

UTILIZACIÓN DE VARILLAS FABRICADAS CON ACERO RESISTENTE A CORROSIÓN-FATIGA

Pablo Funes (Tenaris), Federico Cámara (Tenaris), Sergio Bóscaro (PAE), Martín R. Vona (PAE), Gustavo P. Helguero (PAE), Miguel P. Esquevan (PAE), Eduardo J. Dottore (PAE)

Este trabajo fue preparado para ser presentado en el 6° Congreso de Producción y Desarrollo de Reservas, organizado por el IAPG, en el Hotel Llao Llao, Bariloche, Argentina, 24 al 27 de octubre de 2016

Sinopsis

Es muy común que en la producción de petróleo se encuentren presentes agentes corrosivos tales como H_2S y CO_2 . En algún momento de la vida productiva del pozo se podrá implementar un proyecto de recuperación secundaria lo que generará un aumento notorio del corte de agua del fluido producido.

Estando operando en estas condiciones, se verán afectados los componentes del sistema de bombeo que se encuentren dentro del pozo. Cuando se utiliza bombeo mecánico como sistema de elevación artificial es muy común tener intervenciones frecuentes por pesca de varillas cuya rotura se genera debido a un proceso de corrosión-fatiga. El medio acuoso y los agentes corrosivos que mojan a la sarta generan pitting en la superficie de las varillas. Los esfuerzos alternativos debidos al ciclo de bombeo provocan un proceso gradual de fatiga originado en las fisuras presentes en la base del pitting que se propaga en la sección transversal de la varilla.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de los ensayos efectuados en pozos con altos índices de intervención por pesca de varillas debido a corrosión-fatiga. El acero utilizado en la fabricación de las varillas ensayadas es susceptible de generar pitting en su superficie, pero su tenacidad le confiere una mayor resistencia a la rotura por fatiga. La meta de los ensayos fue por lo menos duplicar el tiempo entre intervenciones debidas a pesca de varillas por corrosión-fatiga.

Introducción

Los pozos bajo estudio pertenecen al yacimiento “Cerro Dragón” operado por Pan American Energy, dicho yacimiento se encuentra en el Flanco Norte de la cuenca del Golfo San Jorge, geográficamente ubicado en el límite entre las provincias de Chubut y Santa Cruz, a 88 km de la ciudad de Comodoro Rivadavia y 1930 km de Buenos Aires (Fig. 1 y 2).



Fig.1

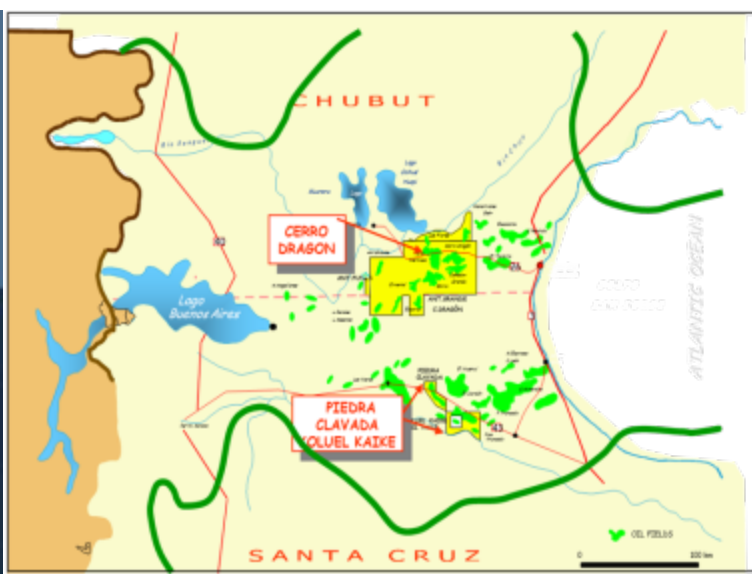


Fig.2

Los pozos seleccionados para probar este nuevo material corresponden a los Distritos N° 5 - Yacimiento Anticlinal Grande y N° 9 - Yacimiento Oriental (Fig.3).

