

Caracterización de Desgaste de Casing: Distribución de Desgaste entre el Elemento Rotativo y el Casing.

Jose Alberto Barreto Salazar jbarretosalazar@tenaris.com, Santiago Grittini sgrittini@tenaris.com, Raffaello Zambetti rzambetti@tenaris.com, Tenaris. Walter Tuckart, wtuckart@uns.edu.ar Universidad Nacional del Sur.

Sinopsis

Un desafío entre los operadores de Oil & Gas alrededor del mundo es el desgaste de tubulares, que deriva en problemas de integridad del pozo. En este fenómeno no deseado las tuberías involucradas se ven afectadas por la reducción de material, ya sea del lado del elemento rotativo en su superficie exterior (pérdida de diámetro exterior) o del lado del casing circundante en su superficie interior (pérdida de espesor de pared). Para conocer qué elemento puede sufrir más desgaste durante operaciones que impliquen rotación y donde haya contacto entre dos tubulares, se confeccionó un tribómetro según los parámetros propuestos por la norma API STD 7CW (2015) [1] que permite obtener información para dichas distribuciones.

La configuración del ensayo incluye un elemento rotativo y un elemento fijo (teja de casing) que se ponen en contacto durante 8 horas de prueba mientras se hace circular lodo de perforación. Luego de la evaluación dimensional de las superficies de ambos elementos, se pudo estimar cuál de ellos sufrió más desgaste y establecer proporciones de daño para diferentes combinaciones de grados de “Oil Country Tubular Goods” (OCTG).

Para obtener las tendencias de distribución del desgaste, se realizaron más de 70 ensayos de laboratorio combinando grados de acero en condiciones repetitivas y consistentes, siguiendo el estándar previamente mencionado [1]. El valor de la fuerza de contacto se fijó y se mantuvo constante entre ambos elementos durante los ensayos. La proporción de pérdida de material se obtuvo utilizando la función de medición de desplazamiento del carro con el que se aplica carga entre elemento rotativo y la teja de casing, donde se registran las pérdidas de material para cada elemento en comparación con sus dimensiones originales.

Teniendo en cuenta la totalidad de la pérdida de material durante la prueba, el desgaste se registró una distribución de alrededor del 25%-75% entre los elementos rotativos y del casing respectivamente. Las distribuciones de desgaste fueron analizadas como una función de diferentes combinaciones de pares de grados de acero. Esto permitió obtener una nueva guía de referencia para la asignación de distribución de desgaste que se utilizará en simulaciones típicas de toque y arrastre y capacidad remanente de tuberías.

Introducción

El desgaste de casing ocurre en diferentes condiciones que se pueden dar en pozo. Entre los casos que pueden mencionarse están: agregar mayor peso a la sarta de perforación para poder avanzar en la construcción del pozo, donde tubulares más robustos pueden causar mayor afectación en el casing previamente instalado dependiendo de sus dimensiones; otra situación generadora de desgaste en el casing sería cuando las fuerzas de contacto entre la sarta de perforación y el casing aumentan, debido a la interacción de tubulares en las zonas de alta desviación en el pozo donde el desgaste puede ser severo en los tramos curvos de la trayectoria. Otro ejemplo podría ocurrir durante la corrida o instalación de un casing, aquí el casing previamente instalado sufre el contacto de próximo casing a instalar. Puede darse el caso además de que el interés del operador no sea solamente mantener el casing con el menor daño posible sino también entender cuanto sufriría la sarta de trabajo/perforación durante cada operación para poder estimar su vida útil. Por todas estas posibles situaciones de pozo se analizó la interacción de los tubulares y cuan

severo puede ser el desgaste para ambos nodos del conjunto obteniendo la proporción del daño entre el elemento tubular ya instalado y el elemento que estaría pasando dentro durante la perforación o instalación.

Para la obtención de la distribución del daño entre el elemento rotativo y el casing se realizaron pruebas de desgaste de casing con parámetros similares a los estipulados por el standard API 7CW (2015) [1] que contempla el uso de un tribómetro (Figura 1). Este consta de un motor rotativo asociado a un eje, sobre el que se registra el torque de manera continua y que se acopla el elemento tubular que haría las veces del elemento que rota dentro del pozo. El set también incluye un segmento en forma de “teja” de casing fijado en una base dentro de una bandeja donde circula el lodo de perforación. El conjunto casing-bandeja está montado en un carro vertical sobre el que se aplica la carga mediante un actuador neumático (Figura 2) que la mantiene constante durante todo el ensayo. A medida que el conjunto casing-elemento rotativo se desgastan, el carro asciende (el eje rotativo del tubo se mantiene siempre en la misma oposición) y se registra el desplazamiento con un sensor (Figura 3) tipo LVDT (por sus siglas en inglés Linear Variable differential Transformer) durante el desarrollo del experimento.



Figura 1. Tribómetro para pruebas de desgaste

Los parámetros de la prueba fueron los siguientes: 10 cm de longitud de elemento rotativo y de casing, 8 horas de duración de la prueba o hasta que alguno de los elementos consumiera todo su espesor, circulación de lodo de perforación de entre 9.2 y 10.1 ppg (1102.4 kg/m^3 – 1210.3 kg/m^3) a una tasa de flujo de entre 5 y 10 lt/min, rotación de $155 \pm 4 \text{ rpm}$ y una fuerza de contacto de 3000 lb/ft (4464.5 kg/m) equivalente a 984.5 lbs. (446.5 kg) de acuerdo con la longitud de las probetas.



