

Innovación en materiales,
instalaciones y herramientas.



En este trabajo se presentan los resultados de un nuevo sistema de remediación de componentes de cabezales desarrollado conjuntamente por un equipo de Y-TEC/YPF, ISI y MMA. Se trata de un sistema polimérico diseñado para generar sellos herméticos permanentes en aplicaciones de pozos de petróleo y gas.

Remediación de cabezales de pozo con materiales poliméricos

Por **Walter Morris, Sofía Rivelli Lavallen y Marcela Mucci** (Y-TEC)

Los cabezales de pozos son componentes de superficie utilizados para vincular las distintas tuberías (*casing* y *tubing*) del pozo para su correcta operación, mantenimiento y monitoreo. Están compuestos por un conjunto de válvulas, carretes, colgadores y elementos empaquetadores que aseguran la hermeticidad de sus secciones. Con cierta frecuencia, el deterioro de los elementos empaquetadores provoca la pérdida de las barreras que garantizan la operación segura del pozo. La reparación de estos componentes implica muchas veces costosas intervenciones con equipo de torre (WO o *pulling*), para asegurar el pozo –colocación de tapones que permitan reemplazar los componentes dañados–.

En este trabajo se presentan los resultados de un nuevo sistema de remediación de componentes de cabezales desarrollado conjuntamente por un equipo de Y-TEC/YPF, ISI y MMA. Se trata de un sistema polimérico diseñado para generar sellos herméticos permanentes en aplicaciones de pozos petróleo y gas. Si bien el sistema fue concebido para operaciones de bombeo a pozo en reemplazo del cemento (tapones balanceados de abandono y reparaciones de roturas), sus propiedades elásticas, su adherencia y su resistencia lo hacen ideal para reestablecer la hermeticidad de componentes de cabezales e instalaciones de superficie que presentan fugas.

Se presentan los resultados obtenidos durante la fase de desarrollo en laboratorio, pruebas de taller y pilotos de campo, además de ejemplos de sellos interno y externo efectuados con éxito en pozos de la cuenca neuquina.

Desarrollo técnico del trabajo

Diseño de formulaciones

Las formulaciones de los materiales poliméricos por utilizar en cada aplicación se diseñaron a partir de una serie de ensayos de laboratorio. A continuación, se describen los más relevantes.

Ensayos de contracción-expansión volumétrica

Uno de los aspectos más importantes de los sistemas de sello polimérico es el fenómeno de expansión-contracción volumétrica asociado al proceso de reacción exotérmica de entrecruzamiento. Para evaluar este fenómeno, se llevan a cabo ensayos sobre formulaciones de materiales compuestos de matriz polimérica variando el porcentaje y el tipo de carga.

Se diseñó un procedimiento de ensayo con el uso de probetas conformadas con moldes metálicos de 7 cm de diámetro y un espesor aproximado de 0,5 cm, donde se colocan 300 ml aproximados de cada uno de los sistemas. Las muestras se mantienen durante 30 min a 50 °C, luego se setea la temperatura de la estufa en 120 °C, que se alcanza en un período de 30 min. Posteriormente, las probetas permanecen a 120 °C durante 60 min, luego se retiran de la estufa y se realiza una inspección.

Finalmente, se dejan las muestras a temperatura ambiente, hasta que los materiales alcanzan dicha temperatura. Una vez conseguida esta condición, se realiza una

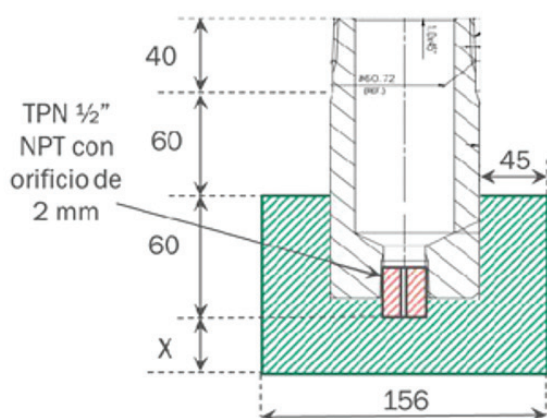


Figura 1. Probeta para evaluar la capacidad de sello externo de las formulaciones poliméricas.

nueva inspección visual, en la cual se registran fisuras en el sistema y despegues respecto de los bordes del molde.