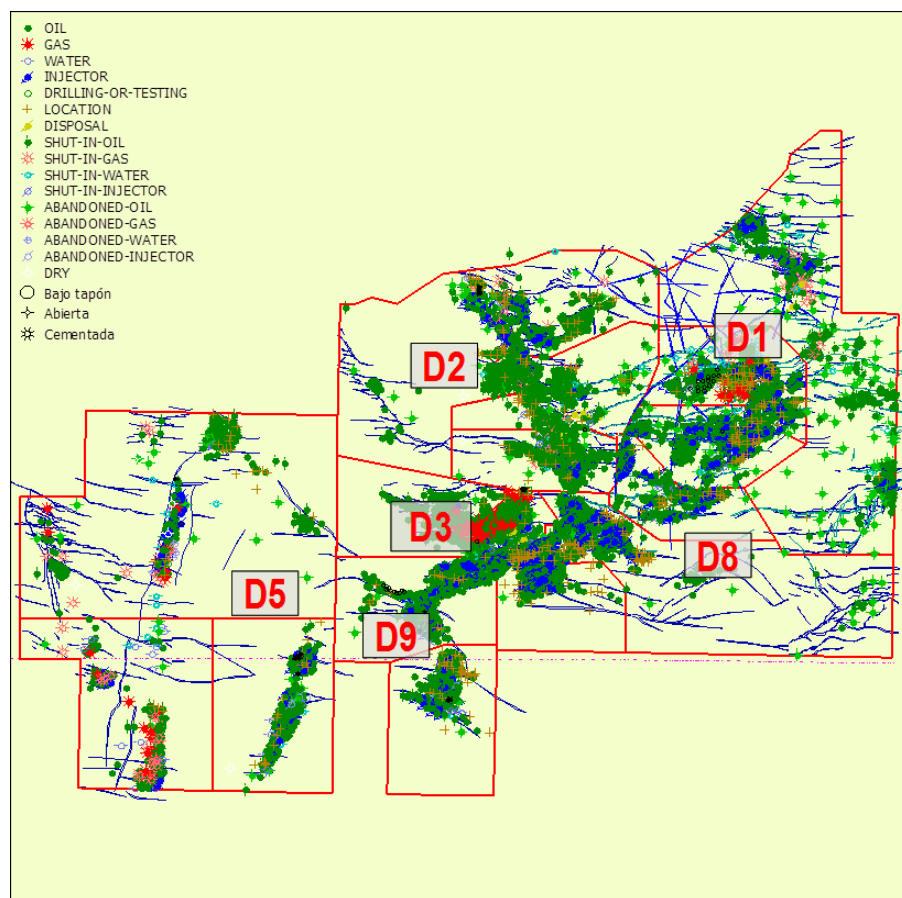


Fig. 3

Cerro Dragón

- Fecha Adquisición: 1997 PAE
- Área: 860,000 acres
- Pozos Productores Activos: 3.012
- Pozos Inyectores: 556
- Producción de Petróleo: 14.300 m3opd
- Producción Fluido: 174.000 m3fpd
- Producción Gas: 8.300 Mm3gpd
- Agua Inyectada: 160.000 m3wipd
- Pozos Verticales
- 30 Yacimientos
- 15-30 Reservorios Lenticulares por pozo
- 1.5-10 m espesor
- Porosidad 16-25%
- Permeabilidad: 1-100 md.
- Proyectos WF: 68

Se resumen las principales características de los yacimientos involucrados:

Parámetro	Distrito N°5	Distrito N°9
Pozos Productores	430	360
Pozos Inyectores	72	90
Prod. Neta (m3/d)	986	2282
Prod. de Gas (Mm3/d)	376	96
Prod. Bruta (m3/d)	11195	23778
Inyección Agua (m3/d)	10297	21315
Proyectos WF	11	9
Prof. media Reservorio (m)	2000	2480
Prof. media Bombas (m)	2009	2268
Tipo de corrosión	SH2 en gas disuelto	SH2 en gas disuelto
Wcut (%)	89	90

Desarrollo

El objetivo de la prueba consistió en buscar resolver la problemática que se presenta en estos pozos asociados a proyectos de recuperación secundaria, en los cuales se producen fallas reiteradas por el fenómeno Corrosión-Fatiga en varillas de grados D y MMS.

Para la prueba fueron seleccionados los siguientes pozos que presentan el historial de falla indicado a continuación:

Pozo	Grado	Fallas		Prof. Bba (mts)	% Goodman API D SF 0.9	Prod. BRUTA Prom. (m3/día)	Objetivo
		Pin	Cuerpo				
PO-979	D	0	3	2282	117	45.3	Reducción de Fallas / Duplicar Run-Life
PO.a-1089	D	0	3	2435	127	42	Reducción de Fallas / Duplicar Run-Life
PMC-899	MMS	2	3	1984	127	72	Reducción de Fallas / Duplicar Run-Life

Detalle de intervenciones previas en los pozos bajo estudio:

Pozo	Fecha	Falla	Diam.	Lugar	Grado	Ubicación	Run-Life (días)	Run-Life Prom (días)	IP Equiv. (int/año)
PO-979	10-oct-14	Varilla	1"	Cuerpo	D	32		152	2,40
	10-feb-15	Varilla	7/8"	Cuerpo	D	2	123		
	01-ago-15	Varilla	7/8"	Cuerpo	D	5	181		
PO.a-1089	01-mar-15	Varilla	3/4"	Cuerpo	D			138	2,64
	01-abr-15	Varilla	1"	Cuerpo	D		31		
	01/12(15)	Varilla	7/8"	Cuerpo	D		245		
PMC-899	28-jun-14	Varilla	3/4"	Pin	MMS	46		129,5	2,82
	05-oct-14	Varilla	1"	Cuerpo	MMS	5	99		
	11-ene-15	Varilla	7/8"	Pin	MMS	18	98		
	30-ene-15	Varilla	1"	Cuerpo	MMS	14	19		
	28-nov-15	Varilla	3/4"	Cuerpo	MMS	56	302		

Se trabajó en conjunto entre Ingeniería de Producción (PAE), Aseguramiento Técnico (PAE), Integridad (PAE) y Asistencia Técnica (Tenaris) analizando las muestras de pesca recuperadas de las últimas intervenciones, donde los análisis visuales/cualitativos arrojaron en todos los casos los siguientes resultados:

- Morfología del frente de fractura característica del fenómeno de fatiga.
- Picado profundo en la zona de inicio de falla, la dirección de propagación de rotura se encuentra alineada con varios de estos pits de corrosión (perfil irregular) y tiene sentido transversal al eje de la varilla.
- La reacción con BAROID denotó presencia de sulfuro de hierro (coloración amarillenta fuerte con presencia de fuerte olor a huevo podrido).

Nota: Ver análisis y detalle fotográfico de las muestras en Anexos N° 1, 2 y 3.

Con toda esta información se arribó a la conclusión que los productos estándar de la industria solo cubren un rango de operación básico pero resultan insuficientes ante la creciente exigencia de extracción en los campos maduros. La franja de operación indicada en la zona pintada representa una incertidumbre frente a fallas en conexión y cuerpo por altas cargas y corrosión.

La problemática debe plantearse como causas combinadas cuyo tratamiento requiere un análisis matricial.

