

VARILLAS DE BOMBEO Y PCP

**José Pich, Diógenes Stochetti, Eduardo Alfaro
Weatherford ALS**

1-ABSTRACT

El sistema de extracción por PCP es el sistema más nuevo (años 1970) y en su corta vida ha mostrado ser un sistema excelente en costos de inversión y mantenimiento y en facilidad de operación.

Como todo sistema presenta ventajas y limitaciones; el torque requerido por la bomba es transmitido desde superficie por medio de una sarta de varillas de bombeo y acá es donde se presenta una de sus limitaciones: capacidad de transmisión de torque.

En tubing de 2 7/8" - la mayoría de los pozos del país - no se puede bajar varillas de diámetro mayor de 1" que considerando los torques cada vez mayores resultan insuficientes para la transmisión sin sufrir deformaciones permanentes. La capacidad de las bombas se ha incrementado grandemente, es común operar bombas con alturas de elevación de hasta 3000 m o bombas con caudales de hasta 400 m³/d.

El principal componente de esfuerzo es el torque que ocasiona a menudo que la varilla trabaje en zona de deformación permanente reduciendo el factor de seguridad. En la mayoría de los diseños se trata de trabajar en la zona elástica pero no siempre se logra.

Una varilla aparecida en el mercado hace algún tiempo permite una solución a este problema. Dispone de una resistencia bastante mayor que las convencionales y permite así responder a las exigencias mayores de potencia.

En el presente trabajo destacaremos algunas conclusiones sobre el comportamiento de estas varillas que determinamos en laboratorios del Cfer y que verificamos en ensayos en pozos piloto en la zona de Chihuido de la Sierra negra.

2-INTRODUCCION

El sistema PCP en su corta vida ha evolucionado desde bombas de baja capacidad de volumen de extracción y reducida altura de elevación hasta bombas de altos caudales y altura. Para expresar en números las primeras bombas instaladas extraían 4 a 5 m³/d con alturas de 1000 mca y ahora se manejan caudales de hasta 400 m³/d con alturas de elevación de hasta 3000 mca.

La bomba experimentó un gran avance en lo que hace a elastómeros y geometría de diseño, también los cabezales de transmisión de potencia experimentaron idéntico desarrollo. Un elemento en esta cadena cinemática permaneció sin experimentar un grado de avance paralelo, se trata de la varilla. Aparte que en sus orígenes no fue diseñada para transmisión de torques debió soportar el incremento de potencia transmitido a través de la misma.

Todo el diseño de los elementos mecánicos está basado en el límite elástico de los aceros utilizados en la construcción de los mismos. Siempre se usa este valor acompañado de adecuados factores de seguridad dependiendo de las condiciones de trabajo como ser características de las cargas, cargas estáticas, dinámicas, de fatiga, etc. Con las varillas también se adoptó este criterio de diseño, esto es utilizar el límite elástico con adecuados factores de seguridad. Este concepto también se aplicó para la utilización de las varillas en su concepción original para los aparatos de bombeo mecánico.

Trabajar por debajo del Límite elástico equivale a trabajar en condiciones de mayor seguridad. Esto es importante cuando no se tiene seguridad para poder prever todas las contingencias y cambios de variables que se pueden producir en cualquier elemento sometido a esfuerzos. Cuando los esfuerzos superan dicho límite el material trabaja en una

zona de deformación plástica donde cualquier incremento del esfuerzo producirá una fluencia continua del acero con deformación cada vez mayor hasta la rotura o inutilización del mismo.

En el caso específico de los pozos petroleros operando con PCP la fluencia de las varillas ocasiona estiramiento de las mismas, variación del espaciamiento y reducción del mismo con los peligros de rozamiento entre el rotor y la cruceta de paro con la consiguiente destrucción del mismo. También se produce un desfazaje entre el paso del rotor y el del estator.

Tratándose de diseños donde no existen limitaciones de espacio se puede solucionar fácilmente este problema con un rediseño y usando tamaños mayores de varillas, no resulta posible cuando existen limitaciones de espacio.

Una varilla ha aparecido en el mercado que da solución a este problema, debido a su construcción permite una alta resistencia al torque. Sabemos que los esfuerzos de torque como los de corte tienen sus máximos valores en la periferia de la pieza y es allí precisamente donde esta varilla presenta una capa periférica con características distintas a la parte central que actúa ejerciendo un efecto de compresión sobre la parte central.

El esfuerzo en la parte interna de la varilla presenta un signo distinto que el esfuerzo en la capa externa, como resultado, al sumarse con su signo, se restan. Este principio permite que la varilla absorba mayores esfuerzos sin sufrir deformación permanente.

El yacimiento Chihuido de la Sierra negra, provincia de Neuquén tiene un conjunto de pozos de características de altos torques donde las varillas comunes de grado "D" presentaron gran cantidad de pescas y roturas. Se realizó un piloto de 3 pozos equipados con estas varillas. Analizaremos los resultados que resultaron aceptables hasta el fin del ensayo.

3-DESARROLLO

3-1)TRABAJO EN EL LIMITE ELASTICO

El trabajo de las varillas combina esfuerzos axiales, de flexión y torsión. El doctor Von Mises desarrolló una ecuación donde relaciona todos estos esfuerzos que se efectúan en diversos planos y sentidos con un único esfuerzo que se desarrolla en una única dirección. A este esfuerzo unidireccional que reemplaza todas las demás sollicitaciones lo llamó esfuerzo efectivo equivalente.

$$S_{ef} = \sqrt{16 F^2 / \pi^2 D^4 + 7.68 E^8 T^2 / \pi^2 D^6} \quad \text{donde}$$

S_{ef} = esfuerzo equivalente Mpa

F = carga axial en N

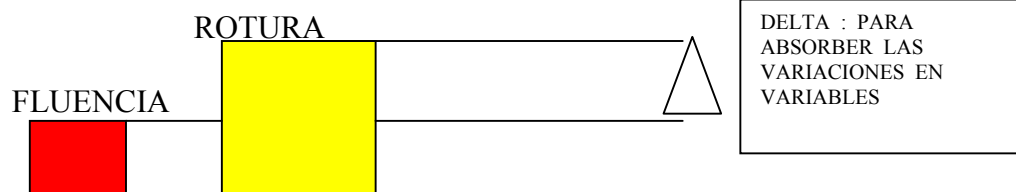
T = torque en la varilla en N-m

D = diámetro de la varilla en mm

El diseño elástico se basa en una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación y analiza la relación entre el esfuerzo equivalente y el límite elástico. Sabiendo que el límite de rotura se encuentra alejado del elástico, este diseño deja un margen de seguridad para poder absorber en forma segura cualquier alteración de las variables usadas en el cálculo.

El Cfer considera esto en términos de un factor de diseño elástico (EDF), valores entre 60 % y 70 % resultan valores aceptables.

