

IAPG-CONGRESO DE PERFORACION

Prevención de fallas en la sarta de perforación mediante el manejo avanzado de la fatiga

Samit R. Gokhale, Richard Zoanni, DeWayne Everage, Nanjiu Zheng, PhD, Juan Munoz P.E. T H Hill Associates, Inc., Juan Pablo Cassanelli, Nicolas Carestia, Pluspetrol Peru Corp., Jaime Tapia, Pluspetrol Norte S.A.

Resumen

Las fallas en la tubería de perforación debido a insuficientes propiedades de materiales se han reducido considerablemente en los últimos años debido a las mejoras generales en el control de calidad de fabricación. A pesar de ello, aún siguen ocurriendo muchas fallas debido a la fatiga, que podrían prevenirse. Con el incremento de la actividad de los equipos de perforación, la creciente densidad de dichos equipos y la búsqueda, a nivel mundial, del mayor número de pozos ultra profundos y de largo alcance hace que la necesidad de un sistema efectivo para el manejo apropiado de la fatiga en la tubería de perforación sea más apremiante que nunca.

El análisis de fatiga de las tuberías de perforación se ha realizado a través del estudio de la fatiga acumulada y los modelos de fractura mecánica. El modelo de fractura mecánica se utilizó para desarrollar el concepto de diseño de fatiga comparativa presentado en un documento anterior (IADC/SPE 87188). El diseño por fatiga comparativo permite una comparación cuantitativa entre el diseño de la sarta de perforación y las alternativas de trayectoria de pozos basadas en la propagación normalizada de fisuras por fatiga y varios parámetros de pozo conocidos como patas de perro severas, tensión colgante, tamaño de la tubería de perforación, tamaño del pozo, etc. Sin embargo, esta técnica preliminar solo muestra el mecanismo de fatiga de la tubería de perforación bajo un determinado conjunto de condiciones operativas. Un tubo de perforación experimenta variaciones importantes en las condiciones de carga a varias profundidades a lo largo de la trayectoria del pozo. Por ello, la técnica de diseño comparativo por fatiga se modificó de modo que incluya prácticamente todas las condiciones operativas experimentadas por la tubería de perforación a fin de calcular y presentar una comparación cuantitativa del daño por fatiga acumulada.

La técnica de daños por fatiga acumulada se aplicó en el campo con resultados prometedores. Esta nueva técnica puede ser aplicada con éxito como herramienta de diseño para comparar las diferentes configuraciones de la sarta de perforación, trayectorias de pozo y operaciones de perforación. Esta técnica también puede utilizarse para calcular los daños por fatiga relativos en las diferentes secciones del pozo y en todo el pozo, identificando de este modo las secciones de la sarta de perforación que acumularán máximo daño por fatiga luego de una serie de operaciones. Luego se puede hacer cambios al manejo subsiguiente de tuberías a fin de ya sea reposicionar las secciones identificadas de la tubería dentro de la sarta o establecer e inspeccionar nuevamente ciertos tramos bajados que se sospecha son de

“alto riesgo”, a fin de minimizar o impedir las fallas inducidas por fatiga.

Este documento discute el enfoque sobre los daños por fatiga acumulada aplicado a la tubería de la perforación y presenta una estrategia de manejo de la fatiga implementada en el campo para las tuberías de perforación, la cual puede disminuir significativamente el grado de fatiga general de la sarta de perforación.

Introducción

Los componentes de la sarta de perforación pueden fallar de diversas formas. La sobrecarga de tensión, la sobrecarga torsional, la falla de modo combinado, la fatiga y la fatiga por corrosión, y las fisuras causadas por factores ambientales son algunos de los mecanismos comunes asociados con las fallas de la sarta de perforación. De todos los mecanismos de falla, la fatiga y la fatiga por corrosión son las principales causas de falla y representan la mayoría de fallas en la sarta de perforación [1] [2]. El daño por fatiga se inicia cuando el componente entra en servicio y está expuesto a alguna forma de estrés cíclico. Debido a que el componente está expuesto a cargas cíclicas repetidas, se producen daños adicionales por fatiga. Este daño por fatiga es acumulativo (irreversible) por naturaleza y progresa hasta que se forma una fisura por fatiga. Si la fisura no es detectada en la inspección y el componente está expuesto a cargas adicionales, ésta crece progresivamente hasta que el componente falla por fuga (lo que generalmente se observa como fisuras lavadas en los tubos de perforación), fractura por fragilidad o una fuerte deformación plástica debido a la sobrecarga del área trasversal restante.