Figura 2. Actuador Neumático

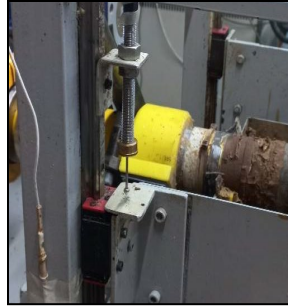


Figura 3. Sensor de desplazamiento LVDT.

Distribución de Desgaste entre elemento rotativo y casing

Se realizaron más de 70 ensayos de desgaste en laboratorio basados en el standard API 7CW (2015) entre distintos materiales OCTG, de los cuales fueron seleccionadas para el análisis 34 pruebas que representan 17 combinaciones de grados y diámetros del elemento rotativo y casing de las más utilizados en operaciones en campo. (Figura 4)

La muestra contempló diámetros de elementos rotativos de 4.5 in (114.3 mm), 5.5 in (139.7 mm), y 6.5 in (161.1 mm), y de elemento casing de 9.625 in (244.48 mm), y 13.625 in (346.08 mm).

Los grados incluidos en la muestra seleccionada fueron:

- Para los elementos rotativos: K55, L80, L80 28Cr Alloy, AISI4145 (Drill collar), T95, y Q125
- Para los casings: K55, L80, T95, P110, TAC140.



Figura 4 – Elemento rotativo y teja de casing ensamblados para la prueba.

Para estimar la reducción del diámetro externo OD (por sus siglas en ingles de outside diameter) en el elemento rotativo se realiza primero el cálculo de cuanto material pierde con relación a sí mismo. Para ello se midieron los diámetros externos en tres puntos del elemento rotativo antes de la prueba y se obtuvo un promedio de OD. Esto mismo se repitió luego de las 8 horas de prueba, obteniendo un nuevo promedio de OD. En la figura 5 se muestra un esquema de la variación de OD del elemento rotativo. Luego para obtener el porcentaje de reducción de material con relación a sí mismo se utilizó la ecuación 1.

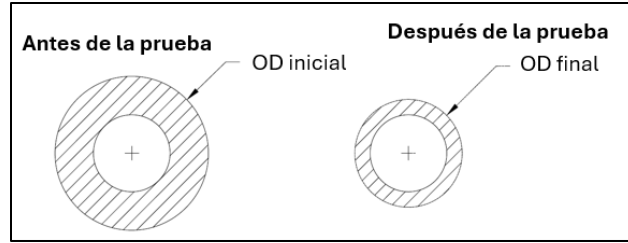


Figura 5. Variación de OD en elemento rotativo

$$\% \text{ de reducción de OD} = 1 - \frac{\text{Promedio OD final}}{\text{Promedio OD inicial}}$$

Ecuación 1. Porcentaje de Reducción de OD

Del mismo modo que para el elemento rotativo, se realizó la medición del elemento casing para entender cuanto material pierde con relación a sí mismo. Se identificaron tres puntos a lo largo de la teja de casing, donde se empleó un medidor de espesor por ultrasonido para obtener los valores de espesor de pared, obteniendo promedios de espesor, tanto al inicio, como luego de las 8 horas de prueba, asegurándose de medir la zona afectada por el desgaste. En la figura 6 se muestra un esquema de la variación de espesor de pared WT (por sus siglas en inglés de wall thickness) del elemento casing. Luego en los cálculos se sustituyeron los términos asociados al OD por el espesor de pared WT de la ecuación 1, para obtener el desgaste de espesor de la teja de casing con relación a sí misma, resultando en la ecuación 2. En la figura 7 se muestra como es llevado a cabo el control dimensional de los elementos de la prueba.

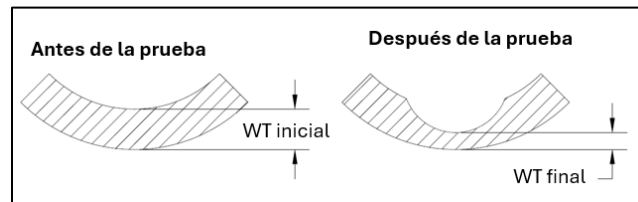


Figura 6. Variación de WT en teja de casing

$$\% \text{ de reducción de WT} = 1 - \frac{\text{Promedio WT final}}{\text{Promedio WT inicial}}$$

Ecuación 2. Porcentaje de Reducción de WT



Figura 7. Control dimensional del elemento rotativo y casing

Una vez se tiene registro de los OD del elemento rotativo y de WT de la teja de casing, fue utilizada la relación entre promedios iniciales y finales. Luego para obtener el desgaste total de la prueba se sumaron ambos desgastes. Por último, para obtener el % de desgaste asociado a cada uno de los elementos, se efectuó el cociente entre el desgaste de cada elemento y el desgaste total de la prueba. La figura 8 muestra un diagrama del desgaste total en luego de la prueba. La secuencia de cálculo se muestra en las siguientes formulas:

$$\text{Desgaste elemento rotativo} = \text{Promedio inicial OD} - \text{Promedio final OD}$$

Ecuación 3. Desgaste elemento rotativo

$$\text{Desgaste elemento casing} = \text{Promedio inicial WT} - \text{Promedio final WT}$$