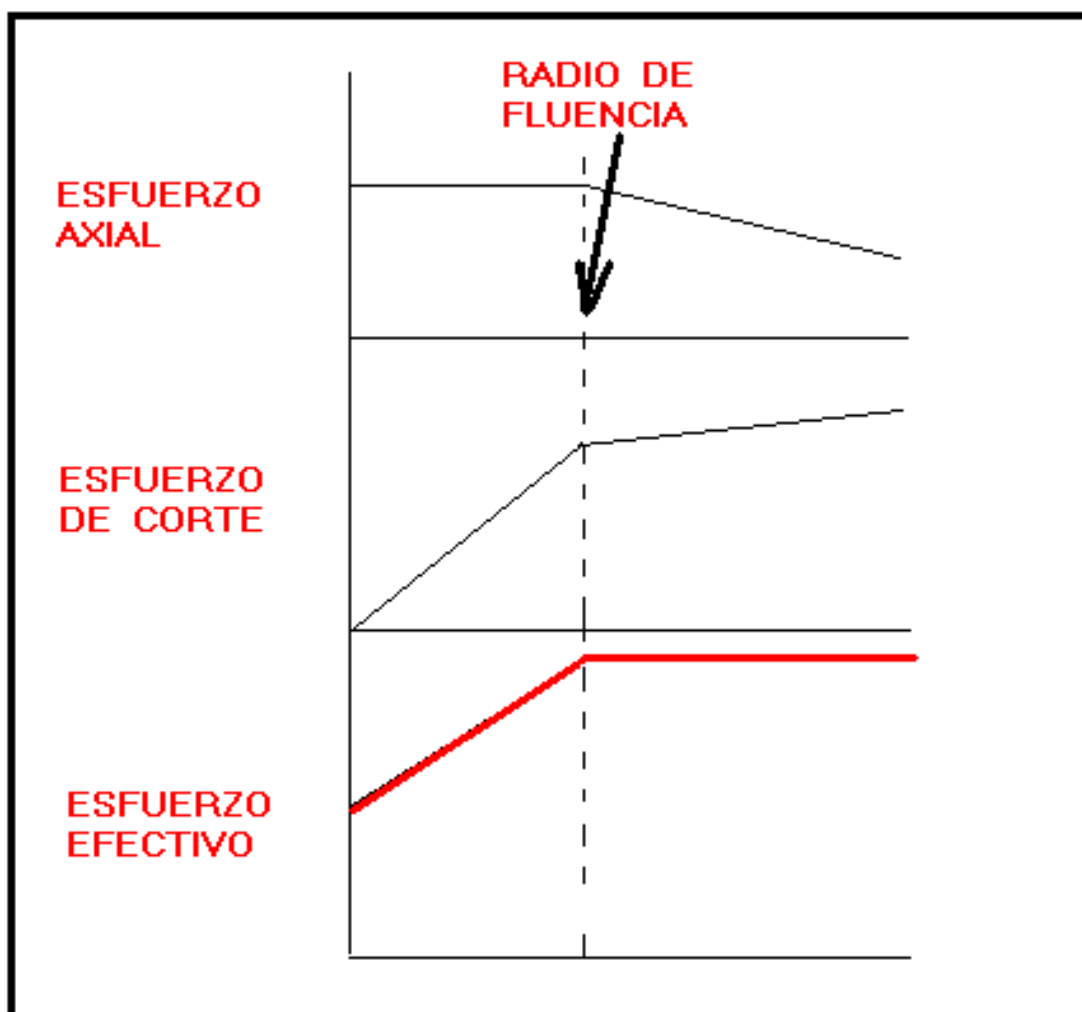
VON MISES / LÍMITE ELÁSTICO >>>>> VON MISES / LIMITE DE ROTURA



3-2) TRABAJO EN EL LIMITE PLASTICO

El trabajo en estas condiciones implica deformaciones permanentes que aparecen luego de sobrepasar el límite de fluencia. Precisamente se define este límite con una deformación permanente de 0.2 % de la longitud de la probeta de ensayo.

Los esfuerzos torsionales y de corte se caracterizan por una distribución lineal entre el centro de la pieza y la periferia, ejerciendo los máximos valores en la periferia. En caso de sobrepasar el límite elástico las deformaciones permanentes se producen allí. Con cada sucesivo incremento en el torque el esfuerzo en la periferia se mantiene prácticamente constante y sí se incrementa la deformación permanente.



La razón de que el esfuerzo efectivo se mantenga constante a pesar que el esfuerzo de corte va en aumento es debido a la fluencia del material en la periferia a partir del radio de fluencia. Es precisamente esta fluencia la que origina que la tensión axial disminuya y que la efectiva se mantenga constante aunque el esfuerzo de torque aumente.

Aún cuando la rotura de la pieza se produzca con un 100 % de elongación hablar de 0.2 % de deformación plástica no da una condición segura de trabajo ya que con un mínimo incremento en el esfuerzo continuará la deformación permanente.

AUN SIN INCREMENTO DEL ESFUERZO CONTINUARÁ LA DEFORMACION DEBIDO A LA REDUCCION DEL AREA DE LA VARILLA POR EL ALARGAMIENTO Queremos indicar que el trabajo en esta zona no deja margen para error ni para variación en las variables.

Analizaremos brevemente los diferentes esfuerzos que se producen en la PCP y veremos las posibilidades de variación.

3-3)ESFUERZOS EN PCP

ESFUERZOS AXIALES

La bomba al operar genera una presión de descarga que aplicada en el área diferencial existente entre la varilla y el área del rotor produce un esfuerzo axial que tiende a estirar la varilla.

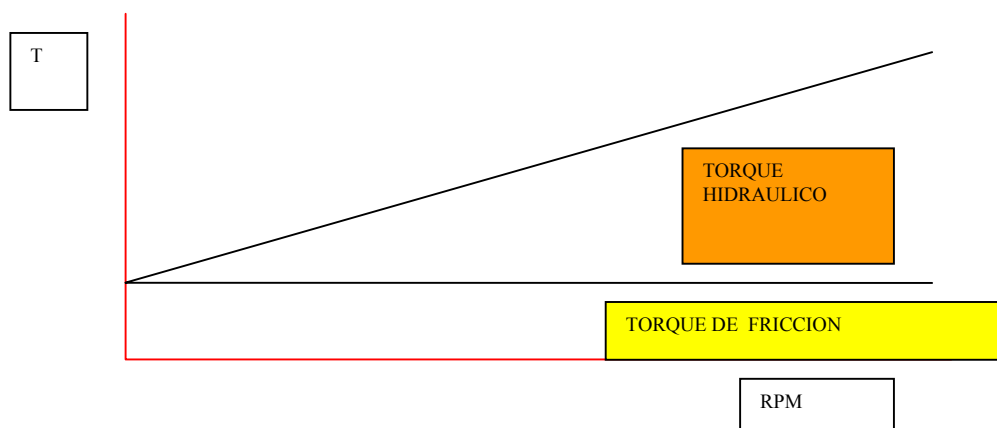
Esta presión de descarga es función del nivel y características del fluido y fricción en la tubería. Todas variables que pueden experimentar grandes variaciones.

