



Evaluación y predicción de erosión en tubería de producción, en el proceso de fractura hidráulica

Por *Darío Códaga*, *Nicolás Rebas* y *Gabriel Weber* (Tenaris);
Lisandro Garza y *Gonzalo Cabo* (Pluspetrol)

En el desarrollo de pozos no convencionales surge también la necesidad de contar con un método de diseño que tenga en cuenta la erosión en los trabajos de fractura hidráulica, ya que los elevados caudales de inyección o producción de fluidos con arena ponen en riesgo la integridad de tuberías y herramientas por procesos erosivos. Evaluar y mitigar estos procesos puede ser crítico en el diseño de la arquitectura de pozos.

Introducción

En la terminación de pozos no convencionales, en que se encuentran procesos de estimulación hidráulica cada vez más exigentes desde el punto de vista de resistencia de materiales, se comenzaron a experimentar fallas en los tubulares.

Los análisis de fallas concluyeron en que la causa raíz de estas fue una combinación de pérdida de espesor por desgaste erosivo y altas sollicitaciones mecánicas. Como consecuencia, surge la necesidad de desarrollar un método de diseño que tenga en cuenta el fenómeno de erosión en los trabajos de fracturas hidráulicas.

En el presente trabajo se vuelcan datos experimentales, se examinan las experiencias de campo realizadas, y se

propone un método de predicción y evaluación del proceso erosivo asociado al método de diseño de arquitectura de pozo (*Casing*, trayectoria, etcétera) tradicional, y al programa de fractura hidráulica (caudal, volumen, tamaño del agente de sosten, etcétera).

Revisión bibliográfica

El fenómeno de erosión es un proceso complejo afectado por numerosos factores, donde pequeños cambios en las condiciones operativas pueden afectar significativamente el daño producido. Resulta difícil detectar un proceso erosivo en curso, y los operadores raramente tienen una buena medida de la condición interna del sistema de tuberías. [1]

Se define como erosión a toda pérdida de material provocada por remoción mecánica de superficies sometidas al pasaje de un fluido. Puede ser generada por diversos mecanismos:

- Erosión por partículas (común en *Oil & Gas*)
- Erosión por gotas de líquido
- Erosión-corrosión
- Cavitación

El presente trabajo se centrará en el estudio del mecanismo de erosión por partículas, generado por el agente de sostén (Arenas, Bauxitas y Cerámicos) de fracturas hidráulicas sobre las paredes del tubo, el cual ha evidenciado ser la causa raíz de fallas prematuras.

Las áreas críticas para la erosión son aquellas donde ocurren cambios vectoriales de velocidad del fluido. Por el contrario, en tubos rectos y en curvas suaves se tiene un proceso erosivo despreciable; por lo tanto, en muchos casos no es un factor de importancia para el dimensionamiento del tubo. [2]

Principales variables involucradas en el mecanismo de erosión por partículas

Propiedades de los materiales [1] (Figura 1)

Metales dúctiles y otros materiales

Aceros, otros metales y la mayoría de los plásticos generalmente muestran comportamiento dúctil a la erosión.

La erosión por partículas en materiales dúctiles es causada por un mecanismo llamado "micro mecanizado". Las partículas impactando con un cierto ángulo, arrancan material de la superficie. Con altos ángulos de impacto, en superficies dúctiles, las partículas tienden a generar cráteres, pero no remueven mucho material.

El principal factor que controla la erosión en materiales dúctiles es la dureza de la superficie. Los aceros son más resistentes que metales más blandos. La dureza varía en los diferentes aceros; sin embargo, se cree que esta variación no es suficiente para afectar su resistencia a la erosión. Haugen *et al* [3] sugieren que la diferencia entre grados de acero es despreciable con velocidades < 100 m/s (< 450 Bpm en Csg de 5 1/2" o 110 Bpm en Tbg de 2 7/8"); por lo tanto, se tratará a cualquier grado de acero de la misma manera.

Plásticos y compuestos son generalmente menos resistentes que los metales, aunque algunos elastómeros y polímeros poseen buena resistencia ya que absorben energía en el impacto.

Materiales resistentes a la erosión

Materiales específicos, como el carburo de tungsteno, revestimientos y cerámicos, son usados en estranguladores y componentes vulnerables. Estos materiales son generalmente duros y frágiles.

Los materiales frágiles se erosionan de forma diferente. Los impactos fracturan la superficie y la erosión se

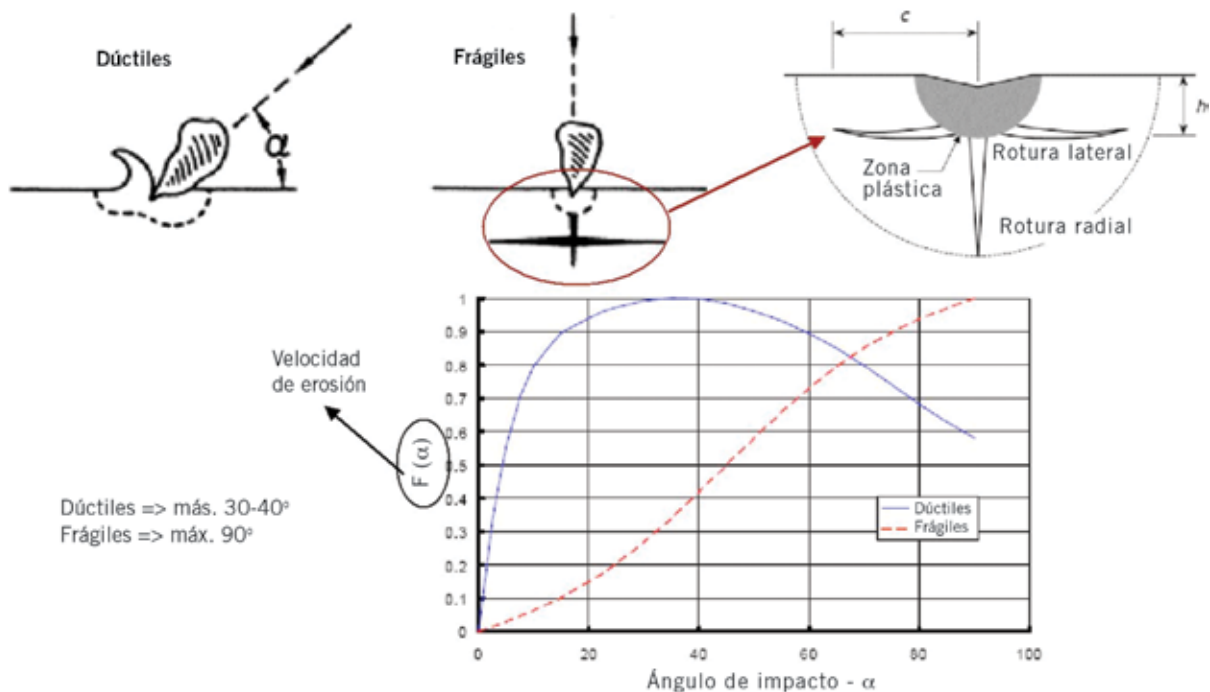


Figura 1. Mecanismos de daño por impacto de partículas propuestas.

incrementa linealmente con el ángulo de impacto, siendo el máximo para impactos perpendiculares.

La mayoría de estos materiales poseen mejor resistencia a la erosión que el acero.

Caudal de sólidos y la forma en que es transportada en el flujo [1]

El mecanismo de transporte es un factor importante que controla la erosión en sistemas de producción. Los sistemas de gas generalmente fluyen a altas velocidades (>10 m/s), haciéndolos más propensos a la erosión que sistemas líquidos. Sin embargo, en sistemas de gas-líquido, las partículas pueden ser retenidas y transportadas en la fase líquida. En particular, el flujo tipo *Slug* puede generar periódicamente altas velocidades que afecten la tasa de erosión. Si el flujo es inestable, o cambian las condiciones, las partículas se pueden acumular en períodos de bajo flujo, liberándose al sistema cuando se restablecen altos flujos.

Velocidad, viscosidad y densidad del fluido [1]

La tasa de erosión es proporcional a la velocidad de impacto de las partículas elevada a una potencia n (para aceros, $2 < n < 3$). Se puede asumir que la velocidad de impacto de la partícula será cercana a la velocidad del fluido que la transporta; por lo tanto, la tasa de erosión aumenta cuanto mayor sea la velocidad del fluido. Pequeños

incrementos de velocidad del fluido pueden ocasionar incrementos sustanciales en la velocidad de erosión.

En fluidos densos y viscosos, las partículas tienden a ser transportadas rodeando las obstrucciones sin impactar directamente en ellas (fenómeno de arrastre). En fluidos de baja viscosidad y densidad, las partículas tienden a viajar en líneas rectas, impactando las paredes cuando cambia la dirección del flujo.

Es más factible que ocurra erosión en flujos de gas, por su baja viscosidad, baja densidad y grandes velocidades.



Viscosidad y densidad fluido (↓) - Tamaño Partículas (constante) o
Viscosidad y densidad fluido (constante) - Tamaño Partículas (↑).

Figura 2. Variación de la trayectoria de las partículas.

En la figura 2 se observa la trayectoria de cómo son acarreadas las partículas a través de un codo. La trayectoria depende del peso de la partícula y de la capacidad de transporte del fluido a medida que atraviesa un codo. Los gráficos se pueden ver desde dos ópticas distintas. Por un



NORPATAGONICA

Líderes en la provisión de Servicios, Productos Químicos, Revestimientos Anticorrosivos e Insumos para todas las industrias, en especial la de Oil & Gas.



- » Secados de gasoductos.
- » Pruebas de hermeticidad y resistencia.
- » Dosificación de productos químicos en yacimientos y plantas.
- » Limpieza industrial.
- » Limpiezas mecánicas y/o químicas.
- » Tratamiento de Petróleo, Gas y Agua.
- » Transporte de sustancias peligrosas.
- » Bombeos de alta y baja presión.

FIBERWARE » Revestimiento de cañerías «

Ruta 7 - Parque industrial Neuquén - Neuquén (8300) - Argentina - Tel: + 54 (299) 4413033 - 4413052
E-mail: info@norpatagonica.com / www.norpatagonica.com.ar



Una historia de innovación en ingeniería

Schlumberger ha trabajado en Argentina durante más de 80 años compartiendo sus mejores prácticas y aprendiendo a superar los desafíos de la industria de los hidrocarburos: inclusive los desafíos de los recursos no convencionales. Hoy, continuamos con nuestro compromiso de fomentar la innovación tecnológica para mejorar el rendimiento de nuestros clientes.

Con una inversión de 1200 millones de dólares en investigación y desarrollo en 2012 y 125 centros de investigación e ingeniería en el mundo, Schlumberger sigue dedicada al desarrollo de tecnologías avanzadas que ayuden a sus clientes a enfrentar los desafíos de hoy, de mañana y de los próximos 80 años.

Para más información visite
slb.com

Schlumberger

lado, manteniendo el fluido y variando el tamaño de las partículas y, por el otro, manteniendo el tamaño de las partículas y cambiando la viscosidad y densidad del fluido.