Ecuación 4. Desgaste elemento casing

$$\text{Desgaste total de la prueba} = \text{Desgaste elemento rotativo} + \text{Desgaste elemento casing}$$

Ecuación 5. Desgaste total de la prueba

$$\% \text{ de Desgaste elemento rotativo} = \frac{\text{Desgaste elemento rotativo}}{\text{Desgaste total de la prueba}}$$

Ecuación 6. Porcentaje de desgaste total asociado al elemento rotativo

$$\% \text{ de Desgaste elemento casing} = \frac{\text{Desgaste elemento casing}}{\text{Desgaste total de la prueba}}$$

Ecuación 7. Porcentaje de desgaste total asociado al elemento rotativo

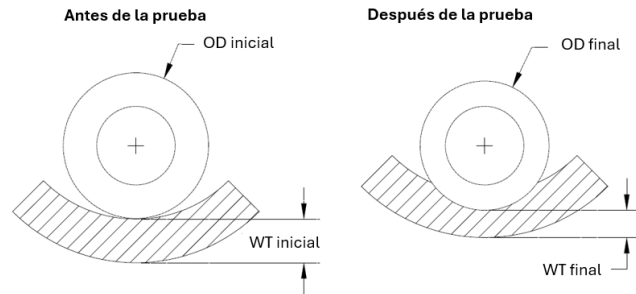


Figura 8. Representación del desgaste total

Se utilizó la misma secuencia de cálculo para todos los pares de materiales de la muestra. Para cada combinación de grados de elemento rotativo y casing se realizaron dos o más pruebas de desgaste exactamente iguales, de modo que las distribuciones de desgaste obtenidas sean el promedio entre dichas repeticiones. La tabla 1 muestra los resultados de la distribución de desgaste entre el elemento rotativo y casing promedio para cada combinación de grados.

Grado del Elemento Rotativo (ER)		Grado del Casing				
		K55	L80	T95	P110	TAC 140
K55	Casing	44.5%	80.6%	75.3%	67.2%	84.8%
	ER	55.5%	19.4%	24.7%	32.8%	15.2%
L80	Casing		64.9%			78.4%
	ER		35.1%			21.6%
28 Cr Alloy	Casing	53.8%		52.4%	54.0%	
	ER	46.2%		47.6%	46.0%	
Drill Collar	Casing					87.3%
	ER					12.7%
T95	Casing		82.1%		78.5%	79.7%
	ER		17.9%		21.5%	20.3%
Q125	Casing		81.9%	77.2%		90.1%
	ER		18.1%	22.8%		9.9%

Tabla 1. Resultados de distribución de desgaste. Muestra del Análisis

Análisis de resultados

Si bien los resultados presentados ya son aplicables en los análisis de desgaste que se realizan en los diseños de pozos, para estimar cuan afectado resultaría el casing o los elementos de la sarta de perforación en las operaciones, se continuó analizando la data obtenida durante las 8 horas de duración de cada prueba, con la finalidad de encontrar tendencias en las distribuciones de la Tabla 1.

Para ello, se revisaron las evoluciones del factor de desgaste WF (por sus siglas en inglés de Wear Factor) y del coeficiente de fricción CoF (por sus siglas en inglés de Coefficient of Friction) durante las 8 horas de cada una de las pruebas realizadas.

Dado que se registró el desplazamiento de la bandeja en cada instante de la prueba, fue posible determinar el volumen removido y por lo tanto el WF en cada momento. Con el tribómetro además se registró el torque durante toda la prueba permitiendo calcular la fuerza de fricción y por lo tanto el CoF en cada momento.

La secuencia de cálculo para obtener la evolución de ambos factores es la siguiente:

Para el WF:

1. Se obtuvieron los desplazamientos en mm para cada intervalo de tiempo. En el análisis se evaluaron intervalos de 10 minutos para cada valor de desplazamiento.
2. En cada intervalo de tiempo pudo obtenerse un valor de desplazamiento “total”, que luego fue multiplicado por los porcentajes de distribución de desgaste correspondiente para el par de materiales en contacto (Tabla 1). Dicha distribución fue utilizada en todos los intervalos de tiempo de una misma prueba, lo que permite obtener los mm de ese desplazamiento que corresponden al elemento rotativo y al casing por separado.
3. Tomando las mediciones iniciales del OD del elemento rotativo y de WT casing, junto con los mm del desplazamiento de cada elemento en cada intervalo de tiempo, se efectuó la diferencia y se obtienen OD y el WT en cada instante. Adicionalmente se calcula el diámetro interno ID (por sus siglas en inglés de Internal diameter).
4. Para calcular el volumen removido WV (por sus siglas en ingles de Wear Volume) en cada intervalo de tiempo se utilizó la ecuación descripta por Mitchell IADC/SPE 151448 [2]:

$$WV = 12(\beta r^2 + 2\sqrt{P(P-R)(P-r)(P-S)} - \alpha R^2)$$

Ecuación 8. Volumen removido

Donde:

WV = volumen removido por pie en in³ (conversión 1 in³ = 1.6387 x 10⁵ m³)

$S = R - (r - h)$ en pulgadas

R = radio interno del casing, en pulgadas (conversión 1 in = 0.0254 m)

r = radio externo del elemento rotativo, en pulgadas (conversión 1 in = 0.0254 m)

h = profundidad de la ranura generada en el desgaste, en pulgadas = Desplazamiento del elemento rotativo (conversión 1 in = 0.0254 m)