ESFUERZOS DE FLEXION

Los pozos normalmente no son rectos, tienen desviaciones, patas de perro, irregularidades. Estas desviaciones de la vertical con mayor o menor grado de severidad tienen influencia en la magnitud del momento flector que actúa en la sarta. Es una función directa de la magnitud del esfuerzo y sobre todo del radio de curvatura. La magnitud es muy difícil de predecir ya que normalmente la existencia de estas irregularidades se desconoce al menos en su real magnitud.

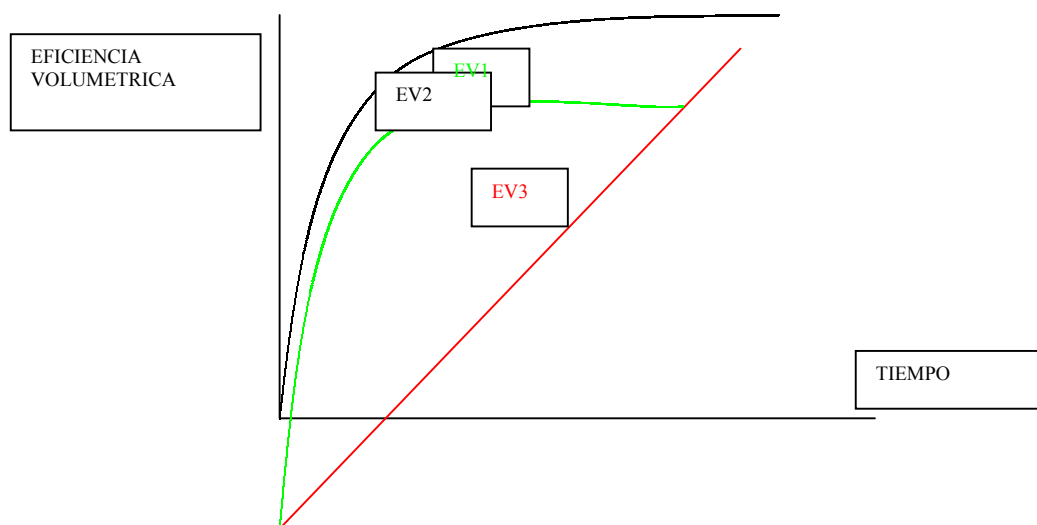
ESFUERZOS DE TORSION

El torque es el esfuerzo de mayor magnitud entre los que actúan en la PCP. Lo podemos definir como la energía requerida para rotar el rotor dentro del estator y desplazar un fluido contra una presión existente. Consta de 2 conceptos, un torque de fricción y un torque hidráulico. El torque de fricción es debido a la interferencia del rotor girando dentro de la goma del estator, tiene un valor muy pequeño – alrededor de 80-90 N-m, valor que se determina en el ensayo de la bomba, el hidráulico tiene que ver con los HP hidráulicos que dependen del caudal a extraer y de las presiones requeridas. Este es el mayor. En el gráfico comparativo que sigue se puede ver su magnitud relativa.



El torque de fricción es la energía requerida para sobreponerse al ajuste de interferencia entre rotor y estator, depende del ajuste de interferencia, el tipo de revestimiento del rotor, las propiedades lubricantes del fluido y la longitud y tipo de bomba. El torque hidráulico es conocido y predecible ya que depende fundamentalmente del nivel, el de fricción es impredecible ya que el ajuste de interferencia del que depende es variable con las condiciones del pozo: fluidos, mezclas bifásicas, temperatura, naturaleza de los fluidos. Una medida de este ajuste es la eficiencia volumétrica de la bomba que tiene diferentes formas de evolución en el tiempo (ver figura)

La forma mas común de evolución es aumentar rápidamente y luego estabilizar en un valor aproximado al 80 %, otras veces no estabiliza y continúa aumentando hasta la rotura total del elastómero.



3-4) INFLUENCIA EN EL FACTOR DE SEGURIDAD

El trabajo en la zona de deformación permanente trae algunos inconvenientes en la operación de la PCP. Señalamos los 2 mas perjudiciales. El primero tiene que ver con el espaciamiento de la bomba. Espaciar es dejar el rotor en su posición de trabajo dentro del estator a una distancia de seguridad de no más de 50 cm de una cruceta de paro tomada como referencia. Cuando se trabaja con deformación permanente el rotor se desplaza hacia abajo hasta tocar la cruceta de referencia y producir la destrucción de la bomba sino se detecta a tiempo. El otro inconveniente es el desfazaje entre el paso del estator y rotor que se produce como resultado del estiramiento que también termina con la destrucción de la bomba.

En 2 pozos veremos estos inconvenientes

FACTOR SEGURIDAD y YACIMIENTO CRUZ DE PIEDRA –

Este yacimiento se considera uno de los mas profundos en lo que respecta a la operación de bombas PCP. Varias bombas operan a profundidades de 2400 a 2500 m. También la temperatura es elevada, entre 100 y 105 °C. Analizamos 2 pozos, CP 39 y CP 32 operando con bombas PCP, 40-3400 (designación ISO, 40 m³/d/100 rpm y 3400 m altura elevación)

YACIMIENTO CRUZ DE PIEDRA		
Pozo	ECP 39	ECP 32
punzados	2800-2900	2800-2900
prof. Bomba	2102	2088
varillas	1"- "D"	1" "D"
tubing	2 7/8"	2 7/8"
bomba	40-3400	40-3400
CONDICIONES OPERATIVAS		
caudal	75	66
rpm	226	199
nivel (mbp)	1550	1520
presión bp(Kpa)	700	1000
presión	0	0
csg(Kpa)		
Temp.	105	105
Fondo(°C)		
Grad.	3.5	3.5
Temp(°/100 m)		
PARAMETROS DE CALCULO		
%presión máx bomba	62.6	57
torque máximo N-m	1065	977
carga axial máx(kN)	189	178
esf. Efectivo máx. @ 0 mbp	117%	108%
Factor diseño elástico	1.17	1.08
Factor diseño plástico	0.86	0.79

El análisis de los factores de diseño elástico nos indica que se ha superado el límite elástico y trabajamos en la zona de deformación permanente. Para el caso del factor de diseño plástico recordar que es la relación entre el esfuerzo equivalente de Von Mises y el límite de rotura por torsión. El factor 0.86 indica que estamos en el 86% del límite de rotura por torsión, tenemos un factor de seguridad por rotura pero estamos en zona de deformación plástica permanente. Esta condición ha sido causa de tener que efectuar reespaciamientos en 2 ocasiones en cada pozo y también una duración muy corta de la bomba.

La vida de la bomba en cada pozo no superó los 6 meses cuando la duración normal promedio oscila alrededor de 18 meses. El análisis de los estatores indicó rotura de la goma.

3-5)VARILLA CON TEMPLE SUPERFICIAL POR INDUCCION (VTSI)

Hemos señalado los inconvenientes de trabajar superando el límite elástico. Como una solución aparece esta varilla que con su particular forma de construcción permite disponer de un excedente de capacidad de torque que posibilita atender los mayores requerimientos de las operaciones de alta exigencia.