Tamaño, forma y dureza de las partículas [1]

Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se analizarán las partículas que tienen las características de un agente de sostén. A modo de referencia del tamaño de partículas, para agentes de sostén comúnmente utilizados en la industria se encuentran Arenas entre las mallas 16/30 y 30/50. Estos agentes de sostén tienen un tamaño que varía entre 1.000 y 450 micrones.

A continuación, se mencionan algunos patrones de erosión relacionados con el tamaño, forma y dureza de las partículas:

- El tamaño de partícula influye en la erosión en la probabilidad de impactar la superficie.
- Partículas muy pequeñas (~10 micrones) son transportadas en el fluido y raramente impactan las paredes.
- Partículas grandes tienden a viajar en líneas rectas impactando las superficies.
- Partículas muy grandes (~ 1 mm) tienden a moverse lentamente o a depositarse fuera del flujo sin impactar.
- Partículas duras causan más daño que partículas blandas.
- Partículas filosas dañan más que partículas redondeadas.

Modelos de predicción de erosión por sólidos

Los modelos de erosión modernos más sofisticados consideran el proceso erosivo en tres etapas. Inicialmente, se modela el flujo a lo largo del componente o se estima de alguna forma aproximada. Esta predicción del flujo es usada para calcular las fuerzas de arrastre impartidas por el fluido a las partículas, de tal modo de predecir la trayectoria de un gran número de partículas. Cuando una partícula individual impacta en la pared del componente, el daño generado es calculado usando un modelo de daño empírico o teórico. El daño promedio del impacto de un gran número de partículas puede ser luego utilizado para predecir la distribución y profundidad del daño por erosión en la superficie. [1]

En la mayoría de los casos, los modelos de daño por impacto tienen una base similar; sin embargo, diferentes métodos han sido usados para calcular las trayectorias de las partículas. También se utilizan *softwares* de Fluido Dinámica Computacional (*CFD* por sus siglas en inglés) para modelar el flujo y las trayectorias de las partículas. Estas herramientas han demostrado ser buenas para predecir las ubicaciones y la forma del daño por erosión. Estos métodos son particularmente ventajosos en geometrías complejas como válvulas. En cambio, los codos y curvas son formas relativamente simples; por lo tanto, se han desarrollado ecuaciones empíricas o derivadas de modelos

MWH ha servido a la industria del gas y petróleo por más de 30 años. Somos el proveedor líder en diseño para upstream y midstream. Nuestra experiencia abarca los servicios relacionados a la gestión de agua de retorno, opciones de tratamiento de aguas y aguas residuales y cumplimiento ambiental.

SMART.Solutions



MWH®

BUILDING A BETTER WORLD

| mwhglobal.com

Marcelo T. de Alvear 612 Piso 2
011 5274 3100
info@mwhglobal.com.ar

AESA | **65**
Años

CONSTRUYENDO JUNTOS EL FUTURO CON ENERGÍA

INGENIERÍA
FABRICACIÓN
CONSTRUCCIÓN
SERVICIOS

aesa.com.ar

YPF – Proyecto Nueva Unidad Coque A
Refinería La Plata, Buenos Aires, Argentina



teóricos para predecir el daño en lugar de utilizar un *CFD*. La más simple de ellas asume que las partículas viajan en línea recta a través del codo (de forma similar a lo mostrado en la figura 2.c), y el primer impacto contra la pared es el más dañino. Esta es una primera aproximación razonable en flujos de gas. Sin embargo, en fase líquida, las partículas son arrastradas a lo largo del codo por el fluido (como se muestra en las figuras 2a y 2b), y la aproximación de trayectorias rectas resulta errónea. Modelos más sofisticados tienen en cuenta los efectos de arrastre en fluidos más viscosos.

Por cada impacto, la pérdida de material es proporcional a la masa de la partícula y a su velocidad, y la tasa de desgaste total será la correspondiente a la de cada partícula multiplicada por frecuencia de impacto.

Los modelos simplificados responden a:

$$E = \frac{C_{unit} \cdot K \cdot M \cdot V^n}{\rho t \cdot A_t} \cdot f(\alpha)$$

- E = Velocidad de erosión [mm/año]
- K = constante del material
- M = caudal de sólidos [g/s]
- n = exponente de la velocidad
- V = Velocidad de la partícula [m/s]
- C_{unit} = constante para convertir unidades
- A_t = área afectada por erosión [m²]
- α = ángulo de impacto [°]
- ρ_t = densidad del material objetivo

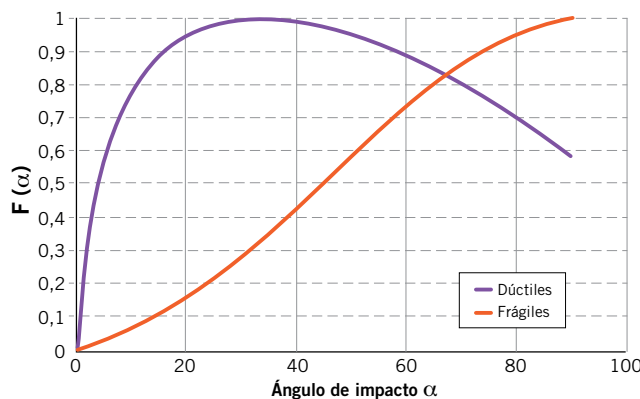


Figura 3. Función F(α) para materiales dúctiles y frágiles según el ángulo de impacto.

Dentro de los modelos de daño simplificados, se pueden encontrar las siguientes ecuaciones para diferentes modelos de erosión:

RCS: $E = 4,1 \frac{V^{2.5} \cdot M}{d^2}$

API: $E = 5,33 \frac{V^{2.0} \cdot M}{d^2}$

Salama (modificado): $E = 0,182 \frac{V^{2.0} \cdot W \cdot D}{\rho_m \cdot d^2}$

Salama & Venkatesh: $E = S_k \cdot \frac{V^{2.0} \cdot W}{d^2}$

DNV para geometrías complejas:

$$E = C_{unit} \frac{K \cdot V^n \cdot m_p}{\rho_w \cdot A} \cdot f(\alpha)$$

DNV para tramos rectos:

$$E = 2,5 \times 10^{-5} \frac{V^{2.6} \cdot m_p}{d^2}$$

- E = Velocidad de erosión [mm/año]
- V = Velocidad del flujo [m/s]
- M = caudal de arena [g/s]
- W = caudal de arena [kg/día]
- m_p = caudal de arena [kg/s]
- d = diámetro interno tubo [mm]
- D = tamaño de la arena [micrones]
- ρ_m = densidad de la mezcla [kg/m³]
- Sk = Constante dependiente de la geometría

A modo de referencia, se cita bibliografía [5], [6], [7] y [8], de diferentes autores, sobre efectos de la erosión. Estos trabajos fueron consultados pero no tuvieron aplicación alguna en el presente informe.

Experiencias de campo

Fractura No Convencional: pozo PRo.x-1

En el siguiente apartado se resume la experiencia de campo en el pozo no convencional PRo.x-1 en la formación Vaca Muerta de la cuenca Neuquina. Durante la operación de Fractura se detectó una rotura del *tubing*. La investigación posterior indicó que la causa de la rotura se debía al proceso de erosión del agente de sostén sobre la pared interna del *tubing*.

Introducción a la operación

El programa de estimulación se llevó a cabo utilizando una tubería 3 1/2" N80 con conexión TSH Blue.

Durante las operaciones de estimulación, y con el objetivo de mantener aislada la armadura de Boca de Pozo, se utiliza una herramienta denominada *Tree Saver*, con la cual se logra empaquetar a una profundidad debajo de Boca de Pozo protegiendo las válvulas o BOP. En este caso, el vástago tiene una longitud de 2 metros y un diámetro interno de 1,5" (Figura 4).

La 1ª etapa de fractura se completa según programa (2.5 horas de bombeo), con una presión máxima de bombeo de 9.150 psi y 2.600 sks de arena 30/60 y 20/40 a una concentración máxima de 5 ppg con un caudal promedio de 30 bpm.

Durante el bombeo de la 2ª fractura, cuando se estaba en la concentración de 3 ppg con 1.600 sks bombeados (2 horas de bombeo desde el inicio), se comunica la presión de directa con la de anular bruscamente, lo que lleva a tomar la decisión de cortar el bombeo. Se estimó que la comunicación se debía a una rotura de *Tubing* que se encontraba cerca de la boca de pozo por los volúmenes calculados.

Una vez controlado el pozo, se realiza el *Pulling* de la instalación y se observa la rotura del *Tubing* a una distancia inferior a 2 metros de Boca de Pozo. La rotura de *Tubing* coincide con la profundidad donde se aloja la empaquetadura del vástago del *Tree saver*, donde se establece una zona de mayor turbulencia.



a. marshall moffat®

SINCE 1952

UN SOLO TEJIDO IGNÍFUGO PARA TODAS LAS NECESIDADES, UN DISEÑO PARA CADA EMPRESA

ARCO ELÉCTRICO • FLAMABILIDAD • SOLDADURA • SALPICADURA DE METALES FUNDIDOS



INDURA
Ultra Soft

Cumpliendo con las siguientes Normas:

NFPA 70E | NFPA 2112 | EN 531 | EN 470 | IRAM 3878:2000



Sucursales propias en:

ARGENTINA

VENEZUELA

BRAZIL

CHILE

USA

CONSULTAS TÉCNICAS
0800-222-1403

Av. Patricios 1959 (1266)
Capital Federal - Buenos Aires
www.marshallmoffat.com

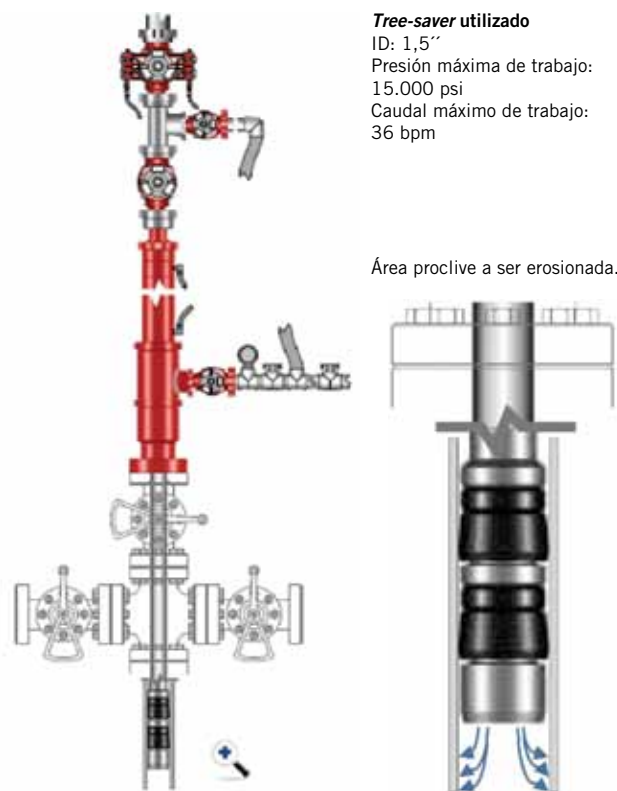
(011) 4302 - 9333 - Cap. Fed.