	No Corrosivo	Baja Corrosividad	Mediana Corrosividad	Alta Corrosividad
Muy alta carga	Área de Incertidumbre			
Alta carga	MMS			
Mediana carga	D	D/KD	KD	

Es posible eliminar el área de incertidumbre con el nuevo espectro de soluciones para los sistemas de levantamiento artificial, dentro de ellas se encuentra un nuevo diseño de acero denominado DS-852 cuyas principales características se pueden ver en Anexos N° 4, 5 y 6:

	No Corrosivo	Baja Corrosividad	Mediana Corrosividad	Alta Corrosividad
Muy alta carga	D-BR	DS852/KD-BR	DS852-BR	DS852-BR
Alta carga	MMS	DS852/KD	DS852	DS852
Mediana carga	D	D/DS852/KD	DS852/KD	DS852

Los productos seleccionados para hacer frente a la problemática detectada en los pozos son los siguientes:

- Distrito N°5:
 - o Pozo PMC-899 – Varillas DS-852 con extremo Tenaris Blue Rod™.
- Distrito N°9:
 - o Pozo PO-979 – Varillas DS-852 con extremo API estándar.
 - o Pozo PO.a-1089 – Varillas DS-852 con extremo API estándar.

A continuación se indican los diseños de sartas definidos para cada caso:

Pozo PO-979 Parámetro	Situación Anterior Varillas D conexión API	Situación Actual Varillas DS852 conexión BlueRod
Período analizado	16 meses (Abril 2014 – Agosto 2015)	10 meses (Agosto 2015 – Mayo 2016)
Profundidad de bomba	2282 metros	2282 metros
Producción Media	45.3 m3/día	33.3 m3/día
Diseño de Varillas	API 86: 94 Var 1"; 94 Var 7/8"; 94 Var 3/4" pin 7/8"; 18 BDP 1"	API 86: 105 Var 1"; 100 Var 7/8"; 86 Var 3/4"; 8 BDP 1 5/8"
Grado de Acero	TS-D	DS852
Carga (% Goodman D FS: 0.9)	117%	115%
Intervenciones	3 Fallas de varillas	Sin Fallas
Ratio Falla	3 fallas por año	Sin Fallas
Motivos de Falla	Corrosión-fatiga asistida por H2S	Corrosión-fatiga asistida por H2S
Run-Life máximo (días)	152 días	304 días (continúa operando 31/05)
Bomba	Bomba 1 3/4"	Bomba 1 3/4"
AIB	LM912-365-168	LM912-365-168
GPM	7	7
Corrosión	H2S	H2S
Corte de agua	98%	98%

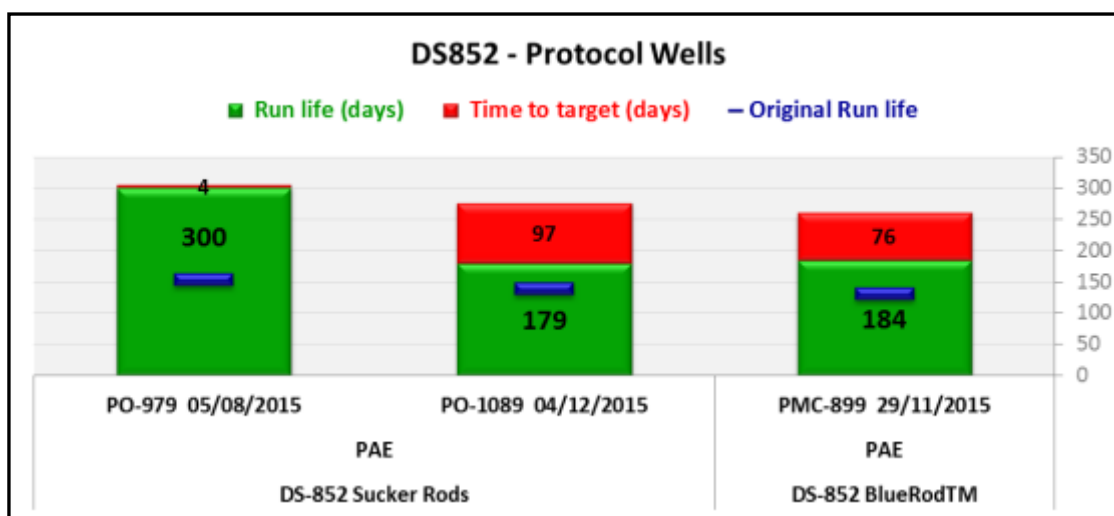
Pozo PO.a-1089 Parámetro	Situación Anterior Varillas D conexión API	Situación Actual Varillas DS852 conexión BlueRod
Período analizado	9 meses	6 meses
	(Marzo 2015 – Diciembre 2015)	(Diciembre 2015 – Mayo 2016)
Profundidad de bomba	2435 metros	2435 metros
Producción Media	42 m3/día	49 m3/día
Diseño de Varillas	API 86: 101 Var 1"; 112 Var 7/8"; 88 Var 3/4"; 18 BDP 1"	API 86: 112 Var 1"; 108 Var 7/8"; 92 Var 3/4"; 8 BDP 1 5/8"
Grado de Acero	TS-D	DS852
Carga (% Goodman D FS: 0.9)	127%	122%
Intervenciones	3 Fallas de varillas	Sin Fallas
Ratio Falla	3 fallas por año	Sin Fallas
Motivos de Falla	Corrosión-fatiga asistida por H2S	Corrosión-fatiga asistida por H2S
Run-Life máximo (días)	138 días	182 días (continúa operando 31/05)
Bomba	Bomba 1 3/4"	Bomba 1 3/4"
AIB	LM912-365-168	LM912-365-168
GPM	7	8
Corrosión	H2S	H2S
Corte de agua	98%	98%