Al construir y diseñar una sarta de perforación, el diseñador debe considerar y equilibrar varias necesidades en conflicto. Deben tomarse en consideración los requisitos hidráulicos, orientación y medición, la limpieza del pozo, la tasa de penetración, la prevención y recuperación de tuberías atascadas y – tal vez lo más importante – la estabilidad estructural de la sarta de perforación. Para garantizar la integridad estructural de la sarta de perforación, el diseñador debe considerar dos modos de falla independientes: sobrecarga y fatiga. En muchos casos, el diseño de la sarta de perforación se concentra en la prevención de las fallas de sobrecarga y no en las fallas de fatiga. Esto se debe a que la mayoría de estándares y especificaciones se centran en el aspecto relacionado con la sobrecarga del diseño. La complejidad, el bajo esfuerzo umbral requerido para el daño por fatiga y el número de variables que afectan la vida útil antes de la rotura de los componentes del sondeo de perforación hacen que el diseño por fatiga sea más difícil.

Para una mitigación eficaz de las fallas por fatiga, deben tenerse en cuenta los daños por fatiga acumulada. Las comparaciones entre varias configuraciones de diseño y las acciones de mitigación basadas únicamente en las cargas totales así como en los valores de esfuerzo y tensión no son suficientes. Deben estimarse los daños por fatiga acumulada y el riesgo de falla a fin de evaluar el impacto de los cambios realizados en el diseño y parámetros de operación en el desempeño estructural de la sarta de perforación. La importancia de estimar los daños por fatiga acumulada, además de las cargas totales y los valores de esfuerzo y tensión se ilustran mediante una curva S-N de “vida total” para tipos comunes de muestras de tubos de perforación de 135 ksi tal como se muestra en la Figura 1 [3]. La diferencia en la magnitud de la amplitud de esfuerzos entre el caso 1 y el caso 2 es de -15%, pero la diferencia en la vida útil antes de la rotura entre el caso 1 y el caso 2 es de aproximadamente +5,000%. Por tanto, es esencial estimar el daño por fatiga para poder realizar cambios en el diseño y tomar decisiones sobre la rotación o inspección del tubo.

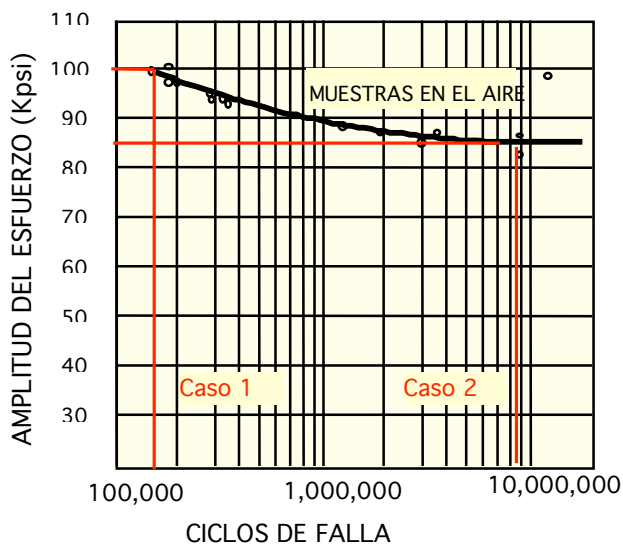


Figura 1: Amplitud de esfuerzos versus ciclos de falla para acero típico de tubería de perforación – H.M. Rollins “Drill Pipe Fatigue Failure”, Oil and Gas Journal, February, 1966.

En el mercado actual, las consecuencias monetarias de una falla en la sarta de perforación pueden ser significativas. Adicionalmente, los márgenes operativos de seguridad están reduciéndose a medida que se perforan más y más pozos de gran profundidad y de alcance extendido. Por tanto, la mayor probabilidad de fallas por fatiga (en comparación con otros mecanismos de falla) así como la creciente densidad de los equipos de perforación y la búsqueda de metas geológicas más exigentes han incrementado la necesidad de un sistema más eficaz de manejo de la fatiga en las tuberías de perforación.