(011) 4343-0678 - Centro

(011) 5952-0597 - Bahía Blanca

(0299) 15405-4479 - Neuquén

(0297) 154724383 - Cdo. Rivadavia



Tree-saver utilizado
 ID: 1,5"
 Presión máxima de trabajo:
 15.000 psi
 Caudal máximo de trabajo:
 36 bpm

Medición y evaluación de falla

Para validar los modelos matemáticos que permiten predecir la velocidad de erosión, se envió a inspeccionar el resto de la tubería utilizada durante la fractura hidráulica. Los resultados de las mediciones de espesor de pared y la inspección electromagnética muestran que la tubería no sufrió desgaste alguno.

La medición de espesores por ultrasonido y la inspección visual de la superficie donde se observó la rotura, revelaron que el adelgazamiento de espesor se localiza a unos 50 mm de la superficie de la falla. El espesor del *tubing* se mantiene constante en valores nominales entre 6.3-6.8 mm, evidenciando que, salvo en la zona de falla, el cuerpo del tubo no sufrió desgaste alguno.

De las mediciones realizadas se concluye que el efecto de erosión produjo una reducción del espesor de *tubing* de 3.5 mm. Ensayos de tracción y análisis de composición demostraron que la rotura final fue causada únicamente por el efecto de erosión (Figuras 5 y 6).

Por otro lado, se realizaron mediciones de espesor de los Niples de *Flow Control* ubicados a una profundidad de 2.850 mbbp. Estos Niples también fueron sometidos al flujo del fluido de fractura; sin embargo, no se encontró ningún desgaste en sus perfiles. Esto puede explicarse por la dureza del material con el cual están contruidos y por la despreciable variación de velocidad del fluido.

Figura 4. Protección de la cabeza de pozo – *Tree-saver*.

SIAM ARCON

BOMBAS ALTERNATIVAS DE SIMPLE Y DOBLE EFECTO
 DUPLEX · TRIPLEX · QUINTUPLEX

SERVICIO POST-VENTA, INGENIERÍA Y REPUESTOS.



Nuestras Bombas pueden satisfacer una amplia gama con caudales hasta 2.960 m³/día y presiones hasta 350 Kg/cm².

Base Neuquén

Emilio Bellenguer N° 3025
 Pque. Industrial (Este)
 Tel: (54) 0299-441-3831
siam-neuquen@metales-arcon.com.ar

Planta Industrial

Dr. Atilio Lavarello 2156 · Avellaneda
 Pcia. de Bs. As. Rep. Argentina
 Tel: (54-11) 4203-0011
ventas@metales-arcon.com.ar
www.siam-arcon.com.ar

Base Comodoro Rivadavia

Cagliero N° 112
 Tel: (54) 0297-446-0802
arconcomodoro@sinctis.com.ar





**LA SABIDURÍA EN RECURSOS
NO CONVENCIONALES NO
TIENE PRECIO.**

**Y ESTA A SU DISPOSICIÓN PARA SER CONSULTADA CUANDO
SE REÚNA CON EL EQUIPO TÉCNICO DE HALLIBURTON.**

Donde quiera que se encuentren sus yacimientos no convencionales, los equipos técnicos de Halliburton están preparados para entender sus desafíos y discutir nuestras tecnologías probadas, nuestros flujos de trabajo exclusivos y soluciones integradas.

Para conocer más, por favor visítenos en halliburton.com ▶

HALLIBURTON

Solving challenges.™

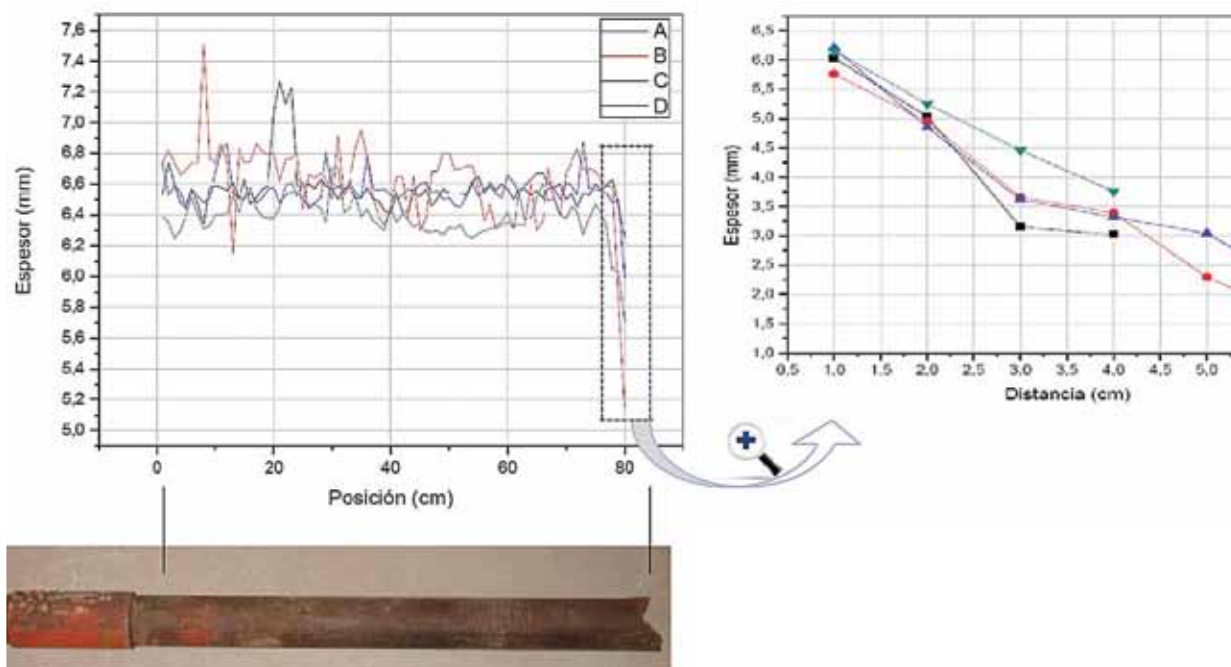


Figura 5. Espesor del *Tubing* en función de la posición. Detalle de zona de falla.

Simulación con modelos matemáticos

Para realizar la simulación del efecto de la erosión de la arena en este caso se utilizó:

- Fluido base para la fractura agua 8,33 ppg
- Agente de sostén Sinterlite 20/40, Sinterlite 30/60, Sinterlite 50/120
- Tamaño de partícula 400 μm (Sugerencia del modelo Salama)
- Caudal de Bombeo promedio 30 Bpm
- Se consideró para el cálculo de la velocidad, ID del *tubing*
- Constantes n y K modelo DNV-Huser = Acero al carbono
- Ángulo de impacto de las partículas de arena $\alpha = 36^\circ$

Se realizó el cálculo del desgaste erosivo para cada etapa del bombeo de fractura, teniendo en cuenta la concentración de arena y el tiempo de bombeo. Se realizó este cálculo utilizando el modelo DNV-Huser para geometrías complejas y también el modelo de Salama Modificado. La estimación con estos modelos, bajo las condiciones operativas descritas, arrojó los siguientes resultados (Figura 7).

Ambos modelos arrojan resultados que alertan una potencial falla por efecto erosivo. Si bien el modelo de DNV-Huser parece menos conservador que el de Salama, la predicción contempla mayores variables de entrada.

El valor del desgaste medido fue de 3.5 mm; por lo tanto, estas simulaciones se aproximan a lo ocurrido. Esto demuestra que la estimación preliminar de la erosión es una herramienta muy valiosa a la hora de diseñar una fractura hidráulica que involucre esta configuración de pozo.

Fractura *Shale* con uso de *Blast Joint*

Esta experiencia práctica es muy similar a la anterior; una operación de fractura a través de *Tubing* en la forma-

ción Vaca Muerta de la cuenca Neuquina. Se utilizó un *tree saver* al igual que en el PRO.x-1 para proteger las válvulas de la boca de pozo.

Teniendo la experiencia del PRO.x-1, se realizó una evaluación previa para determinar el posible daño por erosión en los tubulares que se utilizarían para fracturar la formación. Como resultado de ese análisis, la predicción de pérdida de espesor por erosión indicó un elevado riesgo de rotura de *Tubing* en la zona de descarga del *tree saver*, por lo que se decidió utilizar un accesorio tubular de mayor espesor (*Blast Joint*) para evitar una posible rotura.

Luego de la operación de fractura, se inspeccionó el *Blast Joint* y se midieron los espesores de la pared del mismo a fin de constatar el efecto erosivo de la arena de fractura.

Instalación de inyección

Como medio de protección de las válvulas de cabeza de pozo, se seleccionó un dispositivo de inyección *Tree saver*, de modo de aislar la boca de pozo del fluido de fractura. El *Tubing* utilizado fue 3 1/2" #9,2 P110 TSH Blue y, por último, el *Blast Joint* seleccionado tenía las siguientes características:



Figura 6. Zona erosionada del lado interno del *tubing*.

Una Industria Argentina para el Mercosur



En Compañía Mega modernos procesos tecnológicos permiten aprovechar los componentes ricos del gas natural. El etano producido constituye la principal materia prima de la industria petroquímica argentina. El propano, butano y gasolina natural, por su parte, son exportados a diferentes mercados.



BUENOS AIRES

San Martín 344, 10 piso
(CP1004AAH)
Ciudad de Buenos Aires
Tel.: (54-11) 5441-5876/5746
Fax: (54-11) 5441-5872/5731

PLANTA NEUQUÉN

Ruta Provincial 51, Km. 85
(Q8300AXD) Loma La Lata
Pcia. de Neuquén
Tel.: (54-299) 489-3937/8
Fax: int. 1013

PLANTA BAHÍA BLANCA

Av. del Desarrollo Presidente Frondizi s/n
(Q8300AXD) Puerto Galván
Provincia de Buenos Aires
Tel.: (54-291) 457-2670
Fax: (54-291) 457-2471



Pin-Pin L80 Cr13 TSH Blue, OD 3.975", ID 2.992"; Longitud de 4,50 m.

Programa de fractura

El programa de fractura llevado a cabo consistió en el bombeo de diferentes fluidos de fractura (*slick water*, gel lineal y gel activado), con concentraciones de Agente de Sostén de hasta 4 PPA.

En la tabla 1, se detallan los tiempos de cada etapa:

Tiempo [min:seg]	Concentración [PPA]	Agente de sostén	Fluido
16:24	0.2	Bauxite 50/120	Slickwater (*)
34:31	0.5	Bauxite 50/120	Slickwater (*)
00:53	0.8	Bauxite 50/120	Slickwater (*)
14:06	1.1	Bauxite 30/60	Gel lineal
16:36	1.5	Bauxite 30/60	Gel lineal
23:10	2	Bauxite 30/60	Gel lineal
11:55	1.7	Bauxite 30/60	Gel lineal
03:37	2	Bauxite 30/60	Gel lineal
05:12	2.3	Bauxite 30/60	Gel lineal
14:18	2.6	Bauxite 30/60	Gel lineal
10:34	2.9	Bauxite 30/60	Gel lineal
17:04	3.2	Bauxite 30/60	Gel lineal
19:42	3.5	Bauxite 30/60	Gel lineal
07:44	3.8	Bauxite 20/40	Gel activado
06:54	4	Bauxite 20/40	Gel activado

(*) Emulsión.