Pozo PMC-899 Parámetro	Situación Anterior Varillas MMS conexión API	Situación Actual Varillas DS852 conexión BlueRod
Período analizado	17 meses	6.1 meses
	(Enero 2014 – Febrero 2015)	(Noviembre 2015 – Mayo 2016)
Profundidad de bomba	1984 metros	1972 metros
Producción Media	72 m3/día	89 m3/día
Diseño de Varillas	API 86: 96 Var 1"; 95 Var 7/8"; 56 Var 3/4"; 13 BDP 1 5/8"	API 86 BR: 74 Var 1"; 120 Var 7/8"; 50 Var 3/4"; 15 BDP 1 5/8"
Grado de Acero	TS-MMS	DS852 BR
Carga (% Goodman D FS: 0.9)	127%	160%
Intervenciones	4 Fallas de varillas	Sin Fallas
Ratio Falla	4.2 fallas por año	Sin Fallas
Motivos de Falla	Corrosión-fatiga asistida por H2S	Corrosión-fatiga asistida por H2S
Run-Life promedio	130 días	185 días (continúa operando 31/05)
Bomba	Bomba 2"	Bomba TH 2 1/4"
AIB	LM912-365-168	LM1280-467-192
GPM	6,5	7,5
Corrosión	H2S	H2S
Corte de agua	98%	98%

El objetivo de la prueba consiste en duplicar el Run-Life promedio de cada pozo sin fallas atribuibles a los materiales bajo estudio, es decir sin pescas en cuerpo con morfología típica del fenómeno de corrosión-fatiga ni fallas en pines para el caso con extremo Tenaris BlueRod™.

Conclusiones

- El elevado volumen de inyección secundaria trae aparejado problemas de corrosión, por lo que es posible encontrar áreas específicas dentro de un yacimiento donde esta problemática se acentúe en mayor medida.
- Los aceros estándares de la industria presentan limitaciones frente a la combinación de altas cargas y ambientes corrosivos (fenómeno de corrosión-fatiga), esto queda demostrado tanto en los ensayos de laboratorio como por las fallas repetitivas en el campo.
- La prueba del nuevo desarrollo de acero para corrosión-fatiga demostró cumplir con el objetivo en 1 pozo y en los restantes se superó la vida promedio de acuerdo al histórico de fallas.
- Los resultados finales de la prueba nos permitirán validar el nuevo desarrollo de acero y definir una ventana de aplicación para la problemática corrosión-fatiga.



Bibliografía

Tenaris Brochures and Catalogs for Sucker Rods

- 1) Sucker Rods Product General Catalog
- 2) BlueRod™ Premium Sucker Rod

<http://www.tenaris.com/en/MediaAndPublications/BrochuresAndCatalogs/SuckerRods.aspx>

CV de los autores:

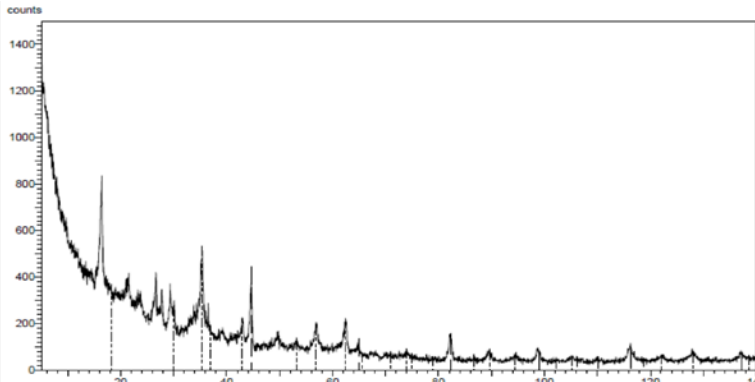
- Pablo Funes (Tenaris – pfunes@tenaris.com)
 - o Ingeniero Electromecánico – U.T.N. FR San Rafael
 - o Trayectoria profesional: 15 años de experiencia en industria metalúrgica y energía (del 2004 a la actualidad en Tenaris S.A. – Metalúrgica con orientación a la actividad petrolera)
 - o Cargo: Technical Sales Engineer – Cuenca Golfo San Jorge y Austral
- Federico Cámara (Tenaris – fcamara@tenaris.com)
 - o Ingeniero Electromecánico – U.N. San Luis
 - o Trayectoria profesional: 20 años de experiencia en industrias metalúrgica, cementera y plástico (del 2000 a la actualidad en Tenaris S.A. – Metalúrgica con orientación a la actividad petrolera)
 - o Cargo: Technical Sales Manager – Sudamérica

- Sergio Bóscaro (PAE – sboscaro@pan-energy.com)
 - o Técnico Mecánico – Colegio Industrial Deán Funes
 - o Trayectoria profesional: 15 años de experiencia en industria metalúrgica y energía (del 2004 – 2007 en Tecpetrol y del 2007 a la actualidad en PAE)
 - o Cargo: Asistente Técnico de Ingeniería Producción (D9)
- Martín R. Vona (PAE – mvonacuni@pan-energy.com)
 - o Ingeniero de Petróleo – U.N. Cuyo
 - o Trayectoria profesional: 9 años de experiencia en industria petrolera (del 2007 a la actualidad en PAE)
 - o Cargo: Ingeniero de Producción (D9)
- Gustavo P. Helguero (PAE – ghelguero@pan-energy.com)
 - o Ingeniero en Petróleo – U.N.P. San Juan Bosco
 - o Trayectoria profesional: 10 años de experiencia en industria petrolera (del 2006 – 2013 en YPF y del 2014 a la actualidad en PAE)
 - o Cargo: Ingeniero Producción & Recuperación Secundaria (D5)
- Miguel P. Esquevan (PAE – mesquevan@pan-energy.com)
 - o Ingeniero en Petróleo – U.N. Comahue
 - o Trayectoria profesional: 8 años de experiencia en industria petrolera (del 2009 – 2010 en SWACO y del 2010 a la actualidad en PAE)
 - o Cargo: Ingeniero Producción & Recuperación Secundaria (D5)
- Eduardo J. Dottore (PAE – edottore@pan-energy.com)
 - o Ingeniero Electromecánico orientación Mcánica - UBA
 - o Trayectoria profesional: 37 años en la industria petrolera (Bolland & Cia y PAE)
 - o Cargo: Principal Engineer Technical Assurance