Índice de curvatura (IC) y vida normalizada de propagación de fisura por fatiga

Existen varios enfoques para estimar la vida útil antes de la rotura. El análisis basado en el esfuerzo (generalmente utilizando curvas de amplitud de esfuerzo - vida útil antes de la rotura “S-N”), modelado de vida útil por deformación y los enfoques de los mecanismos de fractura [4] se han utilizado en varias industrias para el diseño de componentes en base a la fatiga. Se han utilizado la predicción de daños por fatiga acumulada basada en las curvas S-N y los modelos de la mecánica de fractura para realizar un análisis de la fatiga en la sarta de perforación [5] [6]. Hill compara y discute las múltiples metodologías para el diseño por fatiga [7]. Un obstáculo importante en la estimación del resto de la vida útil antes de la rotura y la implementación eficaz de un sistema de manejo de fatiga es la falta de conocimientos sobre la historia de la tubería. El diseñador usualmente no sabe cuál es el alcance de la fatiga acumulada; especialmente cuando se usa una sarta alquilada. Un sistema de manejo de fatiga basado en el enfoque de mecánica de fractura brinda una solución práctica a este problema debido a que 1) asume que una fisura, lo suficientemente pequeña como para ser identificada, está presente en todos los tubos de perforación, y debido a que 2) estima el crecimiento de la fisura en cada ciclo en base a la severidad y duración del servicio (después de la inspección) de ese componente. Es en ese momento que se pueden tomar decisiones sobre la rotación del tubo o la re-inspección de secciones específicas para impedir el crecimiento acelerado (en el caso hipotético) de fisuras hasta un punto en que puedan convertirse en un serio problema. Dale [6] sugirió por primera vez el uso de este enfoque para las sarts de perforación. Este enfoque de la mecánica de fractura se utilizó para desarrollar un índice denominado Índice de Curvatura (IC) [7]. El IC permite al diseñador comparar varios diseños de sarta de perforación y alternativas de geometría de pozos en base a la vida normalizada de la propagación de fisuras por fatiga, teniendo en cuenta parámetros de pozo como patas de perro severas, tensión por peso, tamaño de la tubería de perforación, tamaño del pozo, etc. Hill presenta y discute la metodología y la derivación [7].

Clark presenta la aplicación en campo del IC para el diseño de la sarta de perforación [8]. En el caso citado, el operador había experimentado fallas repetidas en la sarta de perforación en un intervalo de pozo, presentando una falla en una tubería que tenía menos de diez horas de rotación desde su inspección. Aunque el estudio de las desviaciones de la verticalidad (tomadas a intervalos de 100 pies) mostraron una máxima severidad de pata de perro de un grado /100 pies, un estudio giroscópico realizado a un espaciamiento de cinco pies a través del intervalo del problema permitió identificar una pata de perro con una severidad de aproximadamente 20 grados/100 pies. En estas circunstancias, se puso en duda la posibilidad de perforar el pozo hasta la profundidad

establecida. Los diseñadores utilizaron el IC para estimar la vida normalizada de propagación de la fisura por fatiga y diseñar una sarta de perforación que era aproximadamente 230 por ciento más resistente a la fatiga que los diseños que estaban presentando fallas. La mejora resultante respecto a la respuesta a la fatiga de la sarta de perforación configurada así como otras múltiples mejoras permitieron al operador terminar exitosamente el pozo sin ningún incidente.

Daño por fatiga acumulada: Puntos de daño

El Índice de Curvatura [7] brinda una herramienta sólida para comparar varios diseños de sarta de perforación y alternativas de geometría de pozo en base a la vida normalizada de propagación de fisuras por fatiga. Sin embargo, esta técnica de “snapshot” solo muestra el mecanismo de fatiga de la sarta de perforación bajo un determinado conjunto de condiciones operativas. Una tubería de perforación experimenta variaciones importantes en las condiciones de carga a varias profundidades a lo largo de la trayectoria del pozo. Por tanto, la tasa de crecimiento de la fisura en cualquier componente de la sarta de perforación variará significativamente según las características del pozo, la ubicación del componente en cualquier momento, y el tiempo y velocidad de rotación en cada ubicación. Para registrar y monitorear el daño por fatiga progresivamente acumulada, se desarrolló un software que interactúa con una aplicación de torque y arrastre y que luego, en base a las cargas y condiciones operativas, calcula el daño por fatiga acumulada. La técnica de diseño por fatiga en base al índice de curvatura se modificó de manera que incluyera prácticamente todas las condiciones operativas progresivas experimentadas por la sarta de perforación con el fin de computar y presentar el daño por fatiga acumulada. El daño por fatiga acumulada es representado mediante “puntos de daño” (PD). ”.

Los puntos de daño por fatiga bajo una determinada condición de carga se definen a continuación:

$$DP_i = \frac{Ciclos \cdot IC}{10^6} = \frac{60 \cdot CI \cdot RPM \cdot Tramo}{ROP \cdot 10^6} \dots\dots(1)$$

Donde para el evento i:

- RPM es la velocidad de rotación promedio en rev/min.
- Tramo es el tramo perforado en pies.
- ROP es la tasa promedio de penetración en pies/horas.
- IC es el índice de curvatura sin unidades [7] definido como:

$$CI = \frac{5 \cdot 10^8}{\text{Número de ciclos de falla}} \dots\dots\dots(2)$$

Los puntos de daño por fatiga acumulada en una tubería de perforación se calculan en base a la regla de Minor donde los puntos de daño ocurridos bajo cada condición de carga (evento i) durante la perforación simplemente se suman:

$$CumDP = \sum_{i=1} DP_i \dots\dots\dots(3)$$

Técnicamente, se puede pronosticar la “falla” una vez que la supuesta fisura inicial atraviesa la pared o alcanza la intensidad de esfuerzo equivalente a la tenacidad a la fractura de materiales por deformación de plano (K_{IC}).