Describiremos brevemente su diseño y manera en que se fabrica. También a continuación mostraremos una serie de ensayos realizados en conjunto con el CFER donde indicaremos resultados y datos confiables de los límites alcanzados por estas varillas en lo que respecta a límites de rotura y fluencia en torsión.

El Cfer nos adelantó la importancia de corroborar con experiencias de campo lo que se determinó en laboratorios y bancos de prueba. Para esto se realizaron 3 ensayos en pozos del yacimiento Chihuido de la Sierra negra – Neuquen .

Los resultados obtenidos son muy interesantes. Los resumiremos a continuación.

3-5a)VARILLA VTSI - CACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS – FABRICACION

Estas son varillas de Ultra –Alta Resistencia. Se fabrican a partir de una varilla de alta resistencia comparable con las mejores de su tipo. Su especial tratamiento de templeado superficial controlado le confieren una extraordinaria capacidad de carga.

El templeado especial se lleva a cabo haciendo pasar la varilla a través de una bobina cuya corriente inductiva eleva su temperatura superficial a la vez que permite un exacto y sumamente preciso control tanto de la temperatura como del espesor y de la velocidad de calentamiento. Inmediatamente se enfría lo que convierte la Bainita original en Martensita.

La diferencia entre ambas es microestructural. La capa superficial de un espesor de aproximadamente 0.075”(1.9 mm) está constituida de prácticamente el 100 % de Martensita mientras que el núcleo interior está compuesto principalmente de Bainita.

La capa superficial queda permanentemente comprimida debido a su estructura molecular.

El acero en condiciones normales tiene una microestructura cúbica de cuerpo centrado.(BCC) Cuando se lo calienta hasta sobrepasar cierta temperatura, su microestructura cambia a Cúbica de cara centrada (FCC)Al efectuar el templeado la microestructura trata de volver a cúbica de cuerpo centrado pero el carbón queda atrapado a lo largo del eje “Z” en la trama estructural dando como resultado una microestructura rectangular. Esta estructura debería ocupar más lugar. Al no contar con él se produce una pre-compresión debido a este aumento de volumen.

Esta compresión es de 120,000 PSI(8451 Bar) esto significa que las cargas aplicadas a la varilla durante el ciclo de bombeo, sólo se convierten en tensión una vez que superan la fuerza resultante de multiplicar las 120 Kpi por el área de la capa precomprimida, alrededor de las 26,000 lb(115797 N) para el caso de varilla de 1”.

Los extremos de la varilla, previamente maquinados se protegen de modo que el endurecimiento se produce entre los espejos, quedando el relevo y la rosca con la misma estructura original de varilla de muy alta resistencia. De otra forma, los filetes se tornarían frágiles.

Se han realizado ensayos de las varillas VTSI a la torsión comprobándose que soportan para Bombas PCP un torque tan extraordinario como la capacidad de carga en Bombeo Mecánico

3-5b) ENSAYOS TORSIONALES EN EL CFER

COMENTARIOS

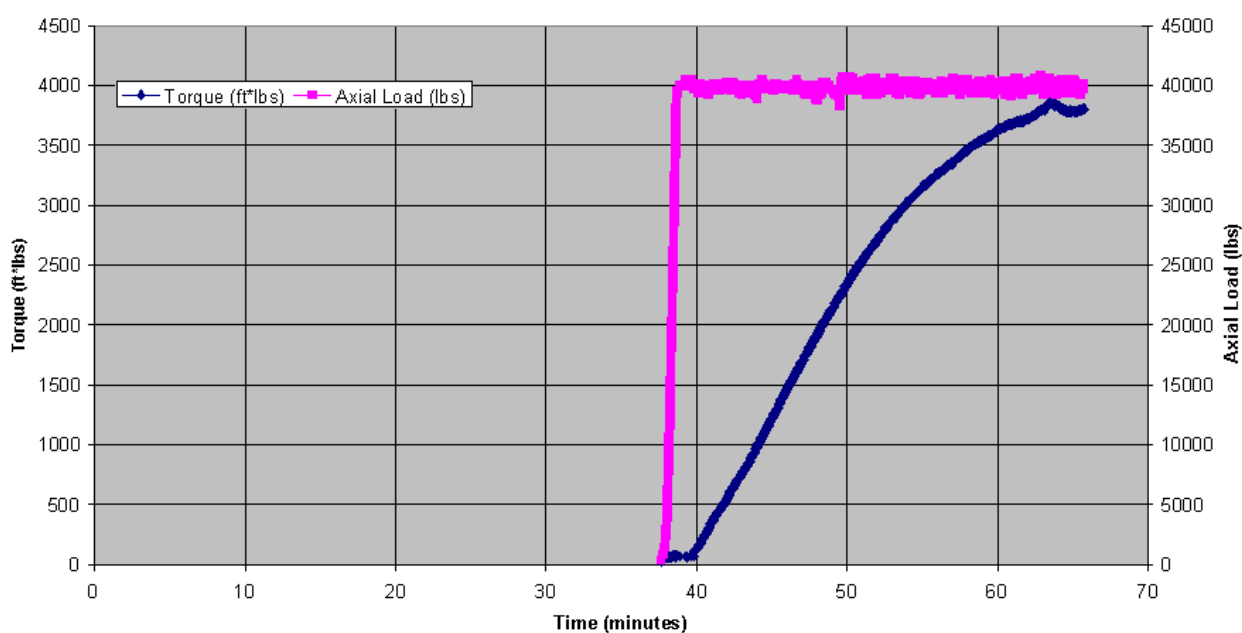
Se realizan ensayos en cuerpos de varillas y conexiones, los ensayos se realizan a escala natural. Simulando las condiciones de trabajo en el pozo se someten a cargas axiales y torsionales. Se retuercen a la rotura midiendo elongación y torque o vueltas a la rotura.

Aunque en el cuerpo el límite de rotura es el 200 % del de la varilla convencional se adopta como límite de utilización el torque de rotura de la conexión.