Vale mencionar que la elección de la temperatura máxima del ensayo se debe a que se intenta simular la temperatura que alcanza la mezcla, como consecuencia del calor liberado durante la reacción de entrecruzamiento considerando altos volúmenes de sistema líquido.

Ensayos de adherencia

Según la norma inglesa *Guidelines on Qualification of Materials for the Abandonment of Wells-Issue 2 2015*, si se desean utilizar materiales poliméricos (termorígidos, termoplásticos o elastoméricos) como sistemas alternativos para las operaciones de abandono de pozos petroleros, es necesario que presenten un valor mínimo de resistencia de adhesión al corte de 145 psi (1MPa).

Para evaluar la adherencia de los sistemas en estudio, se diseñó un molde acorde a lo sugerido en la norma inglesa mencionada. La camisa de acero se rellena con el material compuesto hasta una altura de 50 mm y posteriormente es curada en estufa a diferentes temperaturas.

Sobre el sistema polimérico entrecruzado se aplica una fuerza a una velocidad de desplazamiento del pistón de 0,5 in/min (siguiendo los valores recomendados en la norma inglesa mencionada) hasta generar el desplazamiento del sistema por desprendimiento del polímero de las paredes de la celda.

Durante el ensayo se determina la fuerza máxima aplicada, que corresponde a la fuerza mínima necesaria para comenzar a desplazar el sistema polimérico. Con ese valor y el área interna de la camisa de acero en contacto con el material, se utiliza la siguiente ecuación para calcular la resistencia de adhesión al corte:

$$\text{Resistencia de adhesión al corte} = \frac{\text{Fuerza medida}}{\text{Área interna camisa}} \quad (1)$$

Ensayos de capacidad de sello

Para realizar los ensayos de capacidad de sello se utiliza una celda llamada Core Holder Hassler-Type. Esta cel-

da posee en su interior una goma cilíndrica hueca dentro de la cual se ubica la muestra (en este caso, el anillo de acero con la muestra del sistema polimérico con adición de carga) equidistante de los extremos de la celda. En los extremos de la celda se ubican los difusores, cuya finalidad es distribuir el gas (N₂) que se inyecta para que atraviese la muestra completa y no solamente los orificios de los *tubing* por donde circula desde la línea.

A partir de estos ensayos, se determina la capacidad del material para actuar como sellante, es decir, bloquear el pasaje de gas al aplicar el diferencial de presión.

Pruebas de taller

Una vez seleccionadas las formulaciones candidatas para las aplicaciones de campo, se efectuaron una serie de pruebas de taller con el uso de probetas fabricadas con distintos componentes (válvulas, niples, bridas, etc.) en condiciones de fuga conocidas. Se genera un sello con las formulaciones poliméricas y se evalúa su desempeño mediante pruebas hidráulicas. A modo de ejemplo, en la figura 1 se presenta un esquema de las probetas utilizadas para evaluar el desempeño de las formulaciones sellantes aplicadas externamente.

Pruebas de campo

Se han llevado a cabo con éxito trabajos de remediación de cabezales mediante la aplicación de sello externo e interno. En ambos casos, se efectuaron pruebas hidráulicas a los componentes remediados aplicando una presión 1,5 veces la MAPO.

Resultados obtenidos

Resultados a escala laboratorio

Al comparar los resultados obtenidos de las formulaciones con adición de carga y la probeta de referencia (100% resina), se puede concluir que la incorporación de carga sólida ayuda a contrarrestar el efecto de expansión-contracción volumétrica asociado al aumento de tempe-

Resultados de ensayos

Formulación	Temperatura de curado °C	Densidad g/cm ³	Tensión de <i>shear bond</i> Psi	Capacidad de sello
60 %v de polímero + 40 %v de carga A	50	1,63±0,03	2599±300	Probeta de 1,5" y 1cm de espesor soporta 2000 psi
50 %v de polímero + 50 %v de carga A	50	1,72±0,03	2771±300	Probeta de 1,5" y 1cm de espesor soporta 2000 psi
60 %v de polímero + 40 %v de carga E	40	1,09±0,03	2900±300	Probeta de 1,5" y 1cm de espesor soporta 2000 psi

Tabla 1. Resultados de los ensayos de adherencia al corte y capacidad de sello para diferentes formulaciones.

ratura, como consecuencia de la reacción de entrecruzamiento. Adicionalmente se puede indicar que, a medida que aumenta el porcentaje de carga en la formulación, el fenómeno mencionado se va minimizando hasta obtener resultados en los que no se observa despegue/fisuración de la resina respecto del molde.