Tabla 1. Agente sostén bombeado.

Predicción del desgaste por erosión según modelos de Salama y DNV-Huser

Para realizar la simulación del efecto de la erosión de la arena en este caso se utilizó:

- Fluido base para la fractura agua 8,33 ppg
- Agente de sostén Bauxite 20/40, Bauxite 30/60, Bauxite 50/120

- Tamaño de partícula 400 µm (modelo Salama)
- Caudal de bombeo promedio 35 Bpm
- Tiempo total de bombeo 3 hs 20 min
- Se consideró para el cálculo de la velocidad, ID del *tubing*
- Constantes n y K modelo DNV-Huser = acero al carbono
- Ángulo de impacto de las partículas de arena $\alpha = 30^\circ$

Se realizó el cálculo del desgaste erosivo para cada etapa del bombeo de fractura, teniendo en cuenta la concentración de arena y el tiempo de bombeo. Se realizó este cálculo utilizando el modelo DNV-Huser para geometrías complejas y también el modelo de Salama modificado. La estimación con estos modelos, bajo las condiciones operativas descritas, arrojó los resultados que pueden verse en la figura 9.

Inspección del Blast Joint luego de la operación de fractura

Se inspeccionó el *Blast Joint* una vez finalizada la operación de fractura; se relevaron sus dimensiones y se midieron espesores con medidor de ultrasonido. Se muestran las dimensiones y puntos de medición de espesor en las figuras 10 y 11.

Se detectó desgaste erosivo aproximadamente a 55 cm por debajo de la bocha colgadora, que se encontraba torqueada al mismo. Esta distancia sería la zona de descarga del *tree saver*.

A simple vista, se pudo identificar un cambio abrupto de diámetro, por debajo de la sección donde se empaqueta el *tree saver* dentro del *blast joint* de 3 1/2".

En la figura 11 se muestran los resultados de la medición de espesores. En la zona erosionada, se observa **una disminución de espesor máxima de 3.20 mm** respecto del espesor de las zonas sin erosión, lo que representa un 28% de reducción del espesor total.

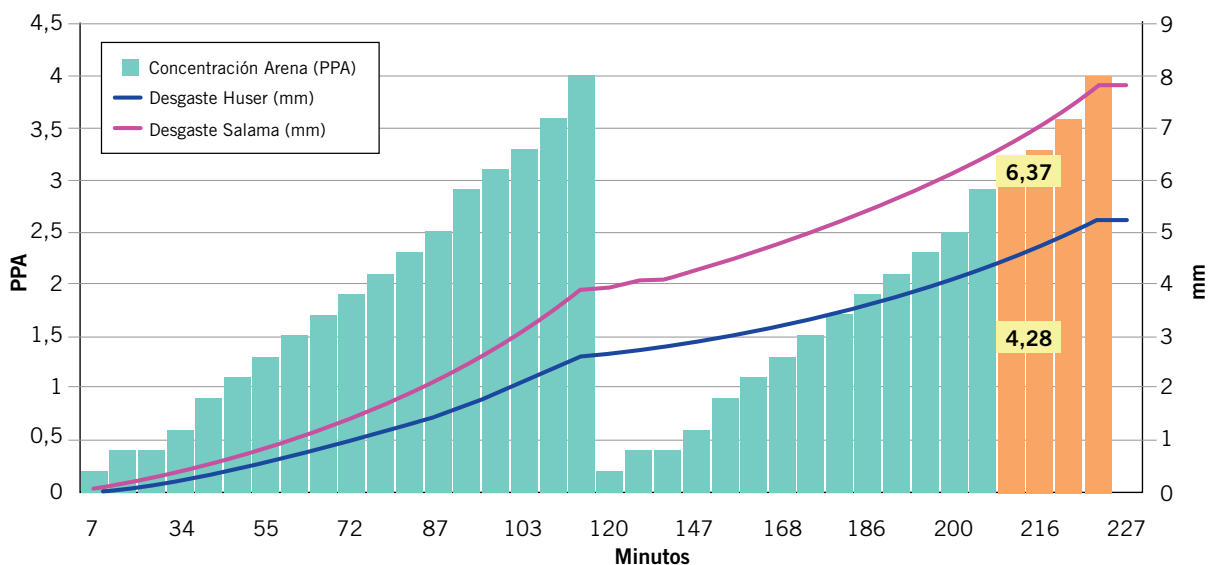


Figura 7. Resultados de predicción de desgaste erosivo.

UNA MISIÓN CUMPLIDA ES UN NUEVO COMIENZO

EXPERTOS EN REFINERIAS Y PLANTAS PETROQUIMICAS CON 450 PLANTAS DESARROLLADAS

En Techint, nos comprometemos con cada uno de nuestros clientes, brindando servicios integrales, desde la ingeniería hasta la construcción, cuidando el ambiente y el bienestar de las comunidades.

Diseñamos y construimos en forma integral refinerías y plantas petroquímicas de diferentes magnitudes y características, implementando las más diversas tecnologías.

Desde 1946 cumplimos con todas las misiones que nos confiaron. Y seguimos adelante, siempre con la pasión de un nuevo comienzo.

- ▲ Más de 65 años de experiencia en ingeniería y construcción
- ▲ Presencia en 45 países
- ▲ 3.500 proyectos cumplidos

@Techint Eng Con
www.techint-ingenieria.com



TECHINT
Ingeniería y Construcción

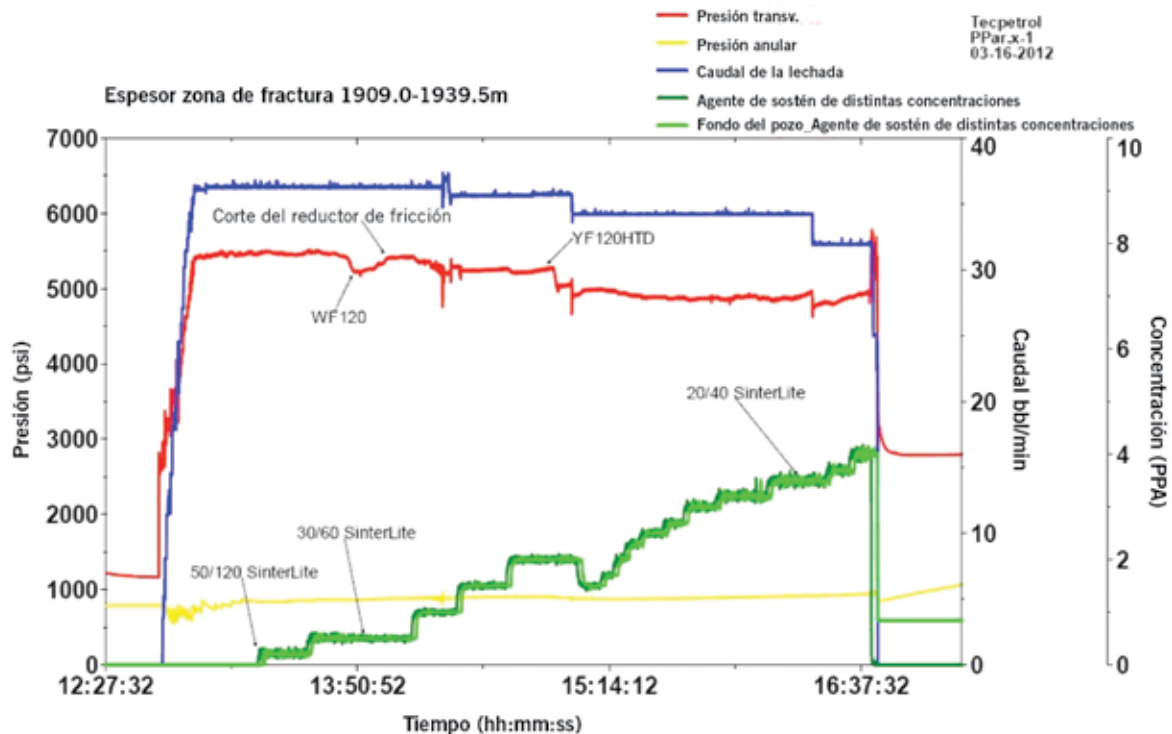


Figura 8. Registro de operación de fractura hidráulica.

Escenario sin uso de Blast Joint

Si en lugar de haber utilizado el accesorio *blast joint* se hubiera llevado a cabo la operación de fractura empaquetando el *tree saver* directamente dentro de la columna de *Tubing* de fractura, considerando la misma disminución de espesor, el efecto hubiese sido el detallado a continuación. Considerando:

Espesor nominal *Tubing* 3,5" 9.2 lb/ft = 6.45 mm (0.254") Máximo desgaste por erosión medido = 3.2 mm

Espesor remanente en la zona erosionada = 3.25 mm (~50%)

La resistencia a la tracción es

$$Tr = Ys.A = 110000 \text{ psi} \cdot \pi(OD^2-ID^2)/4$$

El *Tubing* erosionado experimentaría una disminución de su resistencia a la tracción del 48%, lo que podría provocar la falla por tracción de la columna.

	Original	Erosionado
OD (in) =	3,5	3,5
ID (in) =	2,992	3,244
A (in ²) =	2,59	1,36
Ys (psi) =	110.000	
Resistencia a la tracción (* 1000 lbs) =	285	149

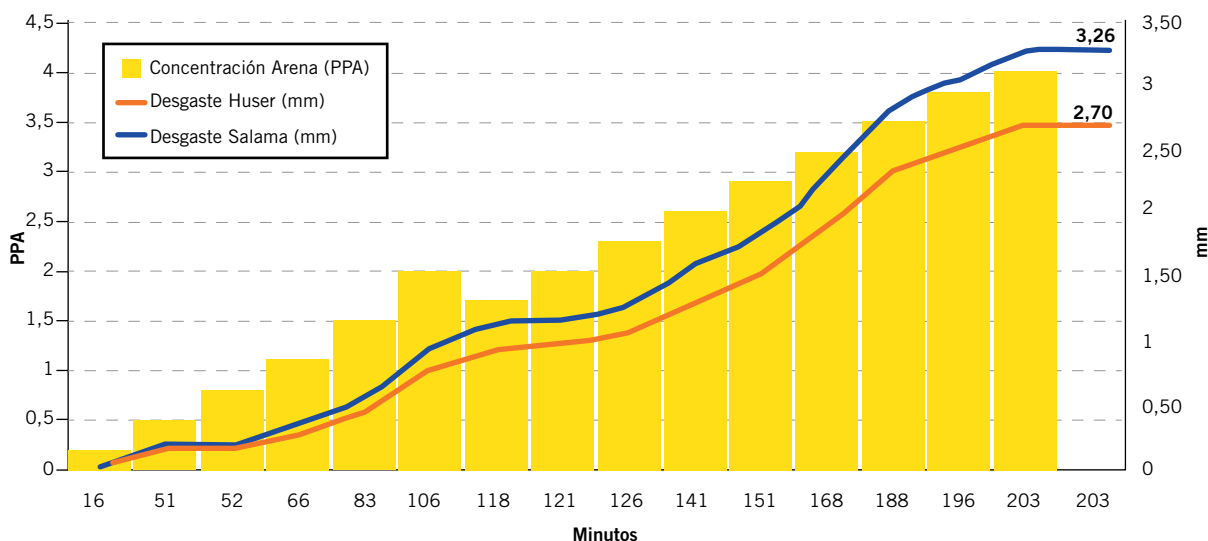


Figura 9. Resultados de predicción de desgaste erosivo.