El límite es la conexión

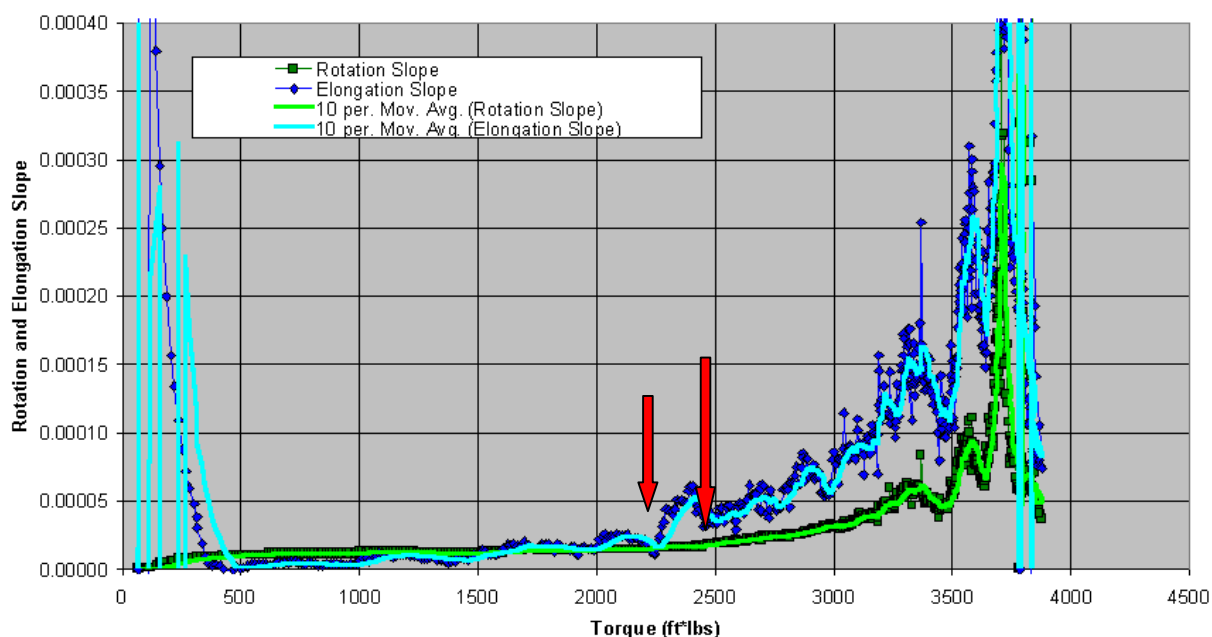
ENSAYOS

Se realizan en el cuerpo y conexión. Para las conexiones se usan trozos. Las medidas para el ensayo son 7/8", 1" y 1 1/8" y se efectúan en máquinas especiales utilizadas también para torqu coast tubing y casing. Se somete a carga axial constante y a un torque variable desde 0 al valor de rotura. En el gráfico que sigue se aprecia la interacción de los 2 efectos, tracción y torsión en el cuerpo de una varilla de 1 1/8".



Otra manera de indicar el efecto del torque es indicar el alargamiento como la deformación angular en función del mismo, se mide así la tasa de cambio o pendiente de la curva. En la misma se puede ver el punto donde la influencia del torque es más acentuada, 2250 lb-ft (3055 N-m) para el alargamiento y 2400 lb-ft (3259 N-m) para la deformación por rotación.

Es importante definir el torque límite para el alargamiento para así evitar el trabajo en estas condiciones que crea problemas en la operación de la bomba como señalamos arriba. En el gráfico que sigue se puede apreciar los puntos de cambio y alto valor de deformación axial y torsional en función del torque.



En la tabla que sigue se incluyen los valores de los ensayos realizados en el cuerpo y conexiones de varillas. Los torques de rotura varían de 1743 lb-ft(2367 N-m) (7/8”) hasta 3811 lb-ft(5175 N-m) (1 1/8”). Las roturas son del tipo vidrioso con poca deformación plástica. El torque al comienzo de rotaciones y elongaciones es aproximado entre el 65 y 70 % del torque de rotura.

VTSI- ENSAYOS TORSIONALES en CUERPO y Conexión

Ensayo N°	Medida (pulg)	conexión	Carga axial lb (Kg)	Alarg. Inicial(%)	Torque de rotura (ft-lb) N-m	Alarg. Rotura(%)
1	0.875	sin	20000 (9080)	0.097	1743(2364)	0.269
2	1	sin	30000 (1362)	0.116	2496(3385)	0.236
2 ^a	1	sin	30000 (1362)	0.125	2520(3417)	0.299
3	1.125	sin	40000(1816)	0.124	3809(5165)	0.27
3 ^a	1.125	sin	40000(1816)	0.122	3811(5168)	0.386
4	0.875	slimhole	20000 (9080)	0.089	1113(1509)	0.056
5	1	slimhole	30000(1362)	0.105	1859(2521)	0.12
6	1.125	fullsize	40000(1816)	0.107	2554(3463)	0.126
7	0.875	fullsize	20000 (9080)	0.086	1262(1711)	0.087
8	1	fullsize	30000(1362)	0.101	1731(2347)	0.124
9	1.125	fullsize	40000(1816)	0.107	2747(3725)	0.133

Con los valores de ensayo se elabora un modelo matemático que basado en la resistencia del núcleo y la periferia determina la resistencia de la varilla integral. Estos valores analíticos hallados con el modelo concuerdan con los valores determinados experimentalmente

DIAMETRO	TORQUE CALCULO Lb-ft (N-m)	TORQUE REAL Lb-ft (N-m)
7/8"	1656 (2246)	1743 (2364)
1"	2459 (3334)	2508 (3401)
1 1/8"	3487 (4728)	3810 (5166)

También es interesante la diferencia entre el torque de fluencia de las varillas VTSI y las convencionales. El torque de fluencia de la varilla VTSI calculado es 250% más alto que la varilla de grado D y 225 % mas alto que la de alta resistencia.

ENSAYO DE LA VARILLA CON CONEXIONES

El ensayo se realiza igual que en el cuerpo pero los resultados son distintos, la forma específica de la falla es el arranque de los filetes de las roscas. La curva del torque cerca de la falla muestra una pequeña meseta en contraposición a la brusca subida en el caso de los ensayos del cuerpo solamente. Esa meseta se produce debido a que la conexión sufre un cierto porcentaje de deformación plástica a medida que se arrancan los filetes de la rosca antes de la falla. Para el caso de las conexiones no existe diferencia apreciable entre el torque de iniciación de deformaciones y el de rotura.

Medida (pulg)	Carga axial(lb) (Kg)	Torque de rotura en cuerpo(lb-ft) (N-m)	Torque inicio deformación cuerpo lb-ft (N- m)	Torque rotura conexión (lb-ft) (N-m)
0.875	20000 (9080)	1743/1263 lb-ft 2364/1713 N-m	1200 lb-ft 1627 Nm	1113 lb-ft 1509 Nm
1	30000 (13620)	2496/2520 lb-ft 3385/3417 N-m	1750 lb-ft 2373 Nm	1859/1731 lb-ft 2521/2347 Nm
1.125	40000 (18160)	3809/3811 lb-ft 5165/5168 Nm	2250 lb-ft 3051 Nm	2554/2747 lb-ft 3463/3725 Nm

UN COMIENZO LOGICO PARA FIJAR LAS CARGAS LIMITE , SERIAN VALORES LIGERAMENTE MENORES QUE EL NIVEL DE INICIACION O EL PUNTO DE ROTURA DE LA CONEXIÓN .ESO SIGNIFICA UN LÍMITE DE TORQUE DE 1000 LB-FT(1356 Nm) PARA 7/8" , 1500 LB-FT(2034 Nm) PARA 1" Y 2000 LB-FT(2712 Nm) PARA 1 1/8".