Se perfeccionaron los criterios para establecer los límites de los puntos de daño acumulado al correlacionar los análisis estadísticos previos de falla de tubería de perforación, utilizando los sondeos de pozo reales, ROP de perforación, RPM y configuración de la sarta. Tres de los análisis previos revelaron que se produjeron fallas con regularidad cuando los puntos de daño acumulado ascendían a más de 770. Una de las fallas ocurrió durante una operación de molido en un pozo entubado en el que los parámetros de operación se definieron correctamente y cada tubería de perforación permaneció en una posición fija durante toda la operación. La Figura 2 presenta los resultados de este análisis estadístico de falla previo, mostrando los puntos de daño por fatiga acumulada calculados en la tubería de perforación de clase premium de 5" 19.50# grado S-135 versus la profundidad medida del pozo. El análisis pronosticó un pico estrechamente confinado (un pico de la mitad de ancho es aproximadamente de la longitud de un tubo) debido a los efectos combinados de las condiciones operativas impuestas, el estado de tensión y la pata de perro localizada de 9°/100 ft. El pico de los puntos de daño calculados fue de 9 pies a partir del punto de falla informado.

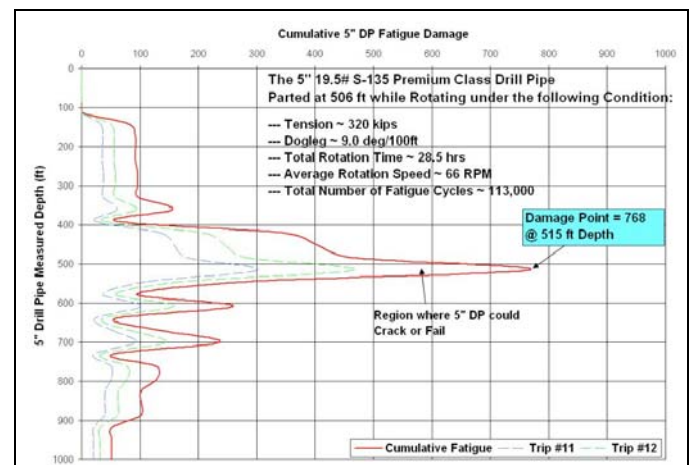


Figura 2: Análisis estadístico previo de una falla por fatiga en una tubería de perforación de 5". Puntos de daño por fatiga acumulada estimados versus profundidad medida.

En este ejemplo en particular, el operador sospechaba que las

prácticas de inspección deficientes habían implicado el uso de tubos de calidad inferior. El análisis previo sugirió que esto no era lo que había sucedido. Un tubo con una amplia fisura no identificada debido a una deficiente inspección hubiera fallado mucho antes, bajo las condiciones de carga impuestas y con muchos menos puntos de daño acumulado resultantes. Fueron las condiciones de carga impuestas con amplitudes de esfuerzo cíclico repetido concentrado en un tramo corto las que causaron la falla por fatiga resultante. El análisis también sugirió que el monitoreo en tiempo real de las operaciones hubiera permitido ver qué secciones del tubo estaban especialmente dañadas. Esto hubiera permitido establecer una estrategia de manejo de tubería que hubiera mitigado la falla al identificar las secciones en alto riesgo con anticipación. Un tubo menos dañado se hubiera podido colocar en el intervalo a fin de equilibrar mejor el desempeño general de la sarta.

La técnica de daño por fatiga acumulada se ha aplicado en el campo con resultados prometedores. Esta nueva técnica puede aplicarse con éxito como una herramienta de diseño para comparar diferentes configuraciones de la sarta de perforación, trayectorias de pozo y operaciones de perforación. Esta técnica también puede utilizarse para calcular el daño relativo por fatiga dentro de diferentes secciones del pozo y dentro de todo el pozo, identificando así secciones de la sarta que acumularán máximo daño por fatiga después de una serie de operaciones. Luego se puede hacer cambios al manejo subsiguiente de tuberías ya sea para reposicionar las secciones identificadas de la tubería dentro de la sarta o tender y re-inspeccionar ciertos tramos bajados que se sospecha de “alto riesgo” para evitar las fallas inducidas por fatiga.

