

CURRICULUM VITAE

Héctor Eruviel Palma Valenzuela

Héctor Eruviel Palma Valenzuela, nació el 23 de octubre de 1961 en Creel, Chihuahua. Estudió en el IPN, graduándose como Ingeniero Petrolero en 1985 con la Tesis "Control de Brotes en Equipos de Perforación Flotantes".

Ingresó a Petróleos Mexicanos en 1985, como Ingeniero de Estudios en el Departamento de Perforación en Reynosa, Tam.

De 1987 a 1991, participó en Diseño de Pozos y la ejecución de diversos programas de perforación, en Areas Alejadas de Chihuahua y Monclova

De 1992 a 1995, Colaboró en el Desarrollo de Ingeniería en el Campo productor de gas Merced.

De 1996 a 1997, trabajó como Ingeniero Especialista en el Area de Diseño de la Unidad Operativa Burgos.

En 1998, estudió el Diplomado en Asuntos Económicos y Financieros, impartido por el ITESM.

Actualmente, es encargado del Area de Diseño de Pozos con Equipo de la Unidad Operativa Burgos.

Es Socio del Colegio de Ingenieros Petroleros de México, de la Asociación Nacional de Ingenieros Petroleros de México y de la Asociación Nacional de Perforadores de México.

“XII Congreso Latinoamericano de Perforación”

“UNA SOLA SARTA DE PERFORACION DE 4" WT 38 SUPERA EL DESEMPEÑO DE LA TP COMBINADA DE 4 1/2 - 3 1/2 API”

Autores:

- 1) Ing. Hector Palma Valenzuela
Pemex Exploración y Producción.
Blvd. Lázaro Cárdenas No. 605
Col. Anzaldúas 88630
Cd. Reynosa, Tam.
Tel (89) 243835 E-Mail: hpalma@nte.pep.pemex.com
- 2) Ing. Abraham Julian Eljure
Hydril, S.A. de C.V.
Hamburgo 213, Piso 12
Col. Juárez
México, D.F. 06600
Tel (5) 2087148 E-Mail: ajulian@attmail.com
- 3) Ing. Eduardo E. Díaz Ramos
Hydril, S.A. de C.V.
Chihuahua 1192-A , Esq. Culiacán
Col Rodríguez
Cd. Reynosa, Tam. 88630
Tel (89) 252361 Fax (89) 252362 E-Mail: ediazr@prodigy.net.mx

UNA SOLA SARTA DE PERFORACION DE 4" WT 38 SUPERA EL DESEMPEÑO DE LA TP COMBINADA DE 4 1/2 - 3 1/2 API

INTRODUCCIÓN.

Pemex Exploración y Producción (PEP) está perforando pozos de gas desde el año 1945 en la Cuenca de Burgos, localizada al Norte de los estados de Tamaulipas y Nuevo León en el Noreste de México, colindando con el Sur del estado de Texas en los Estados Unidos. En el año 1995, se intensificó la actividad de perforación con la aplicación de diseños y técnicas tendientes a beneficiar tiempos, costos y calidad de los pozos. El diseño general de estos pozos está basado para diámetros de barrena; 17 1/2", 12 1/4", 8 1/2" y 6", que llevan Tuberías de Revestimiento; 13 3/8", 9 5/8", 7" y 4 1/2" ó 3 1/2" respectivamente, para lo cual tradicionalmente se utilizan dos sarts de perforación con diferente diámetro; TP 4 1/2" NC46, para perforar las tres primeras etapas y con TP 3 1/2" NC38, para la cuarta etapa.

A partir de 1998, se ha estado utilizando una sola Sarta de Perforación de 4" WT38, sustituyendo el diseño tradicional de dos lotes de TP de 4 1/2" NC46 y 3 1/2" NC38, que se utilizan alternadamente para perforar un pozo vertical ó direccional, de cuatro etapas a la profundidad promedio de 3700 m.

La idea de perforar con una sarta sencilla 4" se debe en parte, a que una premisa de la UPMP, es proporcionar los servicios de perforación con calidad, teniendo un desempeño operativo y económico competitivo dentro de un marco de seguridad y protección al ambiente, por lo que este trabajo está elaborado bajo esta filosofía.

Por esta razón, el reemplazar las sarts de 4 1/2" y 3 1/2" por una de 4", fue motivado por el ahorro en tiempo y disminución de riesgo operativo que ocupa el armado y desarmado de sarts de perforación. Con esta reducción de tiempo por este concepto durante la fase de perforación del pozo, se ha logrado disminuir un total de 36 horas, por pozo perforado.

También fue importante encontrar en el mercado la conexión adecuada para esta tubería, que semejara diámetro interno en relación con la TP 4 1/2" y diámetro externo en relación con la TP 3 1/2". El análisis detallado para la selección de la sarta, consistió en considerar todos los aspectos técnicos, operativos, de seguridad y económicos involucrados.