Anexo 1:

Pozo PO-979						
Información general						
Muestra 1			Muestra 2			
Varilla 7/8" (pin 1") - Grado D o Fecha de pesca: 10/02/15 o Ubicación: Pin inferior de V/B N° 2 o Colada: HX8464 o Fecha de fabricación: 04/14			Varilla 1" - Grado D o Fecha de pesca: 17/10/14 o Ubicación: V/B N° 32 o Colada: SS2363 o Fecha de fabricación: 05/13			
Inspección Visual						
 			 			
						
Análisis cualitativo de reactivo BAROID (tabla empírica)						
Compuesto	Reacción con HCL			Reacción con Baroid		
	Reacción	Color del líquido	Olor	Reacción	Color del líquido	Olor
Carbonato de Calcio	Burbujeo Muy Fuerte			Burbujeo Muy Fuerte		
Sulfuro de Hierro	Fuerte	Amarillo/verdoso	fuerte/desagradable	Fuerte (color)	Amarillo Fuerte	Fuerte Desagradable
Carbonato ferroso	Burbujeo	Amarillo/verdoso		Burbujeo	Amarillo/Verdoso	Burbujeo
Fe ₃ O ₄	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil
Fe ₂ O ₃	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil

Anexo 2:

Pozo PO-a-1089							
Información general							
Muestra 1				Análisis de Falla Metalmecánica			
Varilla 1" - Grado D o Fecha de pesca: 12/15 o Ubicación: V/B N° 14 o Colada: GO0231 o Fecha de fabricación: 07/14				Patrón de difracción de RX (intensidad vs. ángulo difractado)			
				Resultado obtenido con difractómetro Philips/PANalytical X-Pert MPD			
Inspección Visual				 Peak List 00-006-0696; Iron; Fe 01-075-1372; Iron Oxide; Fe3 O4 01-088-0380; Fe S; Iron Sulfide			
 							
Presencia de productos de corrosión, picos en los siguientes componentes: o Óxido de hierro, magnetita, Fe3O4 o Sulfuro de hierro, FeS							
Análisis cualitativo de reactivo BAROID (tabla empírica)							
Compuesto	Reacción con HCL			Reacción con Baroid			
	Reacción	Color del liquido	Olor	Reacción	Color del liquido	Olor	
Carbonato de Calcio	Burbujeo Muy Fuerte			Burbujeo Muy Fuerte			
Sulfuro de Hierro	Fuerte	Amarillo/verdoso	fuerte/desagradable	Fuerte (color)	Amarillo Fuerte	Fuerte Desagradable	
Carbonato ferroso	Burbujeo	Amarillo/verdoso		Burbujeo	Amarillo/Verdoso	Burbujeo	
Fe3O4	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil	
Fe2O3	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil	

Anexo 3:

Pozo PMC-899						
Información general						
Muestra 1				Inspección Visual		
Varilla 1" - Grado MMS o Fecha de pesca: 30/01/15 o Ubicación: V/B N° 14 o Colada: RJ1620 o Fecha de fabricación: 08/09				  		
 						
Análisis cualitativo de reactivo BAROID (tabla empírica)						
Compuesto	Reacción con HCL			Reacción con Baroid		
	Reacción	Color del liquido	Olor	Reacción	Color del liquido	Olor
Carbonato de Calcio	Burbujeo Muy Fuerte			Burbujeo Muy Fuerte		
Sulfuro de Hierro	Fuerte	Amarillo/verdoso	fuerte/desagradable	Fuerte (color)	Amarillo Fuerte	Fuerte Desagradable
Carbonato ferroso	Burbujeo	Amarillo/verdoso		Burbujeo	Amarillo/Verdoso	Burbujeo
Fe ₃ O ₄	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil
Fe ₂ O ₃	Débil	Amarillo/verdoso		Débil	Amarillo/Verdoso	Débil

Anexo 4:

Datasheet de Producto: Varillas de Bombeo y Trozos de Maniobra de Acero:

Grado DS852 – Rosca API

Aplicación: Cargas medias a altas – Performance mejorada para ambientes corrosivos.

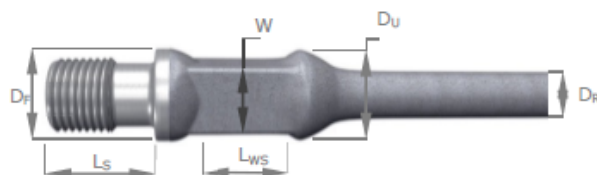
Dimensiones:

Diámetro Nominal	3/4 in.		7/8 in.		1 in.	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
D_R Diámetro de Cuerpo	0.750	19.05	0.875	22.23	1.00	25.40
D_P Diámetro de Pin Shoulder	1.500	38.10	1.625	41.28	2.000	50.80
W_S Ancho de Cuadrado	1.00	25.40	1.00	25.40	1.312	33.34
L_{WS} Longitud de Cuadrado	1.25	31.8	1.25	31.75	1.50	38.10
D_U Diámetro Cebolla	1.41	35.72	1.50	38.10	1.91	48.42
L_S Longitud del Pin	1.44	36.51	1.63	41.28	1.88	47.63

Dimensiones de acuerdo a API 11B última edición.

Longitudes Varillas: 25 and 30 pies.

Longitudes Trozos de Maniobra: 2, 4, 6, 8, 10 y 12 pies.



Material:

Composición del acero y tratamiento térmico diseñados para mejorar la microestructura y el desempeño de la varilla en pozos corrosivos. Los principales elementos se muestran en Tabla 1.