Los límites de torque propuestos para la varilla VTSI deben ser examinados en el contexto de la varilla de bombeo convencional –grado D y la de alta resistencia - para ver cómo se comparan. Al realizar esta comparación se deben considerar valores límites de acuerdo a ambos criterios, el tradicional basado en el límite elastico como el de altos torques utilizado por otros fabricantes.

COMPARACION DE LIMITES - VTSI Y CONVENCIONAL

Diámetro	VTSI	G R A D O "D"		G R A D O "HS"	
	Límite torque propuesto (lb-ft) (Nm)	Límite tradicional (lb-ft) (Nm)	Límite Alta Resist (lb-ft) (Nm)	Límite tradicional (lb-ft) (Nm)	Límite Alta Resist (lb-ft) (Nm)
0.875	1000(1356)	568 (770)	735 (997)	725 (983)	800 (1085)
1	1500 (2034)	850 (1153)	1100 (1492)	1086 (1473)	1200 (1627)
1.125	2000 (2712)	1214 (1646)	1570 (2129)	1551 (2103)	1700 (2305)

3-6)TORQUE Y PCP EN POZOS CHIHUIDO de la SIERRA NEGRA

Los ensayos del Cfer requieren una comprobación en los pozos donde se presenta los esfuerzos combinados y a su vez acompañados de otros efectos que intensifican la magnitud de los mismos, como ser CO₂, SH₂, temperatura, etc.

Se decide continuar los ensayos de laboratorio en los pozos del yacimiento Chihuido de la Sierra Negra. La razón de hacerlo en este yacimiento está en primer lugar en la colaboración de parte de Repsol YPF para evaluar el comportamiento de estas varillas, también por la magnitud de los torques puestos en juego en la operación y sobre todo en los grandes incrementos de torque que se producen debido a las condiciones adversas de los fluidos del yacimiento y los sólidos presentes.

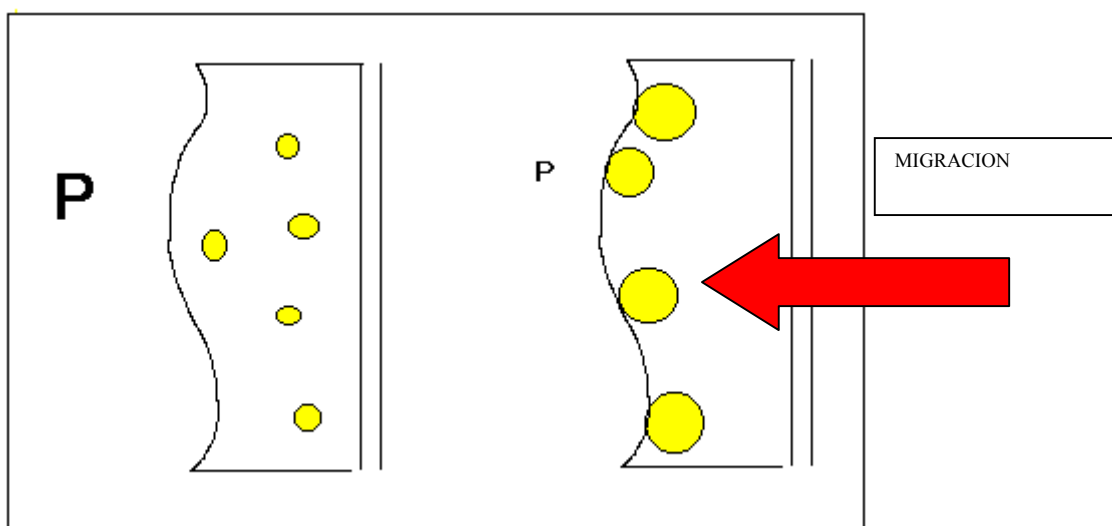
Cuando hablamos del torque de una PCP señalamos que está compuesto del torque hidráulico y del torque de fricción. Este último que al momento del ensayo presenta valores pequeños se incrementa al estar en contacto con el fluido del pozo. Indicaremos brevemente a continuación la forma de actuar de los diferentes elementos adversos de fondo de pozo.

TEMPERATURA : Tiene que ver con la dilatación del elastómero, sabemos que la dilatación es una función lineal del salto de temperatura y del espesor de la capa de elastómero. A mayor dilatación, mayor torque de fricción.

SH₂ : el azufre en presencia de temperatura continúa el proceso de vulcanización esto es sinónimo de que continúa el proceso de endurecimiento y rigidización que es lo que finalmente aumenta el torque y produce la rotura de la goma por fragilización.

CO₂ : la goma para ser flexible tiene que tener poros y ser permeable. Esto hace que moléculas de gases como el CO₂ penetren a la presión de bombeo de la bomba. Si por algún motivo esta presión externa disminuye – caso por ejemplo de una parada de la bomba por algún corte de energía - las moléculas en el interior de la goma tienden a migrar hacia el exterior – zona de menor presión - aumentando su volumen.

Esto por supuesto equivale a un aumento de fricción y torque.



ARENA : de 2 maneras la arena incrementa el torque . Una es mientras circula a través de la bomba. Acá se produce fricción entre los granos entre sí, entre los granos y el fluido y en la interposición de los granos entre rotor y estator . La otra forma es por decantación de la arena en los paros. Esta actúa principalmente obstruyendo la salida incrementando la presión y el torque.

3-7)POZOS CHSN 401-338 y 290

El pozo CHSN 401 se encuentra en ensayo de varilla VTSI desde el 15/06/02 .El CHSN 338 desde el 12/07/02 ensaya una varilla Alta Resistencia(AR) y el CHSN 290 una varilla VTSI desde el 27/03/02 a la fecha. La razón de usar 2 sartas de varillas de diferentes grados(AR y VTSI) es evaluar también una varilla de menor prestación como la AR para las aplicaciones donde no se requiere la capacidad de la VTSI . Al final se adjuntan las planillas de operaciones correspondiente a los meses del ensayo Se ha registrado allí consumos de potencia, RPM, producción, niveles y torque . También adjuntamos los cálculos del Cfer para los pozos.

Lo destacable es observar los altos torques de operación corroborados con el cálculo y con las mediciones de potencia y torque. Una varilla convencional de grado D , 1 “ no hubiera permitido el régimen de extracción y sobre todo la performance operativa en los casos de parada de los pozos y su posterior arranque .

Destacamos esto último. En la producción de los pozos es importante considerar como amigos a muchos de los elementos perturbadores como ser el gas, arena y sedimentos. El concepto de amigos es que se deben sacar afuera o producir el pozo a pesar de ellos. Esto es fácil de entender si tomamos la arena por ejemplo que si se acumula durante la operación o en un paro por corte de energía por ejemplo, el sistema por sí debe tener la capacidad de potencia para sacarla. Esto implica capacidad en el equipo de superficie, en la bomba de fondo y sobre todo en el nexo que une la superficie con el fondo que es la varilla. Sabemos que en una cadena cinemática la rotura se produce en el eslabón más débil por lo que todos los elementos deben disponer de igualdad de capacidad.