$P = (R + r + S)/2$ en pulgadas

$\cos \alpha = (R^2 + S^2 - r^2)/2RS$

$\beta = \arctg \left(\frac{R \sin \alpha}{R \cos \alpha - S} \right)$

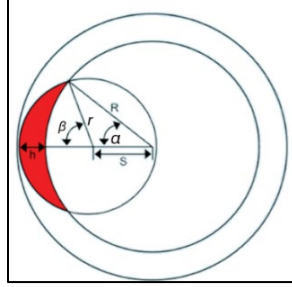


Figura 9. Representación gráfica de Volumen removido

- Una vez calculado el Volumen removido para cada prueba en cada intervalo de tiempo, se procedió a calcular el WF. Para ello se utilizó la ecuación 9.

$$WF [E - 10psi^{-1}] = \frac{WV [in^3]}{Fuerza\ de\ Contacto [lbf] * distancia\ de\ deslizamiento [in]}$$

Ecuación 9. Cálculo de Wear Factor

Donde:

Fuerza de contacto = 984.5 lbs., constantes durante toda la duración de la prueba. (≈ 4377.94 N)

Distancia de deslizamiento [in] = OD elemento rotativo [in] * Π * RPM * tiempo transcurrido [hr] * 60

RPM = velocidad angular, 155, fijos durante toda la prueba.

$$WF [MPa^{-1}] = \frac{WV [mm^3]}{Fuerza\ de\ Contacto [N] * distancia\ de\ deslizamiento [mm]}$$

Ecuación 10. Wear Factor. Unidades SI

- Una vez completada la secuencia de cálculo se obtuvo un gráfico de evolución de WF para cada prueba realizada, como se muestra en la Figura 10. En el gráfico se pueden observar 2 curvas donde se testeó K55 como elemento rotativo y P110 como casing, y ellas muestran un pico de WF al inicio de la prueba, que a medida que las superficies de los materiales interactúan se estabiliza obteniendo valores de WF en el rango de los números descriptos por Mitchell en el paper IADC/SPE 151448 [2].

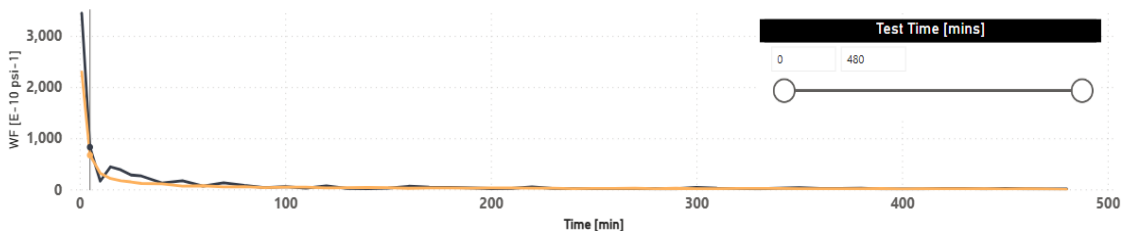


Figura 10. Gráfico de Evolución de Wear Factor. 8 horas de prueba.

- Para observar los valores de WF representativos del ensayo durante las 8 horas, se efectuó una verificación denominada “Tiempo de estabilización”, en la que básicamente se revisaron los

intervalos de tiempo, donde las irregularidades más significativas van desapareciendo. En la figura 11 se muestra el zoom del mismo ejemplo anterior luego de 80 minutos de prueba, donde el valor promedio de WF oscila alrededor de los 23 E-10 psi⁻¹.

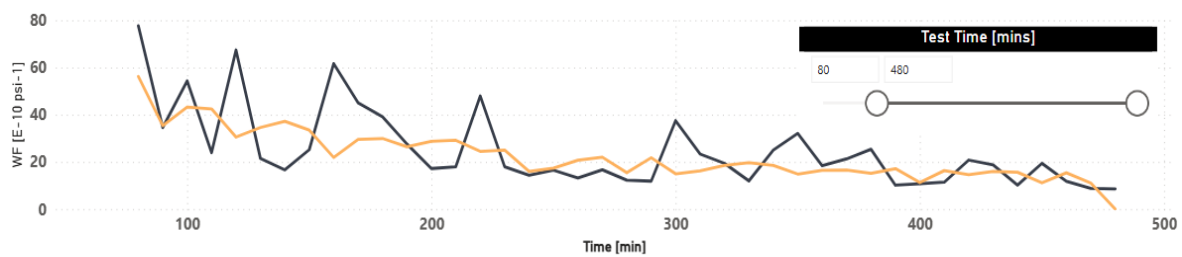


Figura 11. Gráfico de Wear Factor luego del tiempo de estabilización.

Este análisis se hizo para las 34 pruebas de la muestra obteniendo los valores de la Tabla 2 en cuanto a tiempos de estabilización y los valores de la Tabla 3 para WF máximos y promedio de cada uno de los 17 pares de materiales combinados:

Grado del elemento Rotativo	Grado del Casing / Tiempo de estabilización [min]				
	K55	L80	T95	P110	TAC140
K55	45	25	30	80	15
L80		30			30
28 Cr Alloy	30		25	40	
Drill Collar					30
T95		20		30	30
Q125		40	40		40

Tabla 2. Tiempos de estabilización.