Esta TP 4" también tiene la ventaja que puede ser usada por equipos de menor tamaño y capacidad, lo que significa disminuir requerimientos de logística, preparación de localizaciones, y costo por mantenimiento de equipo.

Se deseaba perforar con una sarta sencilla, por lo que se estudió que tubería podría perforar totalmente un pozo esbelto de 4 etapas. Así que, antes de la adquisición y aplicación de la TP 4", se efectuó un análisis para determinar su funcionamiento y las características de la conexión que debería tener, dado que el objetivo era confirmar que la TP 4", podría operativamente remplazar la sarta doble 4 1/2" - 3 1/2" para perforar pozos con la geometría mencionada. El estudio estuvo basado en los requerimientos

estructurales, geométricos y costo, revelando que la TP 4" con Junta tipo acuñada WT38 (4 ¾" x 2 9/16") es la adecuada.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La selección de la TP, el tipo y dimensiones de la conexión de trabajo; debe tener el tamaño correcto para el diámetro de cada una de las etapas del pozo, ya que esta actúa como conductora para el bombeo de fluidos a la barrena, y en su retorno acarrea los recortes a la superficie por el espacio anular. Las caídas de presión en la TP deben ser manejables acorde a la capacidad hidráulica del equipo de perforación. La junta o conexión debe contar con un diámetro interior mayor para lograr un efecto positivo en la optimización hidráulica, y entre otros beneficios permitir el paso de herramientas normales (registros, inclinómetros etc.), deberá contar con suficiente claro anular para las herramientas de pesca, además, debe ser manejada con elevadores convencionales para evitar costos adicionales en equipo especial, por lo tanto la diferencia entre el diámetro del tubo y la junta deber tener el tamaño suficiente que permita utilizar elevadores ahusados de 18°.

Los distintos esfuerzos a que se somete la sarta de trabajo, para transmitir rotación y peso a la barrena, se manifiestan en forma de tensión, torsión y pandeo, los cuales son considerados en este diseño.

Otro factor importante en el análisis para la selección de la sarta, es el tiempo de rotación de la misma, para tal efecto, se elaboró un registro estadístico de las horas de rotación promedio a partir de la selección de los seis pozos más rápidos del campo Arcos; los cuales se presentan en la tabla 1, en donde se observa que el tiempo promedio de rotación por pozo, corresponde a 326 horas. En la columna derecha se presentan los tiempos de rotación promedio alcanzados con la TP 4" (muy similares a los anteriores), con un mejor avance en la última etapa.

Otro factor igualmente importante es el arreglo de las tuberías de revestimiento, esto es debido a que al modificar la sarta de perforación es necesario cuantificar los esfuerzos hidráulicos originados por el flujo de fluidos y acarreo de recortes, lo que origina pérdidas de presión por fricción que se manifiestan en la densidad equivalente de circulación en el sistema, este efecto se refleja mas severamente en la última etapa. Por esta razón se decidió perforar la tercera etapa con barrena de 8 ½" y asentar una TR 7", N-80, 29 lb/pie, BCN con drift especial, la cual cumple con las necesidades de diseño permitiendo perforar la última etapa con barrena 6 1/8", como una alternativa para evitar problemas operativos causados por la restricción al flujo anular, además de que obligó a optimizar el diseño anterior de la TR 7", ya que anteriormente se utilizaba un peso nominal de 32 lb/pie. En la figura 1, se presentan los diversos arreglos de tuberías de revestimiento normalmente utilizados en el Distrito Reynosa, desde que se inició con el concepto de pozos esbeltos y su evolución actual. También existen otras opciones que podrían utilizarse y aunque no se tratan en este trabajo, la idea de su aplicación permanece vigente. Actualmente en este Distrito, desde mayo de 1998 se han perforado 23 pozos con TP 4", junta WT38, correspondiendo 15 pozos al Campo Arcos, 6 son pozos Exploratorios, un pozo en el Campo Francisco Cano y otro en el Campo Cuitlahuac. Para ello se han utilizado 4 lotes completos de TP 4", WT38, °X y °G, 14 lb/pie,

incorporados en 4 equipos respectivamente. Enseguida se listan el número de pozos y los tipos de trayectoria perforados.

Numero de Pozos Perforados por Tipo de Trayectoria		
Vertical	Tipo "S"	Tipo "J"
17	3	3

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.