Hemos tenido casos de hasta 2 paros en el día – en general por problemas eléctricos-y se ha podido poner nuevamente en marcha sin necesidad de lavar el pozo con todo lo que esto significa en ahorros de producción y en evitar costos innecesarios de pulling. El variador con control de torque se encuentra seteado con valores de 1200 lb-ft, valor que permite la operación indicada. En el pozo CHSN 290, el día 13/05/02 el VSD entrega a la sarta VTSI un torque de 1328 lb-ft (1803 N-m) para poder librar el aprisionamiento por arena que se produce en el paro.

EL TORQUE NORMAL SETEADO ES DE 1200 LB-FT(1627 N-m). EN UN ARRANQUE DIFÍCIL SE PUEDE LEVANTAR ESTE LIMITE. Es de notar que en operación normal este torque seteado se ocupa en cubrir el torque hidráulico mientras que en los arranques se utiliza para vencer las pérdidas de fricción.

4-CONCLUSIONES FINALES

- 1- El **diseño elástico** tiene serias **limitaciones** en casos de elevados requerimientos de potencia.
- 2- El diseño **plástico** permite trabajar en condiciones de mayor exigencia pero deja el sistema **sin reserva**. Cualquier variación de los supuestos de cálculo hace que el sistema se desplace a una condición de deformación irreversible con los problemas que trae posteriormente a la operación de la bomba.
- 3- La varilla VTSI aparece como una solución en cuanto que el torque admisible supera hasta en un 200 % a la varilla convencional permitiendo así:
 - ♦ Incrementar la capacidad de extracción y sacar lo que el pozo permite
 - ♦ Responder ante imprevistos con una gran capacidad de torque como para salir de inconvenientes como ser aprisionamientos con arena
- 4- Los ensayos que se vienen realizando en estos pozos del Chuihuido permiten corroborar:
 - ♦ **La mayor capacidad de extracción y la mayor reserva de torque**

TECNOLOGIA DE PRODUCCION
ENSAYO DE VARILLAS XD EN POZO PCP
POZO CHSN 338

POZO: CHSN-338

FECHA	FRECUENCIA Hz	CORRIENTE AMP	VOLTAJE VOLT	RPM	TORQUE LB-FT(N-m) MEDIDO	TORQUE LB-FT(N-m) Cter	PROD. BRUTA M3/D	NIVEL m	OBSERVACIONES
12/07/02	31	35	232	140	468(635)	704(955)	111	419	INICIO ENSAYO TQ.MAX 1200LB/FT
15/07/02	53	39	360	240	696(944)				CAMBIO DE REGIMEN SIN/AUTORIZAR
15/07/02	33	36	256	150	588(797)				SE NORMALIZA REGIMEN
17/07/02	33	36.1	260	150	504(683)	707(959)	117	447	
20/07/02	45	38.7	332	205	564(765)				SE CAMBIA REGIMEN
22/07/02	46	39.1	332	208	576(781)				SE CAMBIA REGIMEN
24/07/02	46	39	396	208	592(803)	798(1082)	160		
28/07/02	46	40.2	343	208	600(814)				
04/08/02	55	48.5	368	247	720(976)				SE CAMBIA REGIMEN
06/08/02	55	48	382	247	728(987)	850(1153)	187	567	
07/08/02	62	53.6	399	287	775(1051)				SE CAMBIA REGIMEN
08/08/02	62	52.3	399	287	738(1000)	961(1303)	214	679	
12/08/02	62	52	399	287	738(1000)				
17/08/02	62	68	380	287	748(1014)				PARADO MOTOR EN CORTO
18/08/02	63	72	386	307	867(1176)				SE CAMBIA MOTOR
20/08/02	63	71	380	307	902(1223)				
27/08/02	66	76	399	320	998(1353)				
28/08/02	66	78	391	320	998(1353)	1157(1569)	250	725	
02/09/02	68	80	383	330	1090(1478)				
06/10/02	70	85.6	409	340					
18/10/02	68	80	374	340	1050(1424)	1076(1459)	249	707	
		12/11/02 FIN DEL ENSAYO							

FIGURA 1
POZO CHSN 338
VARILLAS GRADO AR (Alta resistencia)

TECNOLOGIA DE PRODUCCION ENSAYO DE VARILLAS ELECTRA EN POZO PCP CH SN401 POZO: CHSN-401										
FECHA	FRECUENCIA HZ	CORRIENTE AMP	VOLTAJE VOLT	RPM	TORQUE LB/FT(Nm) MEDIDO	TORQUE LB/FT(Nm) Cfer	PROD. BRUTA M3/D	CORTE % AGUA	NIVEL MTRS	OBSERVACIONES
15/06/02	25	30	190	93	340(461)					INICIO DE ENSAYO TQ.MAX: 1214LB/FT
18/06/02	25	34	190	93	473.4(642)	550(746)	44	90	350	CORTE CORREAS/SE REEMPLAZAN
19/06/02	29	43.9	207	110	485(658)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
20/06/02	29	44.5	220	110	509.8(691)					
24/06/02	35	48	265	130	558.4(757)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
25/06/02	35	48.2	262	130	607(823)					
26/06/02	35	48.4	276	130	607(823)					
28/06/02	41	49.2	310	150	603(818)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
02/07/02	41	51.8	320	150	628.5(852)					
02/07/02	47	54.62	358	170	704(955)	700(949)	130		456	CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
03/07/02	EQUIPO CON BAJO TORQUE ,QUEDA DE PESCA									ESPERA PULLING
07/07/02	SE INTERVIENE POZO V/B CORTADA EN CUERPO (CORROSION)									
08/07/02	39	48.2	286	140	607(823)					Q.M.NORMAL/SE CAMBIAN 17V/B
09/07/02	39	53.7	292	140	607(823)					PERDIDA ACEITE/SE CAMBIA FILTRO
12/07/02	39	54	295	140	689.5(935)	713(967)	151	93		SE CONECTA BBA DOSIFICADORA
15/07/02	EQUIPO CON BAJO TORQUE ,QUEDA DE PESCA									ESPERA PULLING
30/07/02	SE INTERVIENE POZO VASTAGO CORTADO EN CUERPO									
30/07/02	39	47.8	299	140	554.7(752)					Q.M.NORMAL/SE CAMBIA VASTAGO
31/07/02	41	53.6	314	150	671.3(910)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
04/08/02	41	57	310	150	764.8(1037)	768(1041)	163	93	586	
06/08/02	47	58.4	339	170	794(1077)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
08/08/02	49	60	347	180	828(1123)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
12/08/02	49	60	330	180	828(1123)					
20/08/02	50	61	350	190	864(1172)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
21/08/02	50	62	358	190	864(1172)					
24/08/02	50	62	360	190	864(1172)	930(1261)	194	92	800	
27/08/02	52	64.9	375	197	865(1173)					CAMBIO DE REGIMEN-NORMAL
28/08/02	52	64.9	375	197	865(1173)				809	
04/09/02	52	66	375	197	901(1222)					