Grado del elemento Rotativo	WF [E-10 psi ⁻¹]	Grado del Casing				
		K55	L80	T95	P110	TAC140
K55	AVG	101.17	1.73	22.63	23.75	0.78
	MAX	318.70	6.60	160.17	77.68	2.57
L80	AVG		2.25			1.10
	MAX		7.20			4.53
28 Cr Alloy	AVG	6.38		4.45	5.56	
	MAX	18.95		15.49	13.76	
Drill Collar	AVG					6.71
	MAX					27.63
T95	AVG		2.40		3.26	1.04
	MAX		12.26		24.44	3.77
Q125	AVG		1.25	1.88		0.50
	MAX		4.03	6.82		2.66

Tabla 3. Valores máximos y promedio de WF.

Para el CoF:

1. Se relevaron los datos del medidor de torque durante la prueba y se procesaron utilizando los factores de calibración correspondientes.
2. Se obtiene un valor de torque en N.mm para cada intervalo de tiempo. En el análisis se evaluaron intervalos de 10 minutos para cada valor de torque.
3. Se utilizó el OD del elemento rotativo relevado en el cálculo de WF para cada intervalo de tiempo.
4. Se calculó la fuerza de fricción de acuerdo con lo detallado en el standard API 7CW (2015) [1] para cada intervalo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Fuerza de fricción [N]} = \frac{\text{Torque [N.mm]}}{\text{OD elemento rotativo [mm]}(\text{en cada instante})/2}$$

Ecuación 11. Fuerza de Fricción

5. Se determinó el CoF utilizando la fuerza de contacto constante de 4377.94 N durante todo el test, mediante la siguiente relación:

$$\text{CoF [adimensional]} = \frac{\text{Fuerza de Fricción [N]}}{\text{Fuerza de contacto [N]}}$$

Ecuación 12. Coeficiente de Fricción

6. Continuando con la misma lógica que en la secuencia de WF, luego de completados los cálculos es posible obtener un gráfico de la evolución temporal de CoF para cada prueba realizada, como se muestra en la Figura 12. Nuevamente se utiliza como ejemplo la combinación de entre K55, como elemento rotativo y P110 como casing. En este gráfico puede observarse que el coeficiente de fricción incrementa en los primeros minutos de la prueba, hasta alcanzar el tiempo de estabilización descrito en los cálculos de WF. Este incremento está directamente ligado al torque inicial cuando las dos superficies de los materiales entran en contacto. En la figura 13 se muestra el grafico luego del tiempo de estabilización.

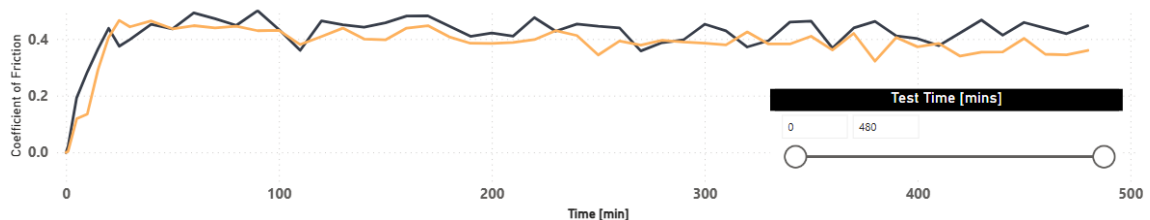


Figura 12. Gráfico de Evolución temporal del Coeficiente de Fricción. 8 horas de prueba.

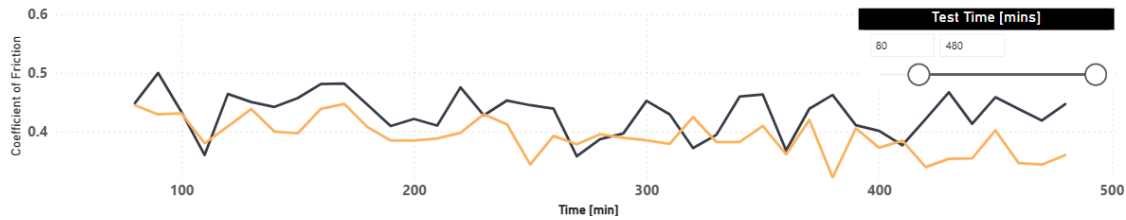


Figura 13. Gráfico del Coeficiente de Fricción luego del tiempo de estabilización.

7. Utilizando los tiempos de estabilización estimados previamente se obtuvieron los valores máximos y promedios para el CoF en las 17 combinaciones de los materiales (Tabla 4).

Grado del elemento Rotativo	CoF	Grado del Casing				
		K55	L80	T95	P110	TAC 140
K55	AVG	0.43	0.43	0.41	0.41	0.39
	MAX	0.52	0.64	0.47	0.50	0.67
L80	AVG		0.42			0.32
	MAX		0.60			0.66
28 Cr Alloy	AVG	0.41		0.34	0.39	
	MAX	0.57		0.55	0.47	
Drill Collar	AVG					0.10
	MAX					0.14
T95	AVG		0.46		0.43	0.43
	MAX		0.66		0.65	0.70
Q125	AVG		0.45	0.48		0.11
	MAX		0.74	0.75		0.16

Tabla 4. Valores máximos y promedio de CoF.