Elemento	Valor Típico (%)	Elemento	Valor Típico (%)
C	0.24	Cr	1.00
Mo	0.70	Mn	0.60

Tabla 1

Propiedades Mecánicas:

Las varillas DS852 son templadas y revenidas para lograr un mínimo de 90 % de estructura martensítica, con tamaño de grano fino. Las propiedades mecánicas se listan en Tabla 2.

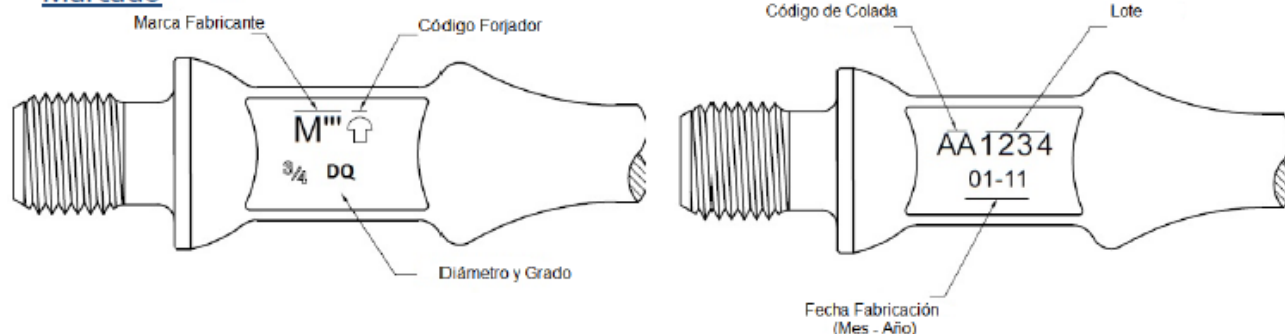
YS Min (0.2% offset)	110 ksi (689 MPa).
UTS	115 to 140 ksi (793 to 965 MPa)
Elongación (2")	10% Min
Dureza	26 HRC
Resistencia al Impacto (CVN@20°C) Valor Típico	180 J (Full Size)

Tabla 2

Control No Destructivo:

Las varillas de bombeo y trozos de maniobra se inspeccionan al 100 % con equipos de Electromagnéticos para garantizar la calidad superficial requerida.

Marcado



Otra Información Técnica:

Tensión Máxima Admisible

Para determinar la tensión máxima admisible se utiliza la ecuación propuesta por API 11BR para varillas grado D:

$$T_{adm} = \left(\frac{UTS}{4} + 0.562 * T_{min} \right) * SF$$

Las tensiones luego se comparan utilizando la fórmula de Goodman:

$$\% \text{ Goodman} = \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{T_{adm} - T_{min}} \right) * 100$$

Dónde,

UTS = Tensión de Rotura (Ksi)

SF = Factor de Servicio (Se recomienda un valor de SF = 0.9).

TS Adm = Tensión máxima admisible (Ksi)

TS min = Tensión de trabajo mínima (Ksi)

TS max = Tensión de trabajo máxima (Ksi)

Las varillas grado DS852 con rosca BlueRod® pueden operarse hasta un valor máximo de 140% de Goodman obtenido con la fórmula anterior.

Cuplas

Las varillas Grado DS852 se recomiendan usar con:

- **Cuplas HSMS**, las cuales se fabrican con el mismo acero y tratamiento térmico que las varillas, en pozos sin problemas de abrasión/erosión. (PDS-C-AP-MS-01). (PDS-C-AP-MS-01).
- **Cuplas SM** en pozos con problemas de abrasión/erosión (PDS-C-AP-SM-05).

Ensayos de Corrosión

Las varillas DS852 se ensayan con frecuencia para evaluar su resistencia a la corrosión.

Los ensayos se realizan de acuerdo a NACE TM0177, "Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H₂S Environments" Método A, a 1 bar de presión parcial de H₂S, y al 85% of the Tensión de Fluencia Mínima especificada (YSMS) excediendo las 720 horas sin fallas.

Se evaluó el valor de K_{1SSC}, que es la resistencia del material a la iniciación y propagación de una fisura en un ambiente ácido (H₂S), para el DS852 y API 4142 Grado D.

	4142	DS852
K _{1SSC} (ksi.in ^{0.5}) (YS = 105 Ksi)	20	30

Table 3

Se realizaron ensayos de laboratorio de corrosión-fatiga usando una combinación de máquinas de fatiga con autoclaves en ambientes de S₂H y CO₂ para evaluar la vida a fatiga del material. Los resultados mostraron una vida a la fatiga de un 30 a 40 % superior a la de varillas API Grado D.

Máxima Fuerza de Pulling

D (pulg)	Fuerza Pulling (Kg)
3/4	18453
7/8	25116
1	32805

Anexo 5:

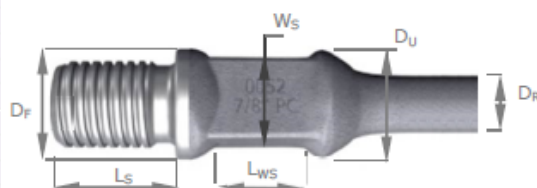
Product Datasheet: Steel Sucker Rods and Pony Rods:

Grade DS852 – BlueRod® Thread

Application: Deep wells with enhanced performance for corrosive environments.

Dimensions:

Nominal Diameter	3/4 in.		3/4 in pin 7/8 in		7/8 in.		1 in.	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
D_R Diameter of rod body	0.750	19.05	0.750	19.05	0.875	22.23	1.00	25.40
D_P Outside diameter of pin shoulder	1.500	38.10	1.625	41.28	1.625	41.28	2.000	50.80
W_S Width of wrench square	1.00	25.40	1.00	25.40	1.125	28.57	1.312	33.34
L_{WS} Length of wrench square	1.25	31.8	1.17	29.8	1.25	31.75	1.50	38.10
D_U Diameter of bead	1.41	35.72	1.41	35.72	1.50	38.10	1.91	48.42
L_S Length of pin	1.44	36.51	1.65	42	1.65	42	1.93	49.10



Sucker rods length: 25 and 30 feet.