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 10. *Blast Joint* utilizado.

Aporte / Contribuciones al diseño de pozo horizontal

Dentro de las etapas de estudio de reservorios No Convencionales, se encuentra la perforación de pozos horizontales. Básicamente, se pretende contactar la mayor cantidad económicamente posible de Roca Madre, para luego realizar estimulaciones de múltiples etapas y así obtener el planificado *SRV* (*Stimulated Reservoir Volume*).

En este apartado se expone la información considerada en el diseño de un pozo horizontal y los pasos para verificar si existe un potencial daño de tubulares durante alguna de las etapas de fractura.

El diagrama de flujo de la figura 12, representa los puntos que se fueron teniendo en cuenta a la hora de diseñar

el nuevo pozo horizontal: Es importante destacar que este es un trabajo multidisciplinario, y cada rediseño debe ajustar parámetros de diferentes áreas de conocimiento.

Como consecuencia de trayectorias y programas de fracturas hidráulicas más exigentes, surge la imperiosa necesidad de verificar los diseños de arquitectura de pozos a potenciales procesos erosivos. Este efecto erosivo puede ser crítico para una combinación determinada de geometría de pozo y variables del tratamiento de fractura hidráulica.

Como primer paso en el diseño, se definen los diámetros de cañerías junto con las posibles trayectorias en función de la capacidad del equipo de perforación, la necesidad de equipos de WO y CT, longitud mínima de rama horizontal. Al diseñar la trayectoria se obtienen severidades de curva promedios (*Dog Leg Severity*, *DLS*, variación de la dirección medida en grados cada 30 metros). La severidad de la curvatura determinará la distribución de tensiones de la propia tubería; esto en conjunto con las condiciones de presión y temperatura resolverá un conjunto de esfuerzos combinados (triaxiales). El diseño de la trayectoria también es dependiente del sistema de producción; por ejemplo, si se contempla que en un futuro se podría necesitar un sistema de extracción artificial con Bomba Electrosumergible, requeriría incluir una zona de la curva con un *DogLeg* inferior a $1^\circ/30$ m a la mayor profundidad posible, con el objetivo de no limitar las exigencias de *Drawdown* (Reducción de la presión dinámica de fondo de pozo).

La figura 13 representa diferentes trayectorias en función del *DLS* promedio de la curva.

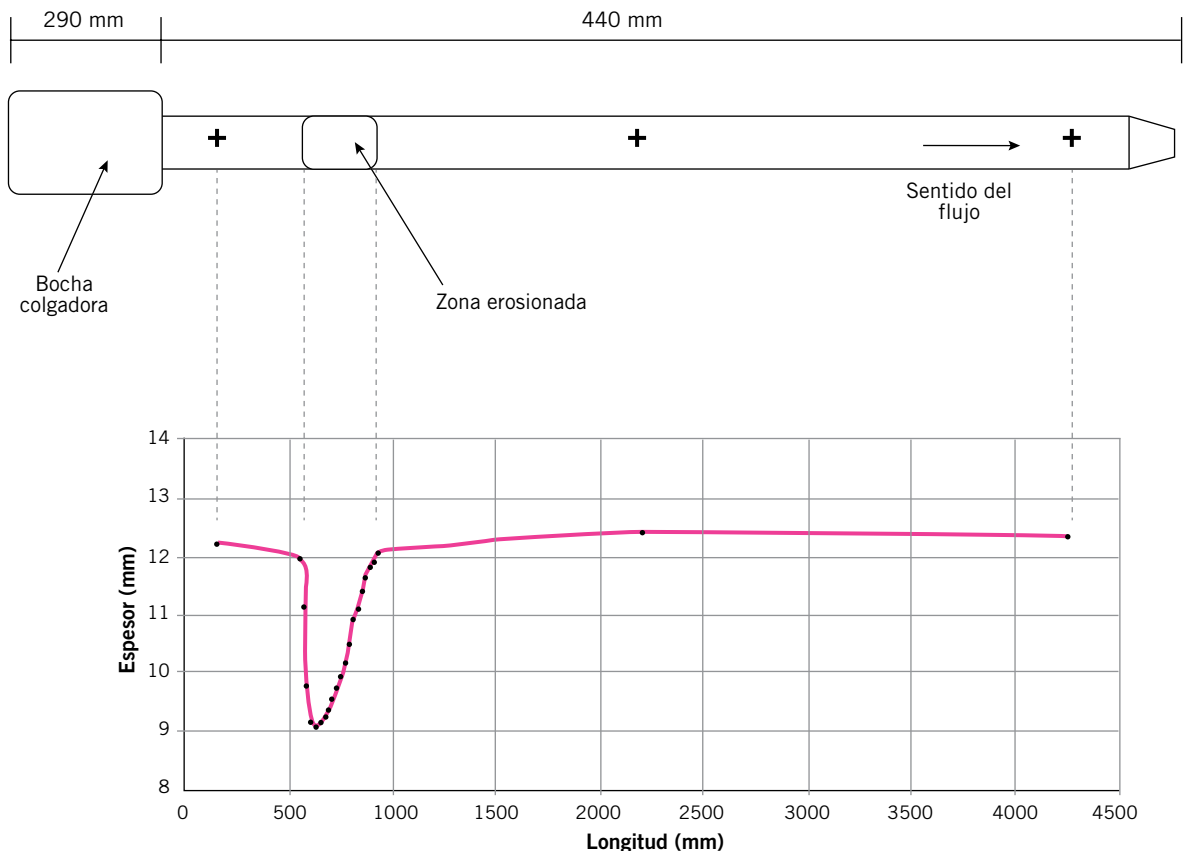


Figura 11. Dimensiones del *Blast Joint* y puntos de medición de espesor.



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



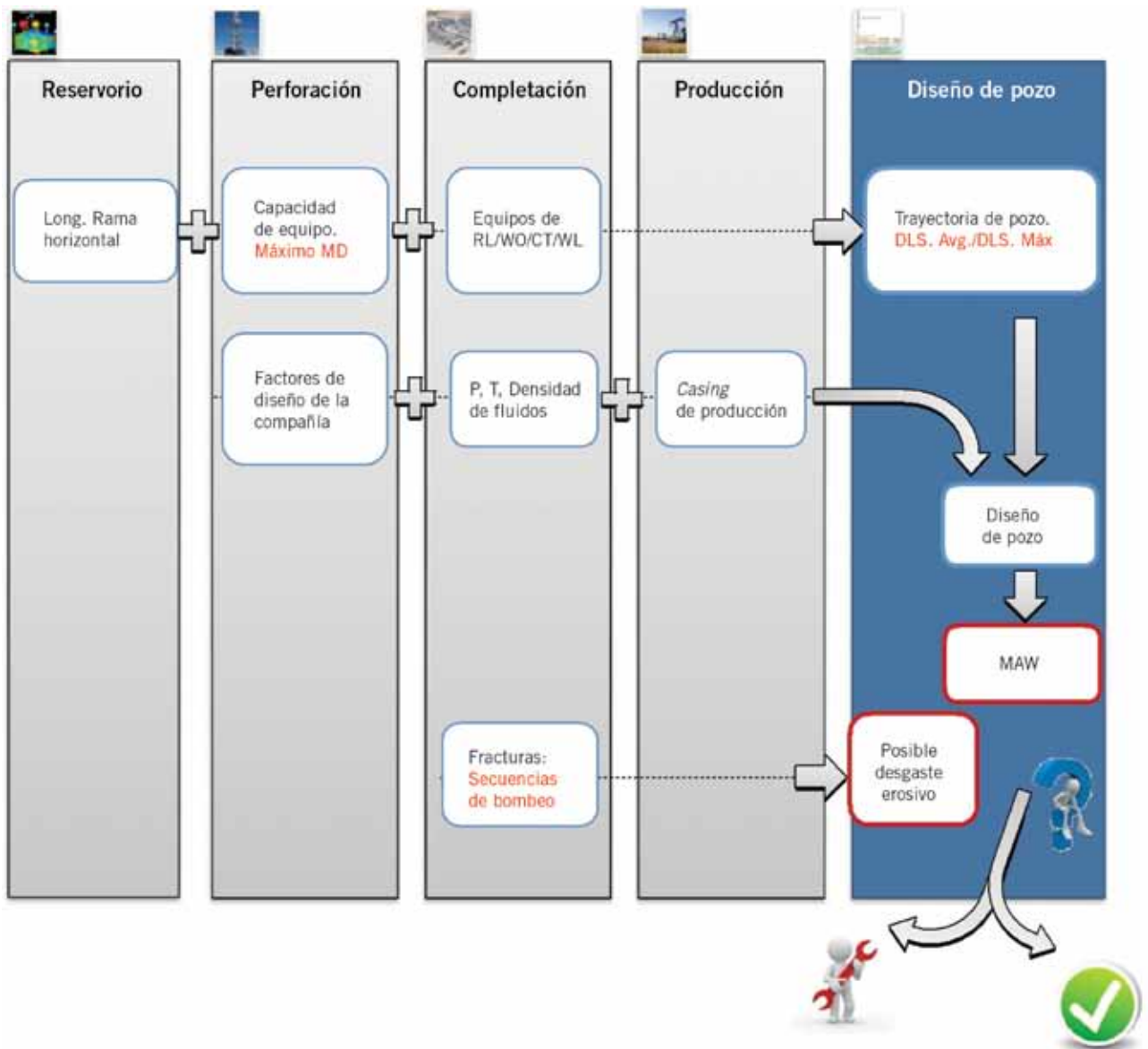


Figura 12. Diagrama de Flujo. Verificar erosión en pozo horizontal.

Por otro lado, dependiendo de las herramientas direccionales que se utilicen para construir la trayectoria del pozo (sistemas rotativos o convencionales), se pueden estimar *DLS* máximos puntuales que también deben ser considerados para el análisis de tensiones de las tuberías.

La siguiente gráfica muestra dos opciones de diseño de pozo con requerimientos de potencia de equipo diferentes, una de 1.200 HP y otra de 1.500 HP. El análisis posterior se centrará en la opción II (Figura 14).

Como parte del estudio de diseño de pozo, se realizaron simulaciones de reservorio para evaluar alternativas de *SRV* (*Stimulated Reservoir Volume*). Existe una solución de compromiso entre la profundidad final (limitada por la capacidad del equipo de perforación), *Dogleg* (dependiente del sistema direccional y agravante del desgaste por erosión) y la longitud final de la rama horizontal que será sometida a estimulación hidráulica.