Identificación de Tendencias

Una vez procesada toda la información se estableció como punto de partida cada uno de los grados del elemento rotativo para la evaluación de tendencias en cuanto a la distribución del desgaste entre elemento rotativo y casing (Tabla 1). A continuación, el desglose de dichas tendencias:

- Grado de elemento rotativo = K55: cuando es combinado con los grados de casing de la muestra, la distribución del desgaste arroja que se desgastó más el elemento casing que el rotativo, sin tener un patrón marcado en los porcentajes obtenidos. La excepción se dio cuando el grado de casing también era K55 donde se desgastó más el elemento rotativo con 55.5% vs 44.5% el Casing. Una posible razón para ese valor pudiera ser el desgaste adhesivo donde los materiales tienen cierta adherencia a nivel microscópico debido a la similitud en sus propiedades. Se revisaron las evoluciones temporales de WF y CoF y no se identificaron comportamientos erráticos más allá de los amplios rangos de valores obtenidos.
- Grado de elemento rotativo = L80: cuando se tiene grado L80 como elemento rotativo la distribución indica que el casing se desgastó más que el elemento rotativo. Para destacar, se observó que cuando el casing también fue de grado L80 la distribución del desgaste fue menos severa hacia el casing, con un 64.9% vs valores cercanos al 80% en los otros pares de materiales denotando nuevamente el posible mecanismo de desgaste adhesivo. En cuanto a WF y CoF no se observaron desviaciones relevantes entre L80 vs grados de casing de la muestra.

- Grado de elemento rotativo = 28 Cr Alloy: Usar un grado 80 ksi en aleación con cromo mostró una tendencia marcada de distribución de desgaste, donde el elemento rotativo presentó valores alrededor del 47% y el casing 53%. Estos resultados permiten inferir que materiales con aleaciones de Cr generan distribuciones similares a las observadas independientemente del grado del casing con el que se esté combinando. En cuanto a WF y CoF, este material cromado presentó un comportamiento en cuanto al torque inicial marcado, con un incremento súbito y una estabilización lineal que se da alrededor de los primeros minutos de la prueba. Este comportamiento se menciona en SPE 23193-MS [3].
- Grado de elemento rotativo = AISI4145 (Drill Collar): para este elemento rotativo la distribución de desgaste solo se evaluó vs casing en grado TAC140. Se incluyó en el muestreo para tener una primera referencia en cuanto a los grados de drill pipe/collars existentes en operaciones. El desgaste en este par de materiales se inclinó marcadamente hacia el casing con un 87.3%. En estas pruebas el elemento rotativo sufrió poco desgaste, también por ser una masa de mucho espesor. Presentó los CoF más bajos de todas las combinaciones, los WF fueron parecidos a los del L80 28 Cr Alloy.
- Grado de elemento rotativo = T95: para este grado de elemento rotativo se observó una marcada tendencia en la distribución del desgaste, ya que para los 3 grados de casing contra los que se testeó se obtuvo un desgaste alrededor del 80% para el casing, vs un 20% para el elemento rotativo. En términos de WF, cuando se testeó contra P110, se observaron valores ligeramente mayores en comparación con los obtenidos contra L80, indicando la posible influencia del grado del casing. En el par vs TAC140 nuevamente los resultados muestran un comportamiento diferente siendo menores los WF a las otras combinaciones. Del lado de los CoF, los valores obtenidos no indican ninguna irregularidad.
- Grado de elemento rotativo = Q125: La distribución de desgaste mostró un desgaste muy acentuado en el casing, de hasta 90%. El grado de casing que mostro menor valor de desgaste fue el T95. En cuanto a los WF y CoF los valores registrados mostraron cierta similitud entre sí, excepto para la combinación vs TAC140, donde particularmente los WF fueron los menores para este grado de elemento rotativo.

Caso de Estudio 1 – Operador en Indonesia

En una verificación de diseño de pozo realizada para un operador de Indonesia, se analizó el desgaste interno de un casing de producción 9 7/8 in. (250.82 mm) 62.8 ppf. (93.46 kg/m) T95, causado por el contacto de las tuberías de perforación durante la construcción de las secciones subsiguientes del pozo. Utilizando la información relevada de los ensayos con el tribómetro, se aplicó la distribución de desgaste donde el 20% del daño total se orientó hacia el diámetro externo del drill pipe y el 80% hacia el diámetro interno del casing. (como se menciona en las tendencias observadas en el análisis para el grado de casing T95). También a modo de comparación de resultados, se hizo el análisis con la distribución de desgaste orientada al 100% hacia el diámetro interno del casing, es decir el drill pipe no tomo daño del total de las operaciones.

En el análisis se tuvo como información inicial el detalle del ensamblaje de perforación considerando los diámetros y longitudes de cada accesorio y tubular, y, se simuló usando software de Torque y arrastre 2 operaciones consecutivas, una perforación y una recalibración de hoyo, ambas con 140 revoluciones por minuto y una tasa de penetración/recorrido de 20 metros por hora, que resultaron en un total combinado de 31 horas de operación.

Los resultados del análisis mostraron que en la distribución 20-80% el máximo desgaste del casing de producción 9 7/8" 62.8 ppf. T95 fue de un 21% del WT nominal (WT nominal = 0.625 in = 15.88 mm), en una zona donde la trayectoria cambia de orientación y se tienen fuerzas de contacto mayores. (Figura 14).