Daño por fatiga acumulada: Aplicación

La meta de desarrollar análisis de fatiga acumulada es pronosticar el daño por fatiga acumulada dentro de la sarta de perforación durante las operaciones de perforación a fin de planificar el manejo de la tubería de modo que el riesgo de falla se minimice. Debe realizarse un análisis previo a la perforación a fin de establecer una línea base y evaluar la necesidad de manejar la tubería de la perforación en tiempo real. El manejo de la fatiga en tiempo real permitirá al operador planificar proactivamente la rotación e inspección de la tubería de perforación de manera que se minimicen los tramos tendidos o inspeccionados y el tiempo ocioso debido a la rotación requerida de la tubería. Esto reducirá la probabilidad de una falla por fatiga y disminuirá los costos asociados con el tiempo de inactividad y la inspección. Para realizar un análisis de fatiga acumulada, además de la información normalmente requerida para el análisis de torque y de arrastre, la siguiente información es considerada como función de la profundidad:

- Velocidades de escariado (“backreaming”) utilizadas (de

ser aplicable)

- Velocidad de rotación de la sarta de perforación durante la perforación con rotaria.
- ROP esperado

Durante un determinado análisis, pueden requerirse otros datos más específicos según las necesidades particulares del análisis.

Antes de perforar el pozo, el análisis asume que todas las tuberías de perforación se han inspeccionado adecuadamente según la Categoría 4 DS-1[®] mas una inspección ultrasónica (UT) en zona de cuñas y recalque (o mayor) [9]. El *punto de daño*, tal como se definió anteriormente, sirve como parámetro principal de medición de la fatiga acumulada en una tubería de perforación. La fisura pre-existente asumida puede o no reflejar el estado real de fatiga de la tubería de perforación en el momento en que ésta es levantada y utilizada. Por este motivo, se esperan recomendaciones conservadoras al momento de utilizar tubería de perforación nueva.

Tal como se señaló anteriormente, para registrar y monitorear el daño por fatiga progresivamente acumulada, se desarrolló software que interactúe con una aplicación de torque y arrastre. El daño por fatiga localmente acumulada se calcula en base a las cargas y condiciones operativas. Primero se calibra la aplicación según los datos de sondeo proporcionados y las configuraciones de la sarta de perforación. Para desviaciones y tortuosidades no planificadas, pueden utilizarse los datos de sondeo reales, al igual que el modelaje de sensibilidades. Luego, se obtienen datos operacionales del personal a cargo del equipo de perforación y éstos son procesados. Las operaciones de perforación por viaje se modelan cuidadosamente en el software de análisis. Estas operaciones se agrupan y analizan por cada sección del pozo. Luego se calcula el daño acumulado para cada tubería de perforación durante la perforación de cada sección del pozo. Debe monitorearse la tubería de perforación a medida que se avanza con la perforación de cada pozo a fin de calcular la acumulación de daños por cada sección de pozo. Esto permite al ingeniero adquirir un valor tubo por tubo para el daño experimentado por cada tubo durante las múltiples operaciones. In situaciones en las que no es posible monitorear cada tubo, se debe realizar una evaluación agrupando los tubos por sección. Aunque la resolución se verá afectada, se logra una mejora de la confiabilidad general.

Los datos para fines de análisis generalmente se envían por uno de los dos siguientes medios: Datos electrónicos de perforación obtenidos a través de data de perforación electrónica en tiempo real (EDR) o software similar de monitoreo del sitio del equipo de perforación, o mediante el envío de Informes de Perforación Diarios (DDR).

Los datos electrónicos se descargan directamente y se graban

localmente. Luego se depuran a fin de eliminar cualquier ruido generado por la realización de conexiones y operaciones de perforación no rotatorias. Los parámetros operativos como la profundidad, velocidad de la rotaria (RPM), peso sobre la barrena (WOB), Tiempo y peso de lodo (MW) se importan directamente hacia el software de análisis. Estos parámetros dependen de la operación y se eligen al momento de ingresar los datos.

Cuando se utilizan los DDR, se extraen datos de los informes, los mismos que se utilizan para la entrada de datos requeridos para calcular la fatiga. Los informes de sondeo son obtenidos del operador todos los días. De estos informes, se extraen datos como el RPM promedio, el WOB y el MW de la sección del pozo. También se pueden obtener estimados de tiempos de operación. Luego, estos parámetros se ingresan manualmente.

Obviamente, el importar a partir de datos electrónicos genera resultados mucho más exactos debido a que se puede modelar y registrar carga precisa en tiempo real. Los (DDR) utilizarán los estimados y sumatorias de las actividades de los días y, por lo tanto, generarán una evaluación mucho menos precisa de la carga impuesta y de los efectos de la variación en las condiciones operativas.