Pony rods length: 2, 4, 6, 8, 10 and 12 feet.

Material:

The steel composition and the heat treatment conditions were designed to improve the obtained microstructure and the performance in corrosive environments. Main elements are listed in Table 1

Element	Typical (%)	Element	Typical (%)
C	0.24	Cr	1.00
Mo	0.70	Mn	0.60

Table 1

Mechanical Properties:

DS852 Sucker Rods are Quench and Tempered in order to achieve a minimum of 90% martensitic structure, with fine grain size. Mechanical properties are listed in table 2.

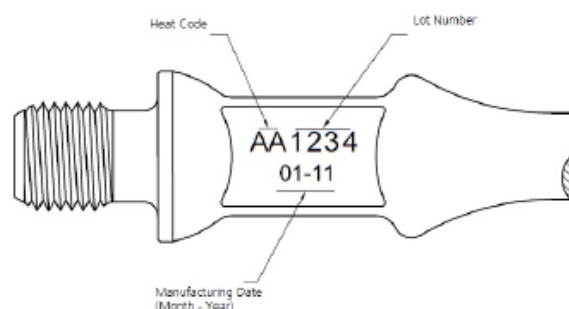
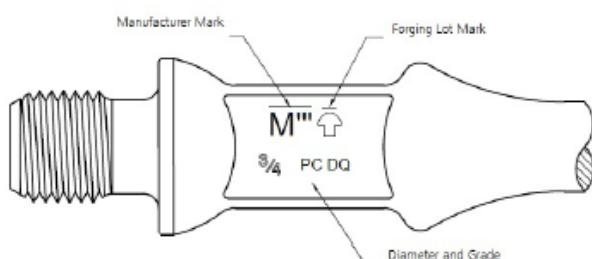
YS Min (0,2% offset)	110 ksi (689 MPa).
UTS	115 to 140 ksi (793 to 965 MPa)
Elongation (2")	10% Min
Hardness	26 HRC
Impact toughness (CVN@20°C) Typical value	180 J (Full Size)

Table 2

Non Destructive Inspection:

Sucker Rods and Pony Rods are 100% inspected using Electromagnetic equipment in order to guarantee the requirements for surface discontinuities.

Marking



Other Technical Information:

Maximum Allowable tensile stress

API 11BR equation for Grade D will be used to determine the maximum allowable tensile stress:

$$TS_{allow} = \left(\frac{UTS}{4} + 0.562 * TS_{min} \right) * SF$$

Load stress will be compared using the Goodman formula:

$$\% \text{ Goodman} = \left(\frac{TS_{max} - TS_{min}}{TS_{allow} - TS_{min}} \right) * 100$$

Where,

UTS = Ultimate tensile strength (Ksi)

SF = Service factor (SF = 0.9 is recommended for corrosive environments).

TS allow = Allowable tensile stress (Ksi)

TS min = Minimum tensile stress (Ksi)

TS max = Maximum tensile stress (Ksi)

DS852 sucker rods can be operated up to a maximum of 180 % Goodman obtained with the previous formula.

Couplings

It is recommended to use DS852 Sucker Rods with:

- **HSMS Couplings**, manufactured with the same steel and Heat Treatment than DS852 Sucker Rods (PDS-C-BR-MS-06).

Corrosion Tests

DS852 Sucker Rods are frequently tested to assess its corrosion resistance.

Test are performed according to NACE TM0177, "Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H₂S Environments" Method A, at 1 bar of partial pressure of H₂S, and at 85% of the SMYS exceeds 720 hours without failures.

K_{1SSC} which is the material resistance to crack initiation and propagation in sour environment was assessed. table 3 shows K_{1SSC} values for DS852 and API 4142 Grade D.