El análisis básico para la aprobación de este proyecto otorga la primera importancia al comparativo del comportamiento hidráulico entre la situación convencional; es decir, TP 4 ½" NC46 y TP 3 ½" NC38, grados X-95 y G-105, 16.6 y 13.3 lb/pie respectivamente; en relación con la TP 4", WT38, grados G-105 y X-95, 14.0 lb/pie; para cada una de las etapas de perforación. Las alternativas en estudio, fueron la de utilizar TP 4", empleando como primera opción 1) la geometría actual, modificando solo el peso nominal de la TR 7" a 29 lb/pie, y como segunda opción 2) modificar la segunda TR intermedia a 7 5/8" para perforar la etapa final con barrena 6 ½" o 6 ¾". Esta última quedó descartada por razones económicas, ya que no cumple con el objeto de reducir el costo del pozo.

Otras premisas preliminares para utilizar la TP 4", se basaron en lo siguiente:

- ✓ Diámetro exterior de la junta, que pueda ser pescado con herramientas convencionales en agujero de 6 1/8".
- ✓ Diámetro interior de la junta amplio, que no exceda en caídas de presión parásitas y permita el paso de herramientas de medición o disparos.
- ✓ Asegurar que la relación en el diámetro exterior de la junta y en el cuerpo de la TP, permitan utilizar elevadores convencionales ahusados de 18°.
- ✓ Resistencia a la Torsión y Tensión en la junta para soportar el esfuerzo originado en las etapas intermedias del pozo.

Otro criterio importante que se visualizó fue la relación del índice de rigidez entre la TP 4" y los diferentes ensambles de fondo. La rigidez de la TP 4", se consideró aceptable tomando en cuenta que los aparejos de fondo utilizados (BHA) son exactamente los mismos que los usados en la TP 4 ½" y TP 3 ½". Estos son listados mas adelante, en la tabla 3.

Comportamiento Hidráulico.

Son dos las variables que en esta propuesta arriesgan la decisión de aceptar el cambio de la TP 4 ½" y TP 3 ½" por la TP 4"; la primera es la reducción de diámetro interno para las dos etapas intermedias, lo que se traduce en incrementos de presión para un mismo gasto, esto nos obliga a revisar nuestro escenario de operación, así como los recursos que se tienen en el equipo de perforación (potencia en

bombas y rango de presión en conexiones); la segunda se presenta en la última etapa, siendo el espacio anular el que se ve reducido en un 9.38%, causando en este, aumento en las caídas de presión y consecuentemente la densidad equivalente de circulación, ello incrementa el riesgo de pegaduras por presión diferencial y/o fricciones en las paredes.

La tabla 2, muestra un análisis detallado del comportamiento hidráulico, concluyendo que es posible operar la tubería de 4" en las etapas intermedias y final, bajo la geometría de barrenas actual. La gráfica 1, ilustra el análisis comparativo de la potencia hidráulica, en donde se observa que para las etapas intermedias la potencia requerida con la sarta propuesta es mayor; siendo sin embargo favorable para la última etapa en donde se requiere menor potencia; esto como resultado de menores pérdidas por fricción que se generan en el interior de la sarta de 4". Lo que permite en esta etapa mejorar la distribución de cargas hidráulicas en el sistema, ya que posibilita incrementar las caídas de presión en la barrena, favorece las condiciones de limpieza y acarreo, beneficia el ritmo de penetración y los tiempos de rotación se ven mejorados.

Si comparamos los resultados de la TP 4" con la TP 4 ½" y 3 ½", existe diferencia significativa en las etapas 12 ¼" y 8 ½", ya que se incrementa la potencia hidráulica requerida para obtener condiciones de optimización en la barrena, dado que se mantiene el mismo gasto y diámetro en toberas. Y debido al cambio de TP, se incrementa el área transversal en el espacio anular de las citadas etapas, provocando disminución en la velocidad anular, sin embargo esta se mantiene dentro de los límites operables, según estudios experimentales de T.R. Sifferman, quien afirma que una velocidad anular mínima de 50 ppm, es suficiente para generar buen acarreo, si se utilizan fluidos de perforación. Para la etapa de 6 1/8", la presión de bombeo disminuye, porque el diámetro interno es mayor en la TP 4", que el comparado con la TP 3 ½", lo que puede aprovecharse para optimizar la caída de presión en la barrena. Aquí se tiene menor consumo de potencia y se incrementa la velocidad anular, mejorando las condiciones de acarreo. En esta etapa la densidad equivalente de circulación (DEC) desempeña un papel preponderante, ya que de no manejarse adecuadamente, podría provocar atrapamientos por presión diferencial o pérdidas de circulación.