Los resultados se traducen en puntos de daño. Cada sección de pozo genera acumulación de daños con relación a cada tubería de perforación. Se monitorea una junta en particular a lo largo de su ruta a través de la (s) sección (es) de pozo subsiguiente (s), y se aplica toda la acumulación adicional. Esto continúa hasta que el pozo llegue a la TD. De esta forma, es posible monitorear cada tubería de manera precisa a medida que las condiciones de carga varían con la profundidad.

Análisis de daños por fatiga acumulada: Planificación y tiempo real

El análisis por fatiga acumulada puede ser dividido en dos categorías: Planificación y análisis en tiempo real. En la planificación o etapa pre-perforación de un proyecto, se lleva a cabo un análisis simulado de las operaciones planificadas de perforación para cada sección del pozo desde el barrenado inicial hasta la TD. Se crea este modelo para estimar la acumulación de fatiga de la sarta de perforación que se puede esperar. Al trabajar a partir de estos resultados se pueden tomar decisiones respecto a los niveles y frecuencia de inspección, manejo de la tubería de perforación y cronograma de rotación, y optimización adicional del diseño.

El análisis pre-perforación determina si se puede garantizar un monitoreo de la fatiga en tiempo real. Durante el monitoreo en tiempo real, las operaciones de perforación son modeladas diariamente a medida que se llevan a cabo. Los resultados permiten comparar la acumulación de fatiga en tiempo real con el análisis de pre-planificación y sirven para pronosticar la

rotación e inspección de la tubería de perforación por venir. El monitorear de esta manera los daños por fatiga permite que se roten o inspeccionen secciones de la sarta de perforación según cada tope de punto de daño pre-determinado. Esto minimizará el tiempo ocioso al eliminar la necesidad de sacar toda la sarta para inspección y permitirá al personal mitigar las fallas por fatiga mediante el manejo de las secciones dañadas de la sarta.

Aplicación en el Campo

Se presenta un ejemplo de aplicación en el campo donde se llevaron a cabo tanto el análisis de la etapa de planificación como el análisis en tiempo real. La Figura 3 ilustra la trayectoria general del pozo como se observa en la aplicación de campo detallada. Se muestran las profundidades objetivo de revestidores así como las DLS planificadas.

Para esta aplicación, se llevó a cabo un análisis de fatiga pre-perforación para identificar los niveles esperados de daño impuestos a la tubería de perforación durante las operaciones de perforación planificadas. Luego se usó este pronóstico para determinar los requisitos de monitoreo en tiempo real de los daños acumulados al llevarse a cabo realmente la perforación. Seguidamente se dan mayores detalles tanto de los análisis de pre-perforación como en tiempo real.

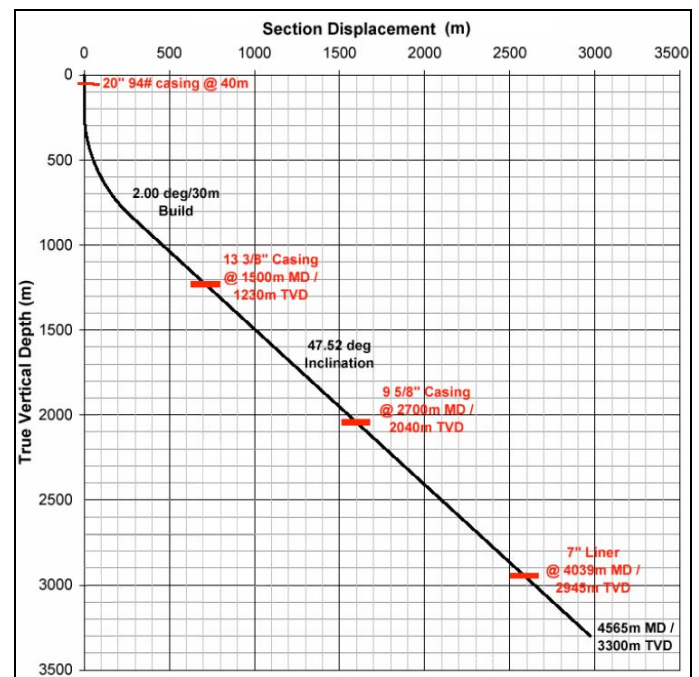


Figura 3: Aplicación de campo de la trayectoria del pozo

La Figura 4 presenta los daños por fatiga acumulada pronosticados para las operaciones de perforación planificada desde el barrenado inicial hasta la TD. Como se puede ver en

el gráfico, los resultados están desglosados en acumulación de daños por fatiga como resultado de la perforación de cada sección del pozo, y se resumen en una representación acumulativa del recorrido en pies de la sarta de perforación.