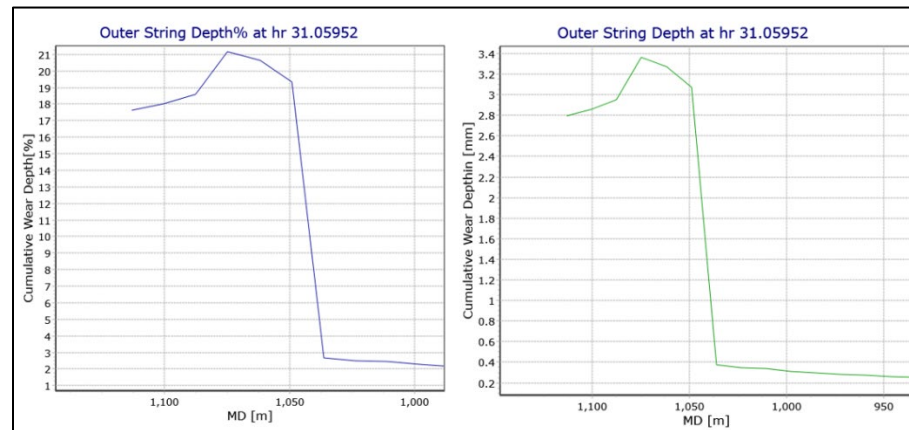


Figura 14. Distribución 20% elemento rotativo -80% casing: desgaste en casing en % del WT y en mm removidos.

Tomando en cuenta la distribución de desgaste donde todo el daño es orientado al diámetro interno del casing, el máximo desgaste obtenido fue cercano al 25% del WT nominal, en el mismo lugar que en la primera verificación de distribución. (Figura 15)

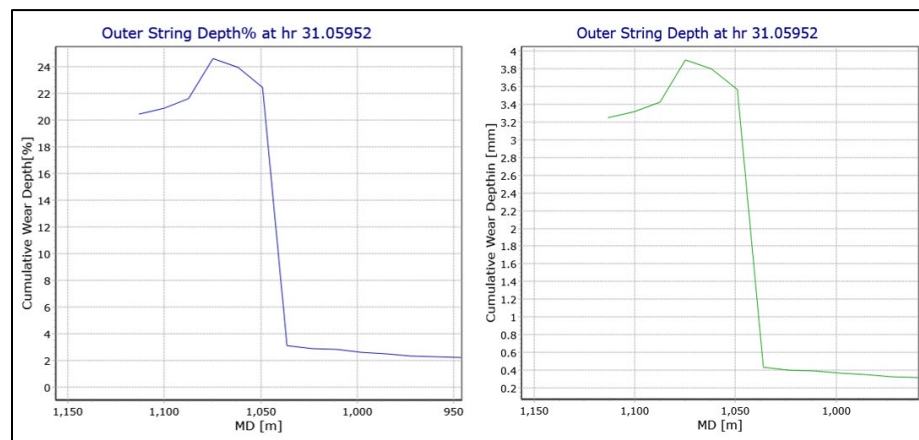


Figura 15. Distribución 0% elemento rotativo -100% casing: desgaste en casing en % del WT y en mm removidos

Con estos resultados se puede tener una idea de la severidad de una operación de construcción de pozo en cuanto a la afectación que puede causar en los casings instalados previamente, además permite verificar si las operaciones que se planean realizar alcanzarían al máximo desgaste permisible de un casing en la etapa de diseño del pozo y selección de materiales. En el caso estudiado el desgaste permisible según diseño del operador era del 30% por lo que aun en el escenario más severo el diseño del pozo aún estaba en especificación aun con teniendo ese margen del 4% para sensibilidad del operador. Este análisis además de permitir entender el rango de posible desgaste de los tubulares instalados, también sirve como punto de partida para la estimación de propiedades remanentes de los tubulares, donde se comparan los ratings de un tubo nuevo vs los tubos con desgaste, derivando también en una selección de tubulares optimizada.

Caso Estudio 2 – Operador en México

Durante la perforación de un pozo onshore la compañía operadora observó luego de 1075 horas de rotación que al recuperar la tubería de perforación había marcas de desgaste en las camisas protectoras que componen el ensamblaje. Esta camisa utilizada como reductor de fricción mostró sus paredes externas afectadas exponiendo al perno sujetador de la misma en el ensamblaje (Figura 16). Ante esta situación siendo evidente el desgaste del elemento rotativo se utilizaron las distribuciones del análisis considerando los materiales en contacto, para poder entender cuanto daño pudiera estar tomando el casing preinstalado.



Figura 16. Desgaste de Camisas protectoras.

El casing preinstalado era un casing superficial de 16 in. (406.4 mm) 109 ppf. (162.21 kg/m) P110. Se utilizó la distribución que se tiene relevada de las pruebas con el tribómetro para casing P110 vs elemento rotativo T95 por ser la más representativa del caso (78.5% Casing 21.5% elemento rotativo). Con esta distribución de desgaste, al realizar la simulación de la operación de perforación en un simulador de Torque y arrastre, se obtuvieron valores máximos de daño acumulado en el casing de 33.6% y 27.3% (Figura 17) en dos puntos diferentes de la trayectoria del pozo.