De los resultados en la tabla 2, para la etapa de 12 ¼", la velocidad anular para TP 4" es 114 ppm, un 3.4 % menor que en la TP 4 ½" (118 ppm) y requiere 22.3 % mas de potencia hidráulica (1144 HP). Similarmente en la etapa de 8 ½", la velocidad anular (174 ppm) en la TP 4" es 7.9% menor que en la TP 4 ½", con 24% mas de potencia (868 HP). Es importante destacar, que no se sacrifica caída de presión en la barrena, ya que en ambos casos se mantiene el mismo caballaje hidráulico (HSI), este aspecto podría modificarse en caso de que la capacidad hidráulica del equipo no fuese suficiente. No se debe omitir, que al incrementarse la potencia hidráulica, se refleja en aumento de trabajo mecánico y consumo de combustible en la fuente motriz. Para el caso del ejemplo anterior, el incremento de consumo de combustible es aproximadamente 1 m³/día, que convertido a consumo total, considerando en promedio 200 hr en tiempo de rotación para las 2 etapas intermedias, se tiene un gasto adicional de aproximadamente 8.33 m³ de combustible, el cual prácticamente no impacta en el costo del pozo.

Análogamente podemos observar el comportamiento del sistema hidráulico, comparativo para pozos direccionales tipo "S" y "J" como se muestra en las secciones correspondientes de la tabla 2.

De la misma forma, en la gráfica 2, se tiene el comportamiento de la densidad equivalente de circulación (DEC) en el sistema para las diferentes etapas, donde se observa que para las tres primeras el comportamiento es muy similar; pero, cuando se analiza la cuarta etapa se puede observar que la DEC sufre un incremento como resultado de la disminución en el "claro anular", lo que implica la necesidad de trabajar con un gasto moderado de 200 gpm, a fin de no rebasar el gradiente de fractura de la formación en esta etapa.

La tabla 2 muestra los resultados de los cálculos de la DEC, donde se aprecia un incremento sustancial en la última etapa, que sin embargo no ha afectado notoriamente en los resultados operativos. También se puede considerar una ventaja el hecho de que la DEC se vea disminuida en las etapas intermedias, ya que el riesgo de pérdida de circulación por este efecto se minimiza.

Carga al Gancho.

Con el objeto de determinar la variación de esfuerzos equiparados, se analizó la potencia y el trabajo requeridos por el malacate para viajar con el sistema de izaje, asumiendo las condiciones reales de las sargas de trabajo para ambos casos en cada una de las etapas. Considerando una velocidad promedio de 2 min por lingada equivalente a 13.75 m/min.

De ello, se concluye que el trabajo realizado por el malacate, es muy similar en ambas situaciones, sin impactar en los resultados una diferencia notable. En la tabla 3, se especifican los esfuerzos obtenidos para cada etapa, así como la distribución de las sargas de trabajo para cada caso. Una diferencia sería en tener menor espacio ocupado, cuando la TP 4" se estiba por lingadas en los peines del equipo, durante las etapas intermedias.

Análisis de Torque y Arrastre.

Visualmente se puede determinar la afinidad de competencia, si revisamos en la tabla 4 las especificaciones del cuerpo y de la junta, tanto de la TP 4 ½" - 3 ½" como la TP 4". Para comprobarlo se determinó un estudio que confirmara lo anterior. Las cargas de tensión, torsión y pandeo en la TP 4" se analizaron en los requerimientos estructurales. La tubería y las juntas deben; tener la resistencia a la torsión necesaria para rotar cuando se perfora o repasa y cuando se viaja; soportar la tensión necesaria cuando jale la sarga y resistencia al pandeo para transferir peso a la barrena directamente. La capacidad de presión interna y colapso también fueron considerados, ya que excepto la tensión y el pandeo, el resto de los esfuerzos son sometidos en varias ocasiones simultáneamente.

Un parámetro muy importante a ser analizado es la resistencia del tubular al ser sometido a los esfuerzos de torsión generados durante la perforación, la gráfica 3, nos muestra los resultados de la predicción del torque a que se somete la sarga durante la perforación y los repasos, la trayectoria de un

pozo tipo fue reproducida a condiciones de severidad y tortuosidad, utilizando parámetros de perforación tales como peso sobre la barrena PSB y velocidad de rotación VR, al igual que el diámetro del agujero y el fluido de perforación. Se puede observar que el torque máximo estimado (8135 lb-pie) es menor que la resistencia especificada por el fabricante para cada tubular y su junta, por lo que existe un amplio margen de seguridad de trabajo. En los registros de torque con respecto a la profundidad, en un pozo con trayectoria direccional tipo “S”, tanto en la tercera etapa con barrena 8 ½”, como en la cuarta etapa con barrena 6 1/8”, se puede apreciar que las condiciones de operación, son considerablemente menores a las características de resistencia presentadas por el tubular y su junta o conexión. Se consideran las últimas etapas de un pozo tipo “S”, dado que es donde se presentan las condiciones más adversas a que se enfrenta la TP 4”, WT 38 en pozos de 4 etapas con la geometría descrita

De esta misma manera fue analizado el arrastre axial a que se somete la sarta, presentándose condiciones extremas cuando se efectúan viajes, y la sarta se encuentra en, o cercana a la profundidad total del pozo. La gráfica 4, ilustra este comportamiento bajo las condiciones descritas; es decir, la tubería en el fondo del pozo a 3700 m y efectuando movimiento ascendente de la misma; aquí también, la resistencia del tubular y su junta a este efecto son igualmente mayores. Los datos del análisis de arrastre axial corresponden a las mismas etapas del ejemplo anterior para un pozo con trayectoria direccional tipo “S”, el criterio de selección fue el mismo que se citó en el análisis de torsión.