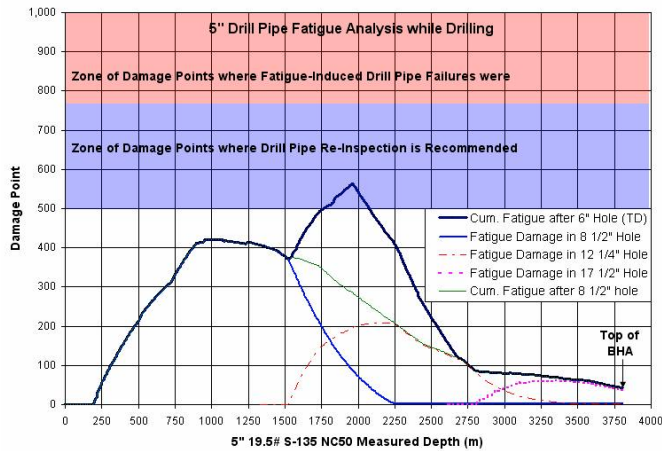


Figura 4: Resultados de daños por fatiga acumulada en la etapa de planificación

Como se puede ver en la Figura 4, para la aplicación particular, el punto de quiebre para la acumulación de daños por fatiga sin rotación o inspección de la sarta de perforación, se fijó para 500 puntos de daño. Se puede ver que gran parte de la fatiga de la sarta de perforación se acumuló mientras se perforaba la sección de 8-1/2". La perforación subsiguiente en el hueco abierto de 6" lleva la fatiga acumulada por sobre los 500 puntos de daño. Durante la etapa de planificación para este pozo, se recomendó que se tienda la sarta de perforación para su inspección, se hagan cambios o se rote antes de perforar la sección de 6". Se programaron para inspección o rotación los 200 tramos de tubos que comprenden la parte de la sarta que se espera encubran la marca de 500 puntos de daño. Durante esta etapa del análisis, es necesario hacer algunas suposiciones respecto a la forma en la que se manipuló y apiló la tubería. Por lo tanto, se torna en crucial durante las operaciones en tiempo real que la tubería de perforación sea monitoreada adecuadamente por la cuadrilla de perforación.

La Figura 5 representa los resultados del análisis en tiempo real. La atención primaria estuvo centrada en identificar la acción siguiente que se requería para mantener la acumulación de puntos de daño por debajo del punto de quiebre. Es deseable que esta acción pendiente sea identificada con el tiempo suficiente como para planificar el manejo de la tubería de perforación de manera que se minimice el efecto sobre las operaciones y el tiempo de uso del equipo.

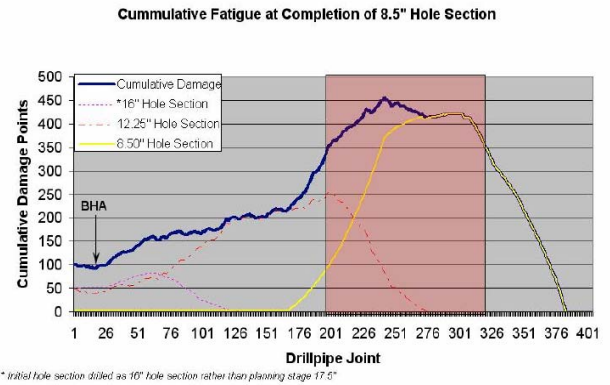


Figura 5: Resultados de daños por fatiga acumulada en tiempo real

En la Figura 5, observe la fatiga acumulada (línea continua) al culminar la sección de pozo de 8.5". Cuando se compara con la Figura 4 (línea continua), el nivel de daño es muy cercano a la acumulación proyectada determinada durante la planificación. La fatiga ligeramente más alta modelada durante el tiempo real se debe a la rotación prolongada durante la circulación y las desviaciones en las operaciones reales de perforación (en comparación a las planificadas). Con el modelado en tiempo real siguiendo estrechamente los resultados de la pre-perforación, el operador eligió rotar la tubería como lo recomendó la pre-perforación para evitar que los niveles de acumulación excedan los 500 puntos de daño. La rotación se correlacionó directamente a la cuenta de tubería de perforación cuando se saca del pozo después de terminar con la sección de 8.5".