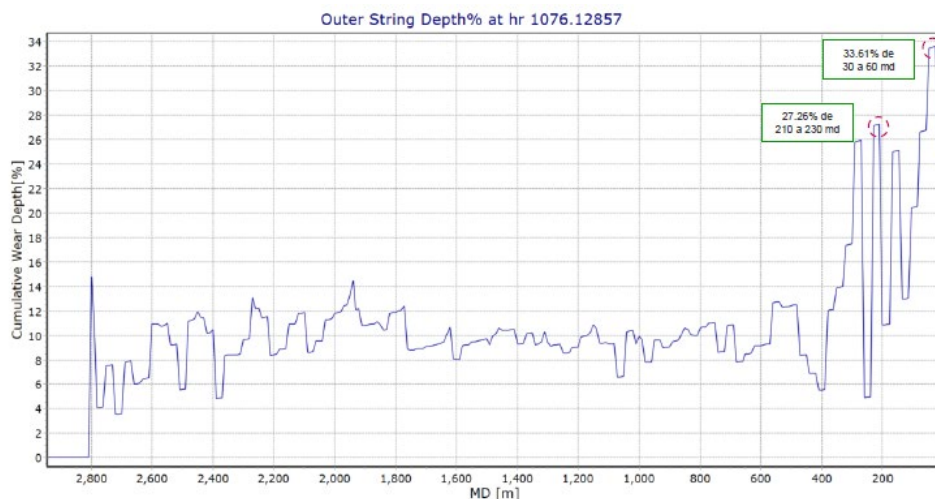


Figura 17. Zonas de mayor desgaste considerando distribución 21.5% elemento rotativo -78.5% Casing

La operadora verificó estos resultados de desgaste contra sus valores de máximo desgaste permisible de acuerdo con el diseño del pozo (35%) resultando en que la integridad de este no estaba comprometida. Además, ante el incremento del desgaste del casing superficial por la continuidad de las operaciones de perforación de las etapas subsiguientes, tomó como contingencia la práctica de instalar un liner + tieback

para cubrir la zona de casing afectada, para posteriormente cementar todo el espacio anular detrás del tieback, aislando permanentemente el tramo desgastado.

Conclusiones

Luego de la revisión de los resultados, el análisis de las tendencias de las muestras ensayadas y los casos reportados se puede concluir en líneas generales lo siguiente:

- La distribución del desgaste en las combinaciones de acero al carbono de la muestra tiende a estar dominada por la resistencia del elemento casing.
- Cuando los materiales que son combinados en las pruebas son del mismo grado, el desgaste del casing tiende a ser menos severo, esto se da en los casings con fluencias menores a los 110000 psi (758 Mpa). El fenómeno podría estar asociado al desgaste adhesivo, donde los materiales de fluencia similar tienden a tener microestructuras resultantes afines. En combinaciones ensayadas de elementos rotativos y casing con fluencias mayores a los 110000 (758 Mpa) psi se observó que los valores de desgaste en casing estuvieron siempre cercanos al 80% probablemente por desgaste abrasivo.
- Para elementos rotativos con altos niveles de cromo en su composición, no se observó ningún impacto de la fluencia del casing. Las distribuciones de desgaste tanto en el elemento rotativo, como en el casing siempre mantuvieron la misma proporción.
- Los ensayos donde se utilizó el grado T95 para el casing, siempre mostraron valores menores de afectación ante el desgaste al compararlos con el resto de los casings. Un comportamiento similar fue observado y descrito en el paper de Aldenabe y Tuckart. “Mechanical properties and galling resistance of API grade steels: A comparative study” [4] donde la ductilidad y la fluencia en combinación juegan un papel en la resistencia al desgaste del T95. Además, en el caso de estudio del operador de Indonesia se demuestra esta tendencia del T95 de ser un grado de buen rendimiento ante el desgaste en ambas distribuciones simuladas.
- Con los casos estudiados se demuestra la aplicabilidad de las distribuciones de desgaste en las verificaciones de diseños de pozo, donde se torna en parámetro de importancia al momento de planificar medidas de contención/mitigación de desgaste ante la secuencia de operaciones de pozo, no solo buscando la protección del casing sino también entender cuanto sufre el elemento rotativo.

Referencias:

- [1] API Standard 7CW 1era edición junio 2015. Casing Wear Tests.
- [2] Mitchell, S y Xiang Y. “Improving Casing Wear Prediction and Mitigation” IADC/SPE 151448. Presentado en “Drilling Conference and Exhibition 2012 IADC/SPE” en San Diego California, Estados Unidos, 6–8 marzo 2012.
- [3] Barreto, J y Grittini, S. “Friction and Casing Wear Factor Characterization” SPE-213193. Presentado en “SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference – LACPEC” en Puerto España, Trinidad y Tobago. 14-15 Junio 2023.

- [4] Aldenabe, J y Tuckart ,W. “Mechanical properties and galling resistance of API grade steels: A comparative study” – 205593. Documento publicado en el journal Science Direct en la sección de Wear. Volumen 560–561, octubre 2024.

Título y lugar de estudio (Autor principal): Jose Barreto Salazar. Ingeniero de Petróleo. Egresado de la Universidad del Zulia, Venezuela

Trayectoria: 10 años de experiencia en la industria de Oil and Gas. 5 años en operaciones de coiled tubing, workover y cementación de pozos como ingeniero de campo en Halliburton Venezuela, y 5 años de experiencia en diseño de pozos, encargado de la resolución de casos asociados con análisis de integridad mecánica e instalación de casings para compañías a nivel mundial, funciones desempeñadas en Tenaris Argentina en el departamento de Well Design Solutions Corporate.

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de Diseño de Pozos