En ambos casos; los datos analíticos que resultaron en el estudio previamente mencionado, tanto de torsión como el de arrastre axial, la diferencia con respecto a los datos reales obtenidos en el campo, es muy aproximada.

Resistencia a la Falla por Fatiga.

La falla por fatiga debido al efecto de rotación es un problema que merece ser analizado en los tubulares, mas aún cuando las condiciones de operación pueden aproximarse a valores críticos de: severidad en el agujero, velocidad de rotación y esfuerzo axial en la tubería. Estos esfuerzos ocurren cuando existen claros anulares estrechos, grandes severidades y la sarta se encuentra sometida a tensión.

El criterio utilizado para determinar estos valores críticos fue el sugerido por Lubinski, el cual consiste en una ecuación empírica que sugiere que la máxima carga lateral que la junta del tubo puede resistir antes de dañarse es de 2 000 lb, por lo tanto la siguiente ecuación, permite determinar la máxima severidad permisible bajo esta condición a lo largo del pozo.

$$c = \frac{108,000 F}{LT}$$

donde: c = Máxima severidad permisible (°/100 pie)

F = Carga lateral sobre la junta del tubo (lb)

L = La mitad de la longitud de un tubo de perforación (pg)

T= Carga de tensión al tubo (lb)

Los resultados del análisis para la TP 4" WT-38 propuesta, son los que se ilustran en la gráfica 5, donde se muestran las condiciones de severidad límite a lo largo del pozo, ya que al exceder estos puntos críticos causará daño por fatiga. Del análisis se confirma que cuando la sarta está sometida a una mayor tensión, la condición para la falla por fatiga se vuelve crítica. También se recomienda un programa adecuado de alternancia en la lubricación de cada junta, entre otros factores para prolongar la vida de la sarta.

Es importante resaltar que si en promedio por pozo se tienen 325 horas de rotación y la velocidad de rotación aplicada en promedio a la barrena durante la perforación de un pozo; son 125 RPM, se obtiene el número de revoluciones a que se somete la TP 4" por pozo, correspondiendo a 2.4×10^6 ciclos. Acumulando en 5 pozos, 12.2×10^6 ciclos por lote de TP 4", sin requerir rehabilitación.

Se presentan pruebas realizadas por el fabricante de la junta WT38, en donde se efectuaron ejercicios de enrosque y desenrosque, utilizando torques de apriete de 15,000 lb-pie y 30,000 lb-pie. En la gráfica 6, se pueden observar los resultados, quedando claro que conviene utilizar el menor apriete, según se demuestra en la curvas correspondiente y proyectada, ya que prolonga en más de 200% el número de eventos de enroscar y desenroscar la junta, antes de que el indicador de desgaste (Gap) se cierre totalmente y termine la vida útil de esta. El torque mínimo tiene garantizada la hermeticidad en el sello de la conexión, de acuerdo con pruebas de presión externa realizadas por el fabricante.

Características de la Junta WT38.

La junta WT38 para tubería de perforación, ver tabla 5, es una conexión diseñada para aplicaciones extremas de torsión durante la perforación. Esta conexión presenta un perfil cónico, de dos pasos y su rosca está diseñada con la tecnología de las roscas acuñadas tipo cola de milano, que permite manejar altas cargas de torsión, arrastre, tensión, compresión y presión.

Cuando se aplica el torque de apriete a estas juntas, la carga a torsión se distribuye a lo largo de toda la rosca, ya que los flancos de ataque presentan una superficie igual y opuesta a la fuerza generada en los flancos de carga, como se ilustra en la figura 2. Por lo tanto, no se requiere de un área de contacto como sucede en los hombros de torsión de las juntas API y HT. Esto previene la concentración de esfuerzos en el último hilo del piñón, presentes en las juntas convencionales API y HT. Debido a esto, su resistencia a la torsión es independiente del diámetro exterior de la junta. Los desgastes del diámetro exterior e interior de la junta, no reducen su resistencia a la torsión. Esta característica en las dimensiones permite mejorar la eficiencia hidráulica de la conexión al poder mantener un diámetro interior mayor y un diámetro exterior esbelto en la junta. Lo cual fue requisito elemental para seleccionarla.

