a nuevos mercados internacionales. Donde sea que nos necesite, nuestro servicio es Superior.

Explore Superior soluciones en: [www.superiorenergy.com](http://www.superiorenergy.com)

Esmeralda 1080 5º Piso, (C1007ABN) Bs.As. Argentina  
Tel.:(+54-11) 5530-1150



**SUPERIOR**  
ENERGY SERVICES

óptimo es del orden de 1.000/1.200 bolsas para cada etapa.

Se observa que para este caso de calidad de reservorio baja, es preferible un diseño tal como se realiza actualmente, ya que un diseño más agresivo representa un VAN igual o menor.

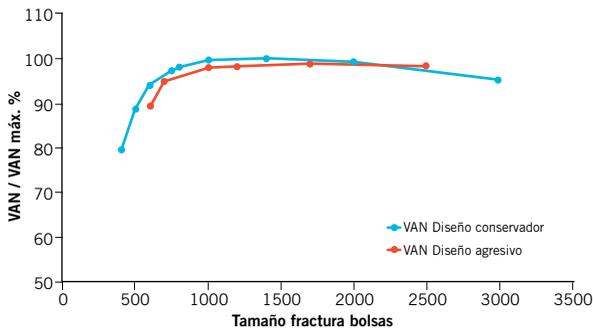


Figura 16. Análisis optimización fractura. Comparación diseño conservador vs. agresivo.

### Análisis comparativo de producción

La figura 17 muestra la evolución de las curvas de producción y acumuladas de petróleo promedio para una zona del campo que se desarrolló en los últimos años. Corresponde a pozos nuevos, con fracturas hidráulicas en FM Choiyoi, de las campañas 2010 y 2011. Se llevaron las producciones de los pozos correspondientes de cada campaña a tiempo cero.

Comparando estas curvas, se observa un mejor desempeño para los pozos de la última campaña. Parte de las razones pueden atribuirse a la optimización de las fracturas.

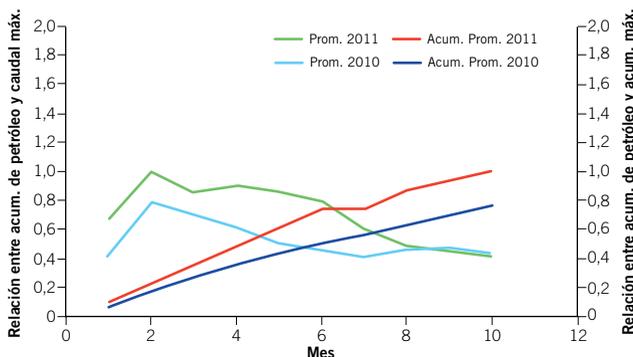


Figura 17. Pozos con fracturas hidráulicas. Producción de petróleo promedio por pozo.



## Conclusiones

- Con el tiempo, se han podido establecer modalidades de operación que han permitido finalizar los trabajos con éxito, teniendo en cuenta las complejidades al fracturar una formación ígnea en muchos casos con fisuras naturales, y dentro de un nivel de actividad en el yacimiento que precisa de una optimización permanente de todas las tareas, tiempos y costos.
- Si bien cada caso requiere de un análisis particular, se ha podido establecer, para distintos tipos de condición de reservorio, el diseño más adecuado y el rango de tamaño óptimo, desde un punto de vista económico.
- Los pozos estimulados de la campaña 2011 presentan una acumulada de petróleo del orden del 30% superior respecto a los de la campaña 2010.
- Por medio de un trabajo interdisciplinario, se continúa en la tarea de optimización de estas operaciones, teniendo en cuenta nuevos modelos geomecánicos y litologías predominantes.

Desarrollo de Yacimientos de Gas y Petróleo | Exploración | Análisis de Economía y Riesgos | Evaluación, Auditoría y Certificación de Reservas y Recursos

**VYP**  
CONSULTORES S.A.

El mejor asesoramiento  
para sus proyectos y  
negocios de E&P

Oficina  
San Martín 793, Piso 2º "B" C1004AAO Bs. As., Argentina

Teléfono  
(54-11) 5352-7777

Fax  
(54-11) 5256-6319

website  
www.vyp.com.ar

email  
info@vyp.com.ar



Oil & Gas Products & Services Argentina SA

## PROMOVIENDO SOLUCIONES INTEGRALES PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS EN NUESTRO PAÍS.



*Dos décadas de trayectoria incrementando sostenidamente nuestro contenido local, nuestra participación y compromiso con el mercado energético Argentino, líderes en el mercado compartido de bombeo electro-sumergible.*

- Equipos de bombeo electrosumergible con capacidad desde 15 m<sup>3</sup>/día.
- Sensores de fondo para uso extremo de temperatura y profundidad.
- Bombas de superficie para transferencia e inyección con capacidades hasta 10.000 m<sup>3</sup>/día y presiones de hasta 450 kg/cm<sup>2</sup>.
- Variadores de frecuencia para toda la gama.



### PLANTA INDUSTRIAL:

Dalle Mura 150, Barrio Industrial  
Comodoro Rivadavia

### CONTACTO

consultas.WPSArgentina@ge.com  
Tel.: +54 0297 440 7500



imagination at work