Para esto, se construyeron curvas que representan las posibles combinaciones de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, con el objetivo de dar un *FeedBack*

de rediseño (Figura 15).

Seleccionamos nuestro caso con los siguientes supuestos:

- Equipo de perforación: 1.200 HP.
- Longitud de rama horizontal: 1.000 m.

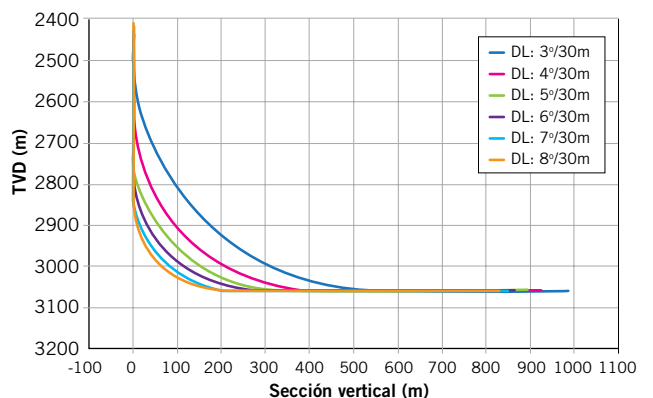


Figura 13. Trayectoria para diferentes *DLS* promedio.



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

SUPERIOR
ENERGY SERVICES

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

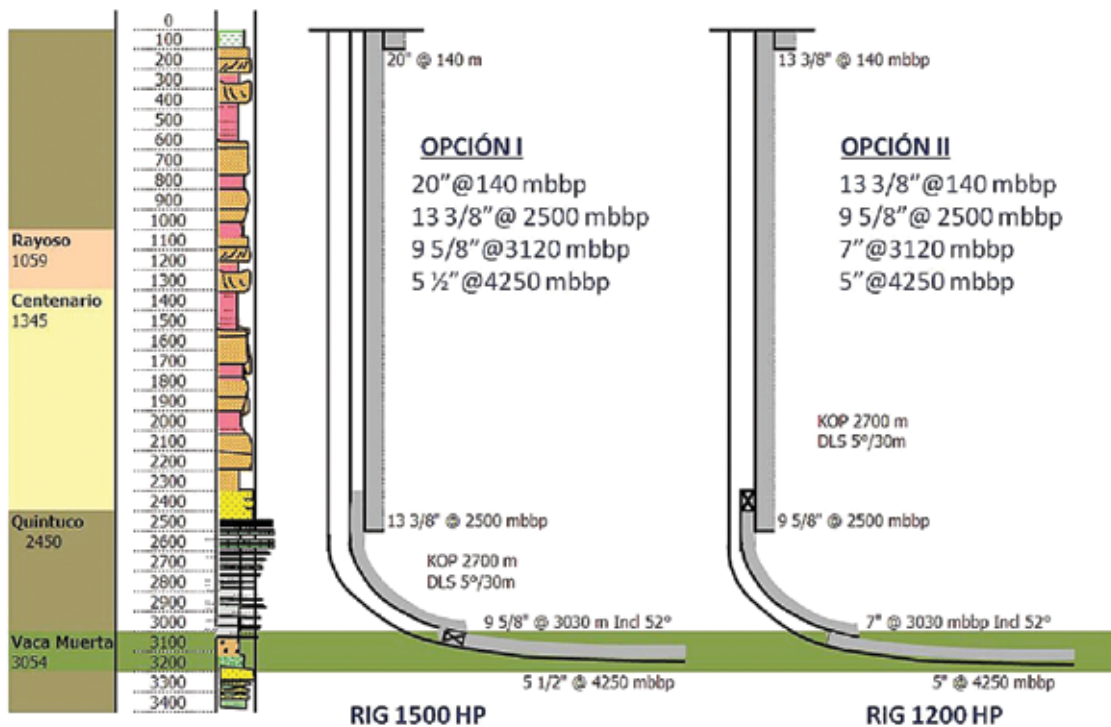


Figura 14. Opciones de diseño según disponibilidad de potencia de perforación.

- Casing de producción: 5" 20,8 lb/ft P-110 Conexión Premium.
- Severidad de curva:
 - o Caso 1: DLS Avg: 3°/30 m, DLS Máx: 9°/30 m
 - o Caso 2: DLS Avg: 8°/30 m, DLS Máx: 14°/30 m
- Solicitación de presión: 13.000 psi – durante fractura hidráulica.

Cabe aclarar que los valores de *DLS* máximos surgen de la experiencia en perforación de pozos horizontales en la cuenca; esto es, pozos con un *DLS* de 3°/30 m de diseño mostraron *DLS* máximos puntuales de 9°/30 m, y en pozos con un *DLS* planificado de 8°/30 m se registraron hasta 14°/30 m en algunos puntos de la trayectoria.

Mediante el software de simulación *StressCheck™ Casing Design Software* de Landmark para diseño de tubería, sometido a esfuerzos combinados y considerando los factores de diseño definidos en las políticas de la compañía, se determinaron los requerimientos mecánicos de las tuberías involucradas sometidas a tensión, compresión, presión, temperatura, etcétera. Estos requerimientos pueden resumirse en el parámetro *MAW* (*Maximum Allowable Wear*, Máximo Desgaste Admisible), el cual determina el máximo desgaste porcentual del espesor que es admitido para mantener los factores de diseño utilizados para diseñar las tuberías.

La figura 16 muestra el *MAW* en función de la Profundidad Medida (*Measured Depth, MD*) del pozo. Las zonas identificadas como críticas son en Boca de pozo, por estar sometida a la máxima carga de tracción y estallido, y en la zona de la Curva (*Dogleg*), por la combinación tracción-compresión resultante de la flexión ("*Bending Stress*").

Dependiendo del *Dogleg* utilizado para construir la curva (Promedio y Máximo), el valor mínimo de *MAW* varía entre 14 y 22%.

En la siguiente tabla se puede observar cómo varía el Factor de Seguridad Triaxial y el *MAW* en función del *Dogleg* (Tabla 2).

Pozo	Max Plan (°/30m)	Max Real (°/30m)	Incremento (°/30m)	Incremento (%)
LJE-1009h	6.50	11.50	5.00	177%
LJE-1008h	6.00	9.60	3.60	160%
LJE-1007h	6.30	8.00	1.70	127%
LJE-1006h	6.93	13.20	6.27	190%
LJE-1005h	7.50	13.80	6.30	184%
LJE-1004h	6.00	9.80	3.80	163%
LJE-1003h	7.50	10.00	2.50	133%
		Promedio	4.17	162%
		Max	6.30	

Tabla 2. *DLS* máximos registrados.

Estimación del desgaste por erosión

Solo nos resta estimar el desgaste que podría generarse durante las diferentes etapas de fractura, para luego contrastar con el valor *MAW* determinado. Para esto, se utilizó el modelo de DNV-Huser [2], el cual aplica a tuberías con diferentes geometrías.

Si bien existen numerosos parámetros para definir un programa de estimulación hidráulica, se define una posible secuencia de bombeo como la siguiente:

El diseño de pozo será sometido a verificación de manera de soportar un mínimo de 10 etapas de fractura con caudal de bombeo máximo de 50 bpm (barriles por minuto). La concentración de arena determinará el flujo másico de sólidos que provocarán erosión; este flujo irá incrementando secuencialmente en cada etapa desde cero (Pad) hasta un máximo de 4,5 PPA (*pounds of proppant added*).

Las consecutivas etapas de fracturas generarán un progresivo desgaste de las paredes de la tubería conforme se incrementa la concentración de arena.



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 electrosurgible con capacidad desde 15 m³/día.
- Sensores de fondo para uso extremo de temperatura y profundidad.
- Bombas de superficie para transferencia e inyección con capacidades hasta 10.000 m³/día y presiones de hasta 450 kg/cm².
- 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



En la figura 17 se muestra cómo el tiempo total de bombeo será de aproximadamente 24 horas si todas las etapas se bombean a un caudal de 50 bpm. Este tiempo total de bombeo será de 20 o 40 horas si el caudal se modifica a 60 o 30 bpm respectivamente.

Luego de comentar la secuencia de bombeo contemplada en el diseño, detallaremos los parámetros a tener en cuenta en el modelo empírico de DNV-Huser.

Para tuberías rectas DNV-Huser propone la siguiente ecuación que resuelve la velocidad de erosión en mm/año:

$$\dot{E}_L = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot U^{2,6} \cdot \dot{m}_p \cdot D^{-2}$$

Mientras que para tuberías con determinado radio de curvatura se tiene:

$$\dot{E}_L = \frac{\dot{m}_p \cdot K \cdot F(\alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot U_p^n}{\rho_t \cdot A_{\text{pipe}}} \cdot G \cdot C_1 \cdot C_{\text{unit}}$$

Donde:

\dot{m}_p : Flujo de arena (K_g/seg), dependiente del caudal de bombeo (Bpm) y de la concentración de arena (PPA). **A_{pipe}** : Área transversal del casing. Depende del diámetro del casing de producción.

$F(\alpha)$. $\text{sen}(\alpha)$: Factores que tienen en cuenta el ángulo de impacto de las partículas sólidas. Como puede verse en la figura 18, este ángulo depende del radio de curvatura y del diámetro de la tubería. Para nuestro análisis el radio de la curvatura es función del Dogleg. Esta correlación entre Dogleg y radio de curvatura puede verse en la siguiente gráfica. El ángulo de impacto de las partículas para DLS inferiores a $14^\circ/30\text{m}$ y diámetro de Tubería de 5" es inferior a 1° .

U_p : Es la velocidad de las partículas, dependiente del caudal de bombeo (Bpm), de la concentración de arena

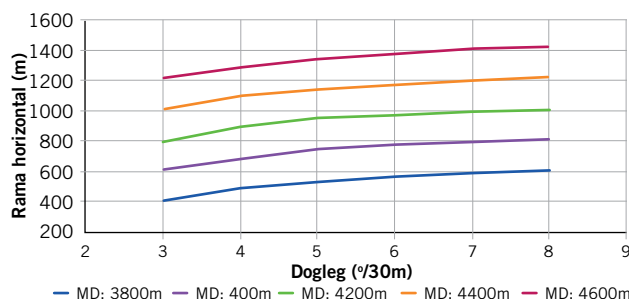
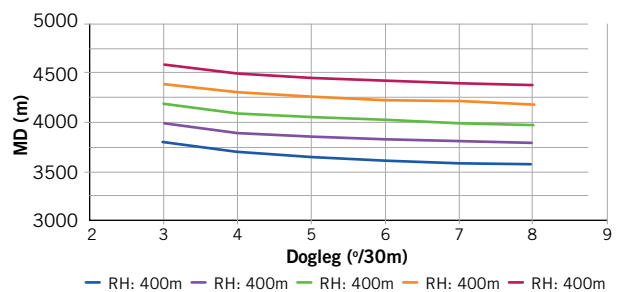
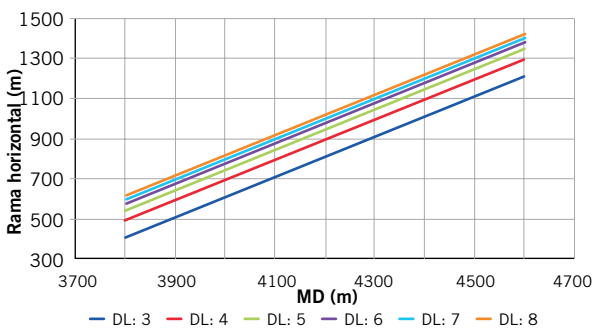


Figura 15. Curvas que relacionan Dogleg, Longitud MD y Longitud de rama horizontal.