Como la rosca de la conexión proporciona la resistencia de alto torque en sus flancos, la longitud de la misma es mayor que las conexiones de las juntas API y HT. Sin embargo, las longitudes de la junta para

las llaves de apriete y los mínimos recomendados para las conexiones de roscas acunadas cumplen sobradamente los requerimientos para su manejo y uso. Ver figura 3.

Para llegar a la selección de la junta WT38 fue necesario evaluar las diferentes conexiones disponibles en el mercado, como se muestran en la gráfica 7, donde se compara la resistencia a la torsión de WT38, NC38, HT38, NC46 Y HT40. Y se puede observar que la junta WT38 es la conexión que brinda los mejores beneficios y puede utilizarse satisfactoriamente en la tubería programada de 4".

SEGURIDAD DEL PERSONAL.

Existen beneficios desde el punto de vista que no son necesarias las maniobras para cambiar de sarta, si consideramos que estadísticamente en 1999, el 28.5% de los accidentes de trabajo se presentaron durante la actividad de meter y sacar tubería, siendo las manos la parte que con mas incidencia se lesiona, por el manejo de las llaves de fuerza del equipo, independientemente del acto o condición en que se incurrió.

Con las nuevas condiciones propuestas, el tiempo de exposición para realizar el cambio de sarta se ve disminuido notablemente, esperando que por este concepto se eliminen los accidentes debido a estas maniobras.

ANÁLISIS DE COSTOS.

Los costos están asociados con el manejo de la TP, su transportación y accesorios. Para ello, debe considerarse el comportamiento operativo, el uso de la misma y la durabilidad (fatiga). Las características de operación incluyen; propiedades de las conexiones y la resistencia del tubo.

Las consideraciones implícitas en este análisis se refieren solo a las actividades involucradas en esta propuesta, incluyendo:

- Costos de TP 4 ½" y 3 ½", comparados con TP 4", transporte de tubería, tiempo de armado y desarmado (costo día equipo).
- Costos de implementación de equipo (elevadores, dados para cuñas, arietes variables y fijos, válvulas de pie, sustituto de la flecha, etc.), que debido a que no es un tamaño común, inicialmente puede incrementarlos, pero si consideramos que se requiere para un solo diámetro, esto los hace más accesibles.

Resulta importante resaltar, que como resultado de esto, se estima que si se utiliza la misma geometría actual empleando TR 7", se tendría un ahorro inicial de 33%, que se refleja principalmente en el hecho que solo es necesaria la adquisición de un lote de tubería de perforación de una misma medida, esto basado en 2600 m de TP 4 ½" y 3700 m de TP 3 ½", contra 3700 m de TP 4", además que permite optimizar la logística durante el transporte y movimiento de la sarta, así como ahorro de tiempo en el

armado y desarmado de la misma, además del cambio de arietes, esto se realiza en aproximadamente 36 hr.

No se incluyen aspectos relacionados con inspección y mantenimiento, ya que no se tienen datos reales para la TP 4" mencionada, que a la fecha ha perforado 5 pozos en promedio por lote y no ha requerido reparación de acuerdo con la inspección visual que expertos han realizado a la conexión. Se tiene información en cuanto al costo unitario por reparación de la rosca, el cual, es mayor en aproximadamente 40% para la junta WT38. También el costo de recortado o cambio de junta es mayor 25% para la conexión WT38.

Es importante señalar que la TP 4", se utiliza para perforar pozos completos, por lo que durante la perforación de un pozo, trabaja un 40% mas que las sartas en comparación, pero sin olvidar que el número correspondiente de juntas NC46 y NC38 de la TP 4 ½" y 3 ½" respectivamente, casi es un 70 % mayor en su conjunto, que la suma de las juntas WT38 de la TP 4", por lo que el costo global de mantenimiento es prácticamente similar.

.

CONCLUSIONES.

- ✓ Es económicamente favorable comparada contra la TP doble 4 ½" y 3 ½", resultando en ahorros iniciales de un 33%.
- ✓ La diferencia en acarreo de recortes y limpieza de fondo por disminución en velocidad anular en las etapas intermedias, no implica insuficiencia, no afecta la velocidad de penetración y no crea problemas adicionales.
- ✓ Aunque ofrece mayores restricciones hidráulicas en el espacio anular durante la última etapa con barrena de 6 1/8", ocasionando incremento en la DEC. Queda comprobado que no existen problemas de operatividad.
- ✓ Existe un mayor consumo de combustible en las etapas intermedias debido a la mayor exigencia de potencia por restricción al flujo interno de la TP 4". Lo cual no tiene un impacto considerable en el costo.
- ✓ Las tuberías seleccionadas °X y °G, cumplen con amplio margen de seguridad a los esfuerzos de presión, tensión y torsión estimados, a que serán sometidos durante la perforación.
- ✓ A las condiciones estimadas de trayectoria del pozo, los tubulares no presentarán falla por fatiga del material.
- ✓ En materia de seguridad es evidente la ventaja, al evitar que el personal realice en el equipo maniobras adicionales de manejo superficial de tubería en el cambio de etapa de perforación.
- ✓ Es importante dar continuidad al programa de seguimiento a la implantación de esta propuesta, para que el personal operativo pueda contar tanto con el apoyo de las herramientas a utilizar, como con la información técnica requerida en este cambio.