En el ejemplo de aplicación de campo presentado, el pozo fue perforado con éxito utilizando primariamente tubería de perforación Clase II con la exigencia de una rotación de tubería. Se puede ver claramente que en una situación donde se espera que la acumulación de fatiga sea importante como en pozos desviados, operaciones de desvío (sidetrack) y ERD, se torna en crucial el monitorear estrechamente la acumulación de daños. Esto se hace no solamente para mitigar las fallas por fatiga en la sarta, sino también para operar económicamente la sarta a fin de lograr la más alta probabilidad de éxito sin el costo asociado a la inspección no garantizada.

Conclusiones

El aumento de la actividad de los equipos de perforación, la creciente densidad de dichos equipos y la búsqueda mundial en pos del mayor número de pozos ultra profundos y de largo alcance, ha incrementado la necesidad de un sistema efectivo de manejo de la fatiga de la tubería de perforación.

La metodología del Índice de Curvatura (un índice adimensional que normaliza la vida de propagación de fisura por fatiga – presentado en un artículo anterior IADC/SPE 87188) [7] ha tenido un desarrollo adicional para determinar el daño por fatiga acumulada inducido en un tubo de perforación considerando las progresivas condiciones operativas que experimenta la tubería de perforación. El daño por fatiga acumulada se presenta en términos de “puntos de daño (DP)” y se calcula usando un software que interactúa con una aplicación de torque y arrastre.

El análisis de daño por fatiga acumulada puede llevarse a cabo en la etapa de planificación o pre-perforación de un proyecto. Los resultados pueden usarse para hacer recomendaciones respecto a los niveles y frecuencia de inspección, manejo y cronograma de rotación de tubería de perforación, y optimización adicional de diseño. El análisis de daños por fatiga acumulada también puede realizarse en tiempo real. El análisis de daños por fatiga en tiempo real ayuda a pronosticar la rotación e inspección de la tubería por venir. El análisis minimiza el tiempo ocioso al eliminar la necesidad de sacar toda la sarta para su inspección y permite al equipo de trabajo mitigar las fallas por fatiga mediante el manejo adecuado de las secciones dañadas de la sarta de perforación.

La técnica de daño por fatiga acumulada ha sido aplicada en el campo con resultados prometedores. Esta nueva técnica puede ser aplicada con éxito como herramienta de diseño para comparar las diferentes configuraciones de la sarta de perforación, trayectorias de pozo y operaciones de perforación. Esta técnica también puede utilizarse para calcular el daño relativo por fatiga dentro de diferentes secciones del pozo y dentro de todo el pozo, identificando así secciones de la sarta que acumularán máximo daño por fatiga después de una serie de operaciones. Se puede lograr el manejo adecuado de la tubería ya sea reubicar secciones identificadas de tubería dentro de la sarta o tender y re-inspeccionar ciertos tramos sospechosos de “alto riesgo” para minimizar si no evitar las fallas inducidas por la fatiga.

Referencias

1. Hill, T.H., Seshadri, P.V., Durham, K.S.: “A Unified Approach to Drillstem Failure Prevention,” SPE 22002, 1991.
2. Clark, J., Reynolds, N., Ellis, S., Stuart, J.: “Advances in Fatigue Design: Curvature Index Theory and Case Study,” *World Oil* (Oct. 2003) 29.
3. Rollins, H.M., “Drill Pipe Fatigue Failure”, *Oil and Gas Journal*, 1996
4. Dowling, Norman E., *Mechanical Behavior of Materials; engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue*. Prentice Hall, 1993.
5. Sathuvalli, U.B, Payne, M.L, Pattillo, P.D, Livesay, R.B. “Advanced Assessment of Drillpipe Fatigue and Application to Critical Well Engineering” SPE/IADC 92591 (2004).
6. Dale, B.A.: “An Experimental Investigation of Fatigue Crack Growth in Drillstring Tubulars,” SPE 15559 (1986).
7. Hill, T.H, Ellis, S, Lee, K, Reynolds, N, Zheng, N, “An Innovative Design Approach To Reduce Drill String Fatigue” SPE/IADC (2004).
8. Clark, J., Reynolds, N., Ellis, S., Stuart, J.: “Advances in Fatigue Design: Curvature Index Theory and Case Study,” *World Oil* (Oct. 2003) 29.
9. T H Hill Associates, Inc.: DS-1[®] Volume 3, “Drill Stem Inspection,” Third edition, T H Hill Associates, Inc. (Jan. 2004).

Leyenda

EDR- Electronic Drilling Recorder- data de perforación electrónica en tiempo real
 MW- Mud Weight- Peso de Lodo
 RPM- Velocidad de mesa rotaria
 WOB- Peso sobre la barrena
 DDR-Daily Drilling Report- Informes Diarios de Perforación
 DS-1TM- Norma de Calidad complementaria al API para tubulares y ensamblajes de perforación
 ROP- Tasa de Penetración
 IC- Indice de Curvatura