La viscosidad de los sistemas es otro parámetro a tener en cuenta, ya que el fluido debe tener la capacidad de poder mezclarse homogéneamente y, posteriormente, colocarse en la zona de interés. A partir de los ensayos realizados se puede indicar que, a medida que aumenta el porcentaje de carga en la formulación, también aumenta la viscosidad del sistema.

Debido a los resultados obtenidos, no se recomienda trabajar con formulaciones que contengan menos de 40 % v/v de carga, ya que el efecto de contracción volumétrica debido al curado no se ve contrarrestado.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de adherencia, densidad y capacidad de sello realizados sobre probetas entrecruzadas a diferentes temperaturas de curado (Tabla 1). Vale aclarar que todos los ensayos fueron efectuados a temperatura ambiente.

A partir de un análisis de las tensiones de *shear bond* de las formulaciones, la geometría del carretel, la presión máxima que puede existir en boca de pozo y la aplicación de coeficientes de seguridad es posible realizar cálculos teóricos que permiten determinar la altura del anillo de resina que se debe colocar para asegurar la hermeticidad

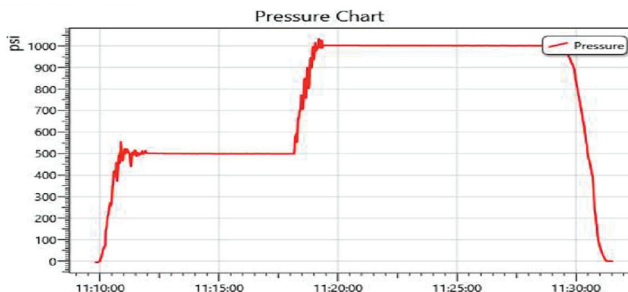


Figura 3. Prueba hidráulica para evaluar la hermeticidad del sello interno en el cabezal con fuga en el colgador de 5 ½".

del cabezal. En las condiciones de la operación, que se mostrará en la sección siguiente, una altura de 10 cm de anillo hubiese sido suficiente para soportar las presiones en boca de pozo. Sin embargo, se optó por completar el volumen del anular con la resina.

Resultados piloto de campo

En la figura 2 se observa la aplicación de sello combinado (sistema polimérico E+B) interno en la sección B del cabezal para sellar fugas en el colgador de Csg de 5 ½".

En la figura 3 se observa el registro de la prueba hidráulica realizada en el cabezal para verificar la hermeticidad del sello.

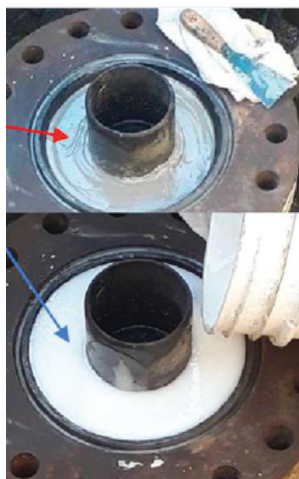


Figura 2. Sello interno de fuga en colgador de Csg de 5 ½".

Conclusiones

Se desarrolló un sistema de remediación de cabezales con fugas que permite hermetizar fugas internas y externas y que soporta elevados diferenciales de presión.

Las formulaciones por utilizar se diseñan mediante pruebas de laboratorio. Previo a la aplicación de campo, la capacidad de sello es evaluada mediante pruebas hidráulicas realizadas en taller en condiciones que simulan las operaciones de campo.

Hasta la actualidad se han realizado con éxito remediaciones de fugas internas y externas. En todos los casos, el acondicionamiento del cabezal con los sistemas poliméricos implicó una reducción de costos aproximadamente de un 90% respecto de las reparaciones convencionales con equipo de torre.