FIGURA 2
 POZO CHSN 401
 ENSAYO VARILLA “VTSI” (Varilla con temple superficial por inducción)

TECNOLOGIA DE PRODUCCION
ENSAYO DE VARILLAS ELECTRA EN POZO PCP

POZO: CHSN-290

FECHA	CORRIENTE A	VOLTAJE v	RPM	TORQUE LB-FT(N-m) medido	TORQUE LB-FT(N-m) Cfer	PROD. BRUTA m3/d	CORTE % AGUA	NIVEL m	OBSERVACIONES
27/03/02	36.87	168	100	485.6(658)		99	55.4	475	
04/04/02	55.8	210	120	832.6(1129)	882(1196)	107	68.48	567.3	CAMBIO DE REGIMEN
05/04/02	56.7	213	120	855.7(1160)	823(1116)	107	68.48	567.3	
10/04/02	60	225	120	925.12(1254)	1221(1656)	118	74.85	781.2	
11/04/02	63.1	241	140	971.04(1317)		118	74.85	781.2	CAMBIO DE REGIMEN
19/04/02	66.2	246	140	1006.06(1364)	1046(1418)	118	74.85	847	
20/04/02									BOMBA NUEVA
25/04/02	56	290	140	867.3(1176)				800	TORQUE MAX-87%(seteado)
30/04/02	62/64	241/262	126/140	900(1220)				1168	TORQUE MAX-87%
01/05/02	65	262	140	920.2(1248)	1000(1356)	130.6	78.49	1063	TORQUE MAX-90%
07/05/02	62/66	180/221	98/117	1005.5(1363)		130.6	78.49	1069	TORQUE MAX-87%
09/05/02	62/66	180/221	98/117	1005.5(1363)	1050(1424)	110.21	66.68	817	TORQUE MAX-87%
13/05/02							66.68	817	PROBLEMA NIVEL SE ARRANCA
13/05/02	60	157	90	920(1248)		110.21	66.68	817	CON 100%TORQUE
16/05/02	60	157	90	920(1248)		91	61	947	TORQUE MAX-87%
17/05/02	60	159	90	920(1248)		91	61	895	
18/05/02	60	159	90	920(1248)		83.2	52.83	895	
22/05/02	60.5	162	90	932(1264)	884(1199)	83.2	52.83	895	SE INSTALA FLUKE
26/05/02	EQUIPO APRISIONADO -SE ARRANCA 100 % TORQUE -RESULTADO NEGATIVO								PROBLEMA DE NIVEL
28/05/02	59	159	110	885(1200)		106	67		INTERV.PULLING LAVADO
04/06/02	68	202	110	1086.64(1473)		102	65		
25/06/02	68	192	100	1086.64(1473)	985(1335)	87	62	1093	
11/07/02	EQUIPO APRISIONADO -SE ARRANCA 100 % TORQUE -RESULTADO NEGATIVO							1093	PROBLEMA DE NIVEL
11/07/02	64	192	95	936(1269)					INTERV.PULLING LAVADO
12/07/02	EQUIPO APRISIONADO -SE ARRANCA 100 % TORQUE -RESULTADO NEGATIVO							1093	PROBLEMA DE NIVEL
14/07/02	53	212	120	751(1018)					INTERV.PULLING LAVADO
15/07/02	61	212	120	901(1222)	843(1143)	89	68	1093	
16/07/02	EQUIPO APRISIONADO -SE ARRANCA 100 % TORQUE -RESULTADO NEGATIVO								QUEDA EN ESP.CAMBIO DE MOTOR
17/07/02	60	191	120	901(1222)					CAMBIO MOTOR ARRANQUE1191LB
18/07/02	EQUIPO CON BAJO TORQUE QUEDA DE PESCA								ESPERA PULLING
20/07/02	34.1	163	105	304(412)					CAMBIO BBA MENOR CAUDAL
22/07/02	40.3	172	105	449(609)					
07/08/02	42.5	185	120	530(719)					
08/08/02	43.4	185	120	551(747)		92.8	53		
18/08/02	47.5	247	153	636(862)					
20/08/02	48	245	153	648(879)		109	58		
27/08/02	51.2	274	170	702(952)					
28/08/02	52	278	170	715(969)	711(964)	117	56	967	
02/09/02	54	278	170	768(1041)					
04/09/02	55	281	170	768(1041)					

FIGURA 3
POZO CHSN 290
ENSAYO DE VARILLAS “VTSP” (Varilla con temple superficial por inducción)

**POZOS CHIHUIDO
SIERRA NEGRA**

Instalación

	CHSN 401	CHSN 338	CHSN 290
Prof .	1190	1200	1260
bomba	120-1200	120-1200	120-1200
ancla torque	sí	sí	sí
varilla	1" VTSI	1" AR	1" VTSI
cabezal	M4	M4	M4
motor	50cv	75 cv	
°API	34	34	34
% agua	92	97	67
GOR (m3/m3)	40	150	

Cálculo Cfer

338

Varilla

Q(m3/d)	nivel (m)	RPM	T(lb-ft)	EDF	DDF
111	419	144	782	0.74	0.58
117	447	153	806	0.76	0.6
160	520	209	883	0.83	0.66
187	567	246	936	0.88	0.7
214	679	284	1046	0.98	0.78
260	725	330	1114	1.04	0.83

401

Varilla
VTSI

Q(m3/d)	nivel (m)	RPM	T(lb-ft)	EDF	DDF
130	456	124	743	0.95	0.74
151	540	145	821	1.05	0.82
163	586	157	860	1.1	0.86
194	800	192	1050	1.33	1.06

290

Varilla
VTSI

Q(m3/d)	nivel (m)	RPM	T(lb-ft)	EDF	DDF
107	475	111	615	0.8	0.62
118	781	122	898	1.15	0.91
118	847	140	958	1.23	0.98
131	1063	150	1160	1.48	1.18
87	1093	100	1169	1.49	1.19
117	967	140	1169	1.36	1.08

FIGURA 4 DATOS CALCULO CON EL CFER

ANTECEDENTES DE LOS AUTORES

José Pich

- Weatherford ALS , ingeniería aplicación en sistemas de extracción artificial
- Experiencia anterior : OXY , Bidas y Kobe Centrilift como ingeniero de campo y aplicación en sistemas extracción artificial

Diógenes Stochetti

- Weatherford ALS , desarrollo de productos para extracción artificial
- Experiencia anterior : Amoco , Perez Companc , Ingeniería de producción

Eduardo Alfaro

- Weatherford ALS , supervisor de operaciones , sistemas de extracción artificial
- Base Rincón de los Sauces - Neuquén

BIBLIOGRAFIA

- Mechanical Design - Shigley – Mishka
- CFer , Ensayos de varillas para WALS
- Weatherford BMW, PCP Operation Manual
- Weatherford Geremia, PCP operation manual

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a REPSOL –YPF yacimientos Rincon de los Sauces y Barrancas por permitir compartir los resultados de e stos ensayos con varillas especiales