Sistema de MPD Automatizado Microflux™



Redefiniendo la perforación en Argentina

El sistema de circuito cerrado Microflux de Weatherford detecta y controla automáticamente los infuljos o pérdidas durante la perforación. La precisión y rápida capacidad de respuesta de esta tecnología le permiten superar las restricciones de aquellos pozos imposibles de perforar con técnicas convencionales.

Este avanzado sistema le ayuda a optimizar la densidad del lodo para evitar riesgos potenciales, más aún cuando el margen entre la presión de poro y el gradiente de fractura es particularmente estrecho. Con nuestro avanzado circuito cerrado Microflux usted podrá mejorar la seguridad de su operación, reducir el impacto al medio ambiente y mejorar la rentabilidad de sus proyectos.

Contacte a su representante Weatherford para conocer más sobre cómo el sistema de MPD Microflux, que estará próximamente disponible en Argentina, puede ayudarle a superar los desafíos de presión de sus operaciones.

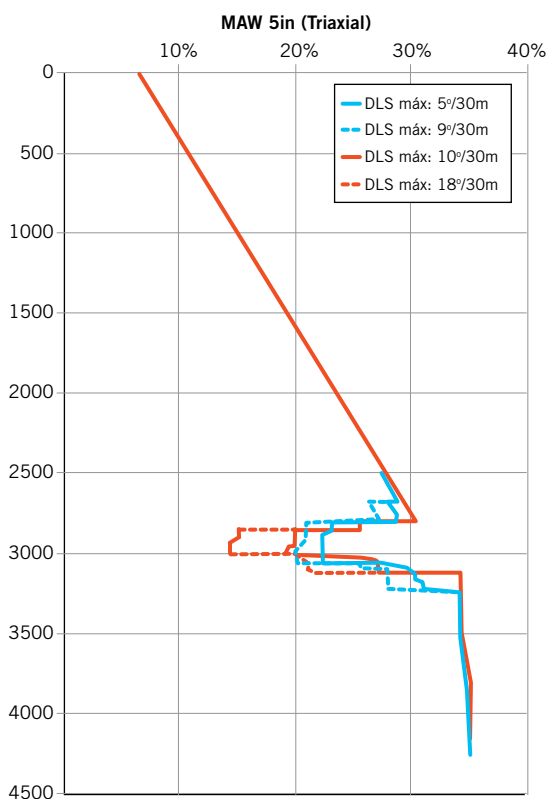


Figura 16. Estimación de MAW (%) casing de 5" hasta Boca de pozo.

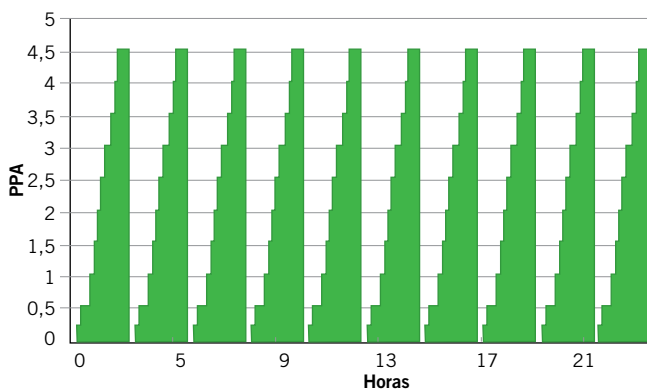


Figura 17. Secuencia de bombeo - 10 etapas de fractura.

Etapa #	Caudal Bbl/min	Arena			TOTAL	Vol. Limpio bbl	Tiempo minutos
		Malla 100	Malla 30/50	Malla 20/40			
1	50	98	2820	1115	4033	6642	145
2	50	98	2820	1115	4033	6642	145
3	50	98	2820	1115	4033	6642	145
4	50	98	2820	1115	4033	6642	145
5	50	98	2820	1115	4033	6642	145
6	50	98	2820	1115	4033	6642	145
7	50	98	2820	1115	4033	6642	145
8	50	98	2820	1115	4033	6642	145
9	50	98	2820	1115	4033	6642	145
10	50	98	2820	1115	4033	6642	145
TOTAL		980	28200	11150	40330	66419	1448

Tabla 3. Secuencia de bombeo - 10 etapas de fractura.

(PPA) y el diámetro de la tubería. El exponente n normalmente se fija en 2,6.

ρ_t : Densidad del material del tubular: 7.800 Kg/m³. G , C_1 y C_{unit} : Constantes.

Con este modelo, se puede empezar a predecir los valores de velocidad de erosión para un tubo cuyo diámetro interno es de 4,54" (D_{nom} : 5"). La estimación de erosión (milímetros/hora) resultante es una función exponencial con $n=2,6$, y los valores no son para nada despreciables cuando estamos en presencia de procesos de bombeo que duran más de 20 horas (Figura 19).

A continuación, se pueden observar los resultados de este modelo si se aplica la secuencia de fracturas hidráulicas de 10 etapas que fue mencionada anteriormente. Manteniendo fija la arquitectura de pozo (diámetros y radios de curvaturas de la tubería), y realizando sensibilidades a diferentes caudales de bombeo, llegamos al siguiente gráfico (Figura 20).

Queda evidenciado que el desgaste producido por el programa de bombeo de 60 bpm es aproximadamente un orden de magnitud superior a la secuencia con un caudal de 30 bpm. Teniendo los valores de MAW determinados anteriormente (8-12%), podemos suponer que estamos frente a posibles casos de falla provocadas por erosión.

Los tiempos totales de bombeo varían según el caudal, porque se ha supuesto que la cantidad de agente de sostén a bombear será igual para todos los casos.

Para la zona de la tubería recta, la ecuación del modelo de DNV -Huser se simplifica en gran medida. Para el mismo diseño de pozo, se calcula el desgaste que se producirá en las zonas rectas; estos resultados se ven en la siguiente gráfica, donde se puede apreciar que el desgaste es, como máximo, 2,5% del espesor de pared (Figura 21).

Finalmente, en la figura 22, se compara el desgaste admisible (MAW) que la tubería podría soportar si se la somete a las solicitaciones de carga establecidas por el programa de perforación y completación, con el desgaste que se estima mediante el modelo de DNV-Huser.

Los siguientes gráficos representan los casos de dos trayectorias posibles, y contemplan el máximo valor de caudal de bombeo programado.

Aumentando la severidad de la curva se observa que, por un lado, aumenta el desgaste erosivo producto de un mayor ángulo de impacto de las partículas, y por otro lado se reduce el MAW como consecuencia del aumento de la flexión.

Experiencia global,
con presencia local.



NOV MSW tiene una fuerte presencia en Argentina y está dispuesta a servir a los clientes desde su planta local, en Buenos Aires.

La línea de productos NOV MSW incluye bombas para uso continuo e intermitente, disponibles en simple efecto y doble efecto, capaces de funcionar en un rango de potencia de 2 a 2800 HP.

NOV MSW también ofrece fabricación, capacitación, asesoramiento de puesta en marcha y visitas a campo, para satisfacer los requisitos de los clientes a nivel mundial.



Email: msh@nov.com

NOV MSW

	DLS Avg: 5°/30m		DLS Avg: 10°/30m		Reducción de 5°/30m a 18°/30m
	DLS Max: 5°/30m	DLS Max: 9°/30m	DLS Max: 10°/30m	DLS Max: 18°/30m	
Mín FS de 0 a 2450 mbbp	1.33	1.33	1.33	1.33	N/A
Mín FS de 2450 a TD	1.53	1.50	1.49	1.43	7%
Min MAW*	22.4%	20.0%	19.2%	14.4%	36%

* Sin considerar la boca de pozo, solo en la curva.

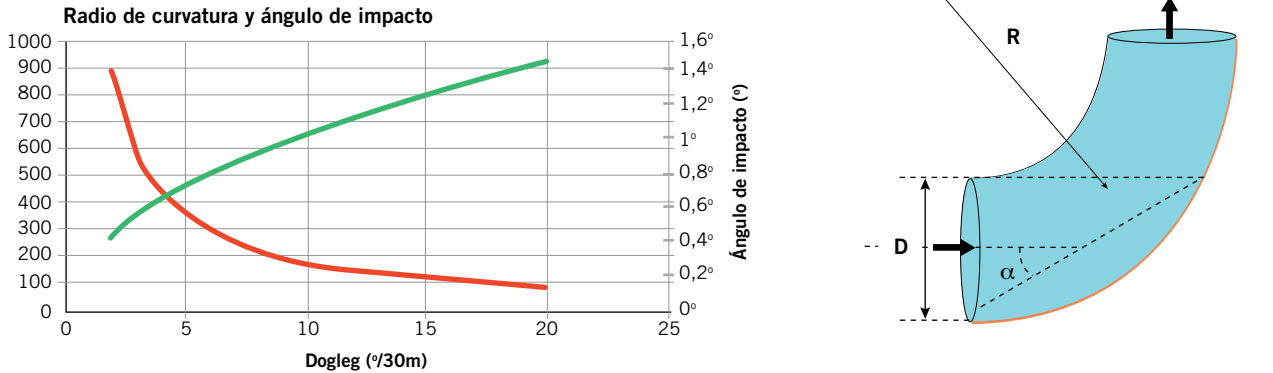


Figura 18. Radio de curvatura y ángulo de impacto de partículas sólidas.

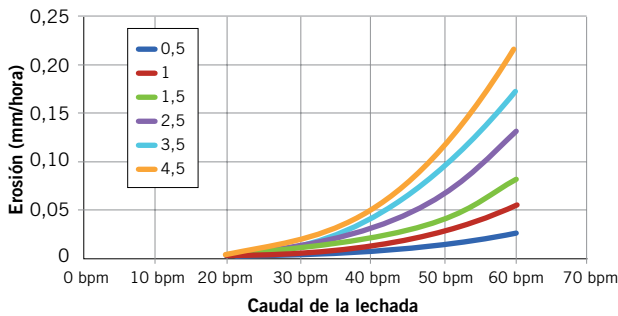


Figura 19. Desgaste erosivo (mm/hora) vs Caudal de bombeo. Diferentes concentraciones de arena. DLS: 14°/30 m.