- ✓ El diseño de la TP 4", está pensado para perforar en diámetros de 6 1/8", debido a que las dimensiones de la junta WT38 (4 3/4" x 2 9/16"), no presentan restricción o problemas para pescantes. También, se ha probado con éxito en pozos de 6".
- ✓ La TP 4" con conexión WT38 (4 3/4" x 2 9/16"), esta siendo revisada con el fin de asegurar el uso de la optimización hidráulica para todos los diámetros objeto de este artículo.
- ✓ Se debe de revisar la tolerancia de las juntas WT38 en un esfuerzo por reducir los costos de mantenimiento y extender su vida útil, ya que el trabajo al cual es sometida la tubería, representa aproximadamente un 40% adicional para la TP 4 1/2" y 60% adicional para la TP 3 1/2", dado que se utiliza en todas las etapas de este tipo de pozos.
- ✓ Las juntas con diámetro interior mayor y diámetro exterior esbelto, que resistan altas cargas estructurales, son la que propician las condiciones adecuadas para utilizarse en sartas sencillas para perforar pozos completos.
- ✓ Con este proyecto sé continua la revisión de ingeniería en los diferentes procesos que permitan la aplicación de nuevas tecnologías en áreas de oportunidad.
- ✓ Finalmente conviene explicar que una vez confirmado que la sarta 4" WT38 permite la optimización hidráulica y resiste la cargas estructurales. El ahorro elemental, está dado en evitar; el cambio de sarta, transportación doble y maniobras adicionales (cambio de arietes, elevadores, llaves, etc.) con los riesgos implícitos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la UPMP de PEP por autorizar la publicación de este trabajo, así como a la Cía. Hydril, por su valiosa aportación. A la vez nuestro agradecimiento al Personal de Supervisión y la Tripulación de los equipos PM-210, PM-4002, PM-108 y PM 316, que con sus habilidades han asimilado la capacitación y permitido el buen manejo operativo de esta tubería.

NOMENCLATURA

BHA	Aparejo de Fondo	m/hr	Metros por Hora
bna.	Barrena	m/min	Metros por Minuto

DC	Lastrabarrenas Normal	m ³	Metro Cúbico
DCC	Lastrabarrenas Corto	m ³ /día	Metro Cúbico por Día
DE	Diámetro Exterior	min	Minutos
DEC	Densidad Equivalente de Circulación	min/ling	Minutos por Lingada
DI	Diámetro Interior	MPJ	Margen para Jalar
Estab.	Estabilizadores	NC	Número de Conexión API
gpm	Galones por minuto	PEP	Pemex Exploración y Producción
HP	Potencia en Caballos de Fuerza	pg	Pulgadas
hr	Horas	ppm	Pies Cúbicos por Minuto
HSI	Potencia Hidráulica por Pulgada Cuadrada	PSB	Peso sobre Barrena
HT	Alto Torque	psi	Libras por Pulgada Cuadrada
kg/cm ²	Kilogramos por Centímetro Cuadrado	rpm	Revoluciones por Minuto
lb	Libras	ton	Toneladas
lb/pie	Libras por Pie	TP	Tubería de Perforación
lb-pie	Libras Pie	TR	Tubería de Revestimiento
		UPMP	Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos
LC	Longitud de la Caja		
LP	Longitud del Piñón	VR	Velocidad de Rotación
l/m	Litros por Metro	W	Peso Nominal
m	Metros	Ws	Peso de la Sarta

REFERENCIAS.

1. Chu Lee and Hall Russell., "Torque and Drag Model (Ddrag V8.21)", Theory and User's Manual, Project to Develop and Evaluate Horizontal Well Technology, Maurer Engineering Inc., Houston, Texas (1994).

2. Chu Lee and Wu Jiang., "Drill-String Life Model (Dplife2)", Theory and User's Manual, Project to Develop and Evaluate Horizontal Well Technology, Maurer Engineering Inc., Houston, Texas (1996).
3. Adams Neal J., "Drilling Engineering, A Complete Well Planning Aproach", PennWell Books, Pennwell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma (1985).
4. Adam T. Burgoyne Jr., "Applied Drilling Engineering", SPE Textbook Series.
5. API RP 7G, "Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits"
6. Wedge Thread Field Handbook, Cía. Hydril.
7. Roger W. Jenkins, Jhon F. Greenip, Burt A. Adams, "Case History: Utilizing 5 ½" Drill Pipe in a Deepwater Gulf of Mexico Drilling Program", SPE/IADC 52769, (1999).
8. Sachin Mehra, J.E. Smith, "Replacing 5" and 3 ½" Drill Pipe With a Single String", SPE/IADC 37648, (1997).