	4142	DS852
K _{1SSC} (ksi.in ^{0.5}) (YS = 105 Ksi)	20	30

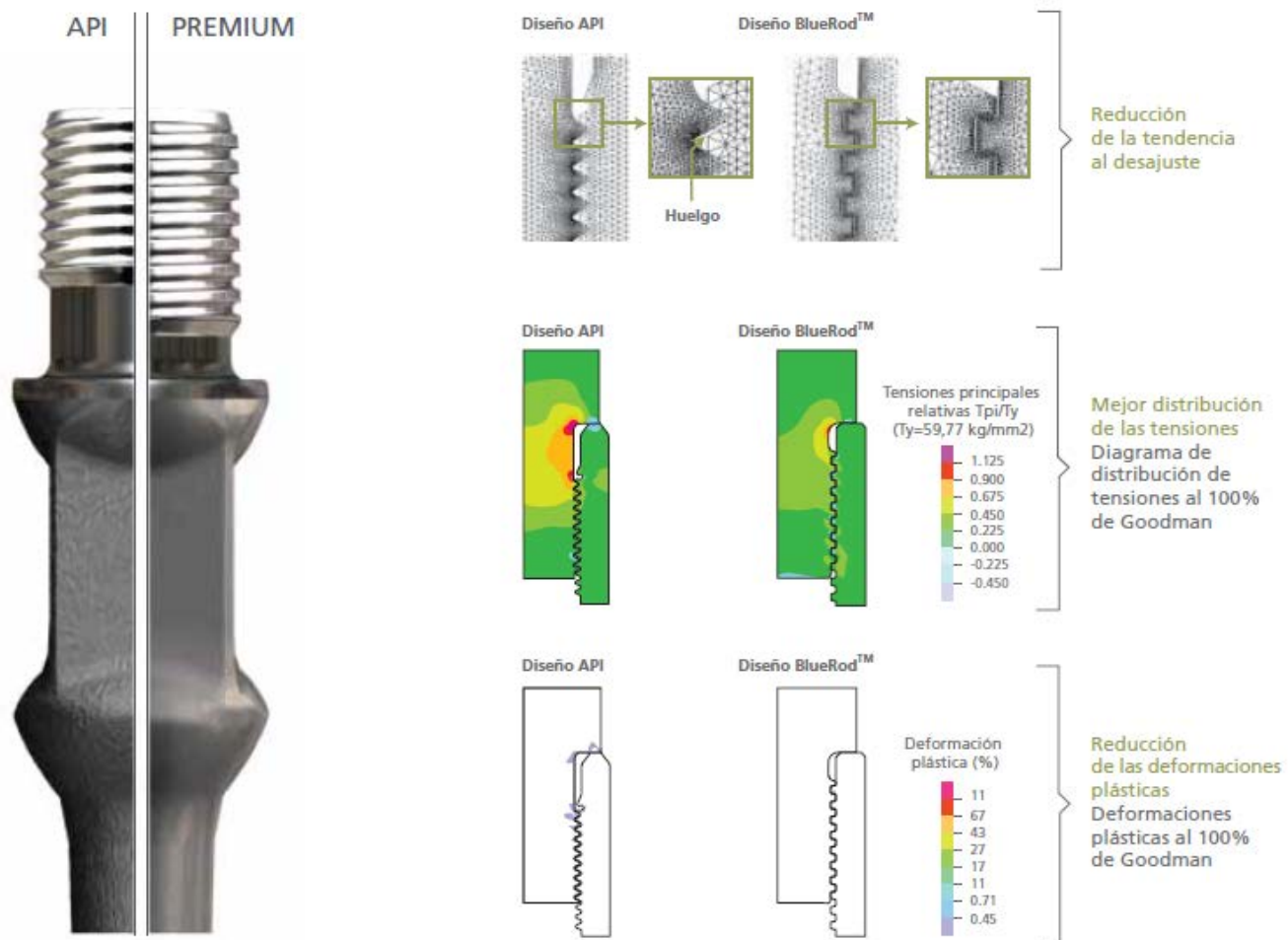
Table 3

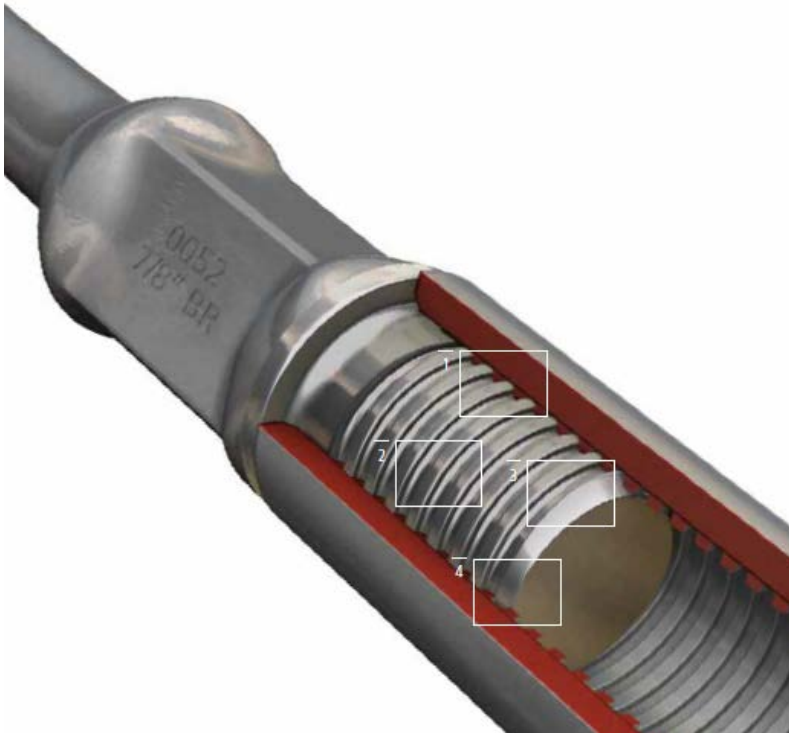
Material corrosion-fatigue resistance tests in CO₂ and H₂S environments at laboratory scale were performed using fatigue machines coupled to autoclaves to assess its fatigue life. Test results have shown 30 to 40 % extended life compared to standard API Grade D Rods.

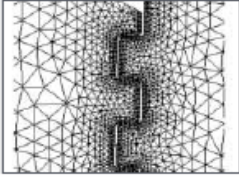
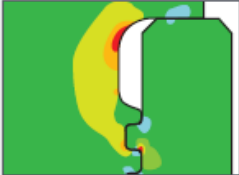
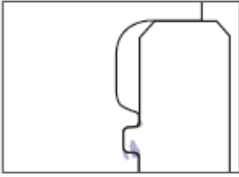
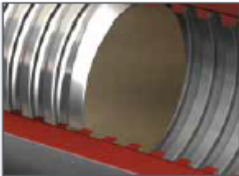
Max Pulling Stress

D (in)	Pulling Stress (Lb)
3/4	40644
7/8	55321
1	72257

Anexo 6





- | | |
|---|---|
| 1 |  <p>Contacto flanco-flanco.
Reduce la tendencia al desajuste de la rosca.</p> |
| 2 |  <p>Reducción de tensiones.
Mayor resistencia a la fatiga.</p> |
| 3 |  <p>Disminución de las deformaciones en la rosca.</p> |
| 4 |  <p>Interferencia diametral.
Aumenta la capacidad de trabajo al disminuir la pre-tensión necesaria de armado.</p> |