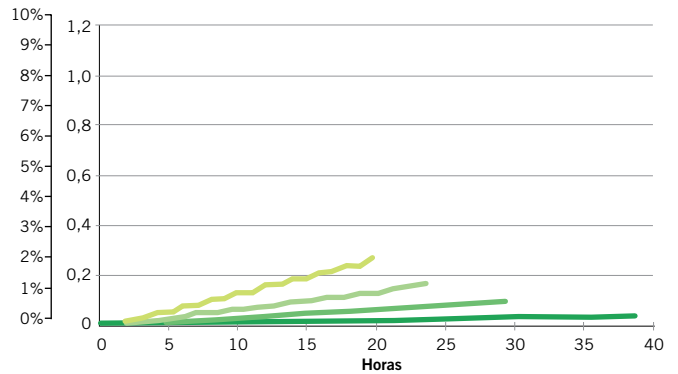


Figura 21. Desgaste erosivo (mm y % al nominal) en tramos rectos de tubería.

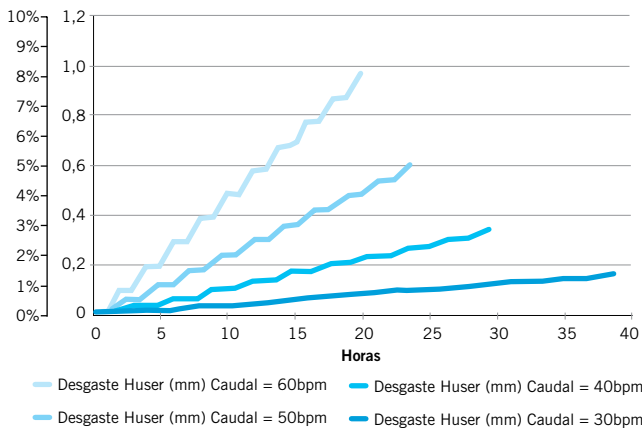


Figura 20. Desgaste erosivo (mm y % al nominal) para un Dogleg de 8°/30 m.

Mediante la comparación de las curvas de MAW y de Desgaste por Erosión Estimado (calculado con modelos validados con casos reales), se puede verificar si el diseño adoptado presenta riesgo de falla por erosión.

En resumen, se ha podido establecer un método para predecir posibles fallas de material debido al efecto de erosión provocado en el proceso de múltiples fracturas hidráulicas. Se determinó que para ciertas geometrías de pozo (*casing* de 5" y DLS máximo de 14°/30 m) y programas de fractura hidráulica (10 etapas a 60 bpm), se puede generar suficiente erosión como para llevar el material a la condición de falla por disminución por pérdida de espesor.

De las evidencias mostradas en este trabajo, queda de manifiesto que en zonas donde se tienen disrupciones del flujo con cambios de dirección y velocidad, el efecto erosivo puede ser causa de fallas de material con consecuentes problemas operativos que implicarían mayores costos.

Soluciones Integradas para Perforación y Producción



Ingeniería Aplicada para
Optimizar su Costo Operativo

Cummins Argentina • Bolivia • Paraguay • Uruguay

Buenos Aires
Tel: +54 (11) 4736 6400

Neuquén
Tel: +54 (0299) 4771719

consultas@cummins.com
www.cummins.com.ar



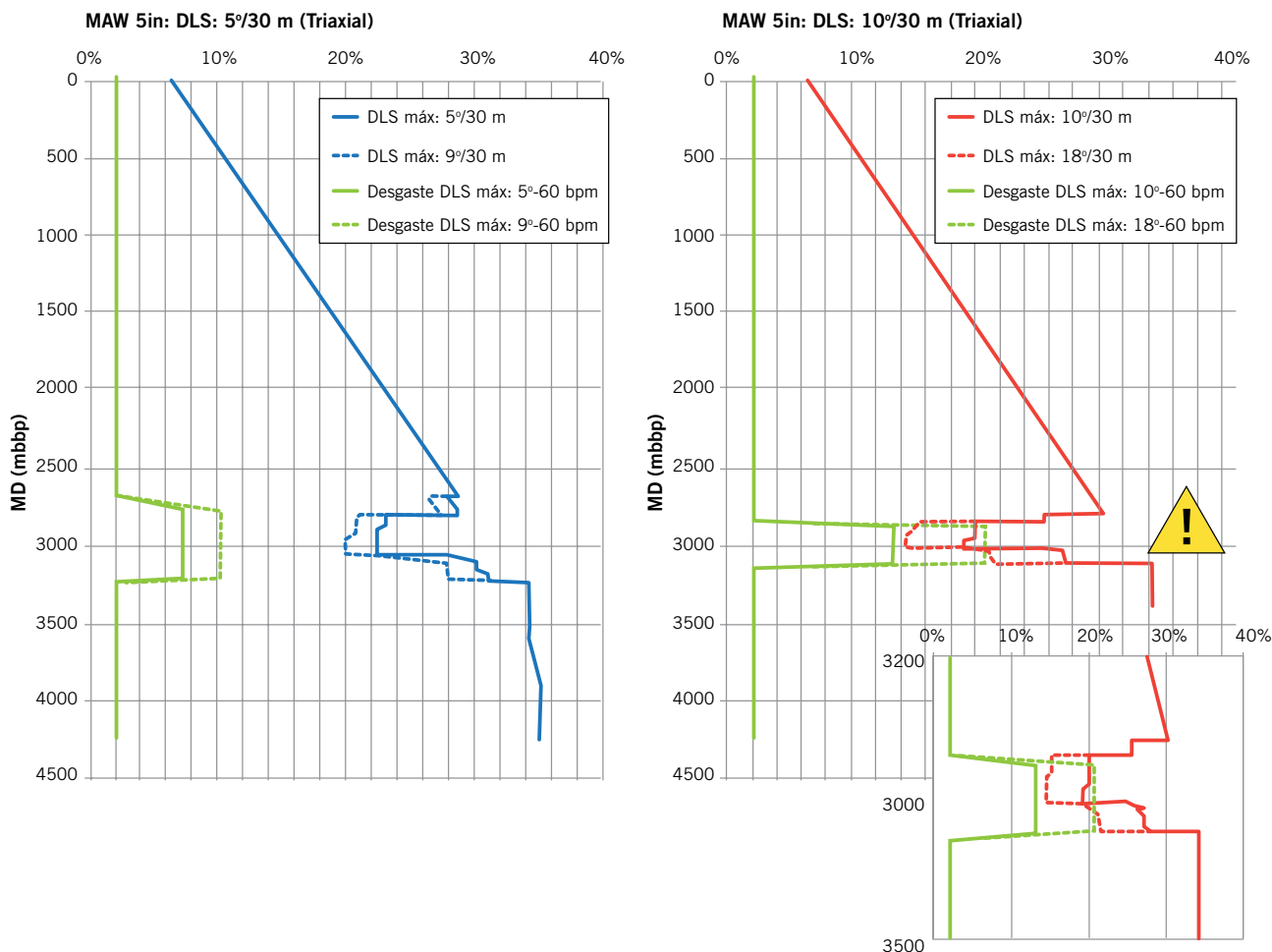


Figura 22. Erosión y MAW. Caudal de bombeo de 60 bpm y diferentes trayectorias de pozo.

Conclusiones

1. Durante la etapa de diseño, se deben considerar los procesos erosivos ocasionados por múltiples tratamientos de fracturas hidráulicas en las tuberías (*Tubing* y *Casing*). Estos procesos erosivos se ven incrementados en las fracturas hidráulicas realizadas en los pozos no convencionales en los que se requiere trabajar con grandes caudales, volúmenes y presiones de fluidos.
2. En las experiencias de campo analizadas se ha demostrado que es posible estimar el proceso erosivo y que el fenómeno de erosión resultó ser la causa raíz de fallas catastróficas en las instalaciones de inyección. Esta estimación permite tomar acciones preventivas y analizar la posible mitigación, por ejemplo, utilizando un *Blast Joint*.
3. Las zonas que deben ser estudiadas en detalle son aquellas donde se encuentra mayor turbulencia y cambios bruscos en la dirección del flujo (*Tree saver*, válvulas de subsuperficie, Niples).
4. En el presente trabajo, se logró establecer un método de diseño de pozo que tiene en cuenta el proceso erosivo.
5. Basados en la experiencia y en la incertidumbre de estos modelos, se plantea la necesidad de avanzar en un modelo computacional de fluido-dinámica para estos

casos particulares de erosión. Los resultados de simulación nos mostrarán el camino para validar, refutar o crear modelos de erosión. ■

Bibliografía

- [1] TÜV Nel Limited, "Erosion in Elbows in Hydrocarbon Production Systems", HSE, 2003.
- [2] Det Norske Veritas, "Erosive Wear In Piping Systems", Recommended Practice RP501.
- [3] Haugen, K., Kvernfold, O., Ronold, A. y Sandberg, R., *Sand erosion of wear-resistant materials: erosion in choke valves*. Wear 186-187, pp 179-188, 1995.
- [4] Huser, A. y Kvernfold, O., *Prediction of Sand Erosion in Process and Pipe Components*, Canadá, 1998.
- [5] Martin, J. W., *Erosion Guidelines Revision 2.1*, 1999.
- [6] Farahani, R. et al, "Assessment and Prediction of Erosion in Completion Systems under Hydraulic Fracturing Operations using Computational Fluid Dynamics", SPE 147514, noviembre de 2011.
- [7] Clark, H. Craig, "Mechanical Design Considerations for Fracture-Treating Down Casing Strings" SPE 14370-PA, junio de 1987.
- [8] M.C. Vincent, "Erosion by Proppant: A Comparison of the Erosivity of Sand and Ceramic Proppants during Slurry and Flowback of Proppant", SPE paper 90604.

Sabemos controlarlo. Podemos prevenirlo.



Más de veinte años de Servicios Comprobados en el **Control de Blowouts y Firefighting** a nivel internacional con Especialistas, herramientas y equipamiento propio.

Unido a una larga experiencia, potenciada con una capacitación permanente, nos permite presentar el **Programa Risk Management SAFE WELL**, para trabajar en la prevención de estas contingencias.

Única Compañía Nacional con trayectoria Internacional en Well Control Services, las 24 hs.

Risk Management SAFE WELL Program

RIG AND WELLHEAD INSPECTIONS & AUDITS:

- Relevamientos de Equipos Torre.
- Rig High Pressure Well Control Equipment.
- Inspecciones a Bocas de Pozos.
- Auditorias de Simulacros de Surgencias en Equipos Torre.

BLOWOUT CONTINGENCY PLANS - BOCP

- Actualizaciones, confecciones y seguimientos.
- Introducción del DIRECTORIO DE SERVICIOS Y EQUIPAMIENTOS PARA BLOWOUTS.
- Training para optimizar estos recursos.

TRAINING:

- Lockwood es acreditado por WellCAP de la IADC, para dictar los Cursos de Well Control.



© AR

Ing. Luis A. Huergo 2914
PIN - Oeste
Q8302SJR - Neuquén - Argentina
Tel.: (+54) 0299 - 4413782/4413785/4413885
Fax: (+54) 0299 - 4413832
www.lockwood.com.ar
informes@lockwood.com.ar



LOCKWOOD

La satisfacción del saber hacer

COMMITTED TO PREVENT ENERGY LOSS