Tabla 1. Tiempo promedio de rotación por etapas en el campo Arcos.

Etapas	Barrena pg	Rotación TP 4 ½" - 3 ½" hr	Rotación TP 4" hr
Primera	17 ½	14	14
Segunda	12 ¼	77	85

Tercera	8 ½	103	108
Cuarta	*6 - **6 1/8"	*132	**108
Promedio Total		326	325

Tabla 2. Comportamiento comparativo hidráulico.

TP 4 ½" - 3 ½"												
Etap	Prof	Bna	Tob's	TP	Dens	Gasto	Presión	DP Bna	Potencia	DEC	Vel An	Vel Pen
	m	pg	1/32avos.	pg	gr/cm3	gpm	kg/cm2	kg/cm2	HP	gr/cm3	ppm	m/hr
Primera	150	17 ½	3-15	-	1.15	600	62	47	308	1.22	51	10.71
Segunda	1200	12 ¼	6-10	4 ½	1.35	625	180	82	932	1.37	118	13.64
Tercera	2600	8 ½	4-12	4 ½	1.75	400	210	111	696	1.80	189	12.62
Cuarta	3700	6	4-16	3 ½	2.00	200	230	13	381	2.12	206	7.56
TP 4"												
Sección General												
Primera	150	17 ½	3-15	-	1.15	600	62	47	308	1.22	51	10.71
Segunda	1200	12 ¼	6-10	4	1.35	625	221	82	1144	1.36	114	12.35
Sección Vertical												
Tercera	2600	8 ½	6-11	4	1.75	400	252	111	835	1.78	174	12.03
Cuarta	3700	6 ⅛	4-12	4	2.00	200	218	59	361	2.17	228	9.26
Sección Direccional Tipo "S"												
Tercera	2675	8 ½	6-11	4	1.75	360	265	90	790	1.77	157	10.53
Cuarta	3700	6 ⅛	4-12	4	2.00	200	218	59	361	2.17	228	9.26
Sección Direccional Tipo "J"												
Tercera	2650	8 ½	6-11	4	1.75	360	265	90	790	1.77	157	9.31
Cuarta	3700	6 ⅛	4-18	4	2.00	200	260	11	431	2.17	228	8.33

Tabla 3. Distribución de tuberías y aparejo de fondo (BHA) en la sarta y potencia realizada por el Malacate.

TP Doble 4 ½" - 3 ½"															
D C								TP						Carga al Gancho	
HW															
No	DE	LONG	ESTAB		No	DE	LONG	DE	LONG	W	Grado	WS	MPJ	Vel Izaje	Malacate
	pg	m				pg	m	pg	m	lb/pie		ton	ton	min/ling	HP

9	8	90	1,3,6	9	4 1/2	60	20 *						2	59	
9	8	90	1,3,6	15	4 1/2	135	4 1/2	975	16.6	X-95	46	88	2	137	
9	6 1/2	90	bna.,dcc, 1, 3, 6	15	4 1/2	135	4 1/2	1090	16.6	X-95	39	95	2	202	
6	4 3/4	60	bna.,dcc, 1, 3	27	3 1/2	243	4 1/2	1285	16.6	G-105	67	82			
							3 1/2	2412	13.3	X-95	46	64			
								3 1/2	985	13.3	G-105	62	59	2	186
TP Sencilla 4"															
D C							TP						Carga al Gancho		
HW															
No	DE	LONG	ESTAB	No	DE	LONG	DE	LONG	W	Grado	WS	MPJ	Vel Izaje	Malacate	
	pg	m			pg	m	pg	m	lb/pie		ton	ton	min/ling	HP	
9	8	90	1,3,6	9	4 1/2	60					20	*	2	59	
9	8	90	1,3,6	15	4 1/2	135	4	975	14	X-95	42	74	2	126	
9	6 1/2	90	bna.,dcc, 1, 3, 6	15	4 1/2	135	4	2000	14	X-95	51	65	2	174	
6	4 3/4	60	bna.,dcc, 1, 3	27	3 1/2	243	4	375	14	G-105	58	70			
							4	1919	14	X-95	42	74			
								4	1478	14	G-105	67	61	2	200

Tabla 4. Especificaciones y características de las tuberías de trabajo.

Especificaciones de TP 4 ½” y 3 ½”												
Cuerpo del Tubo					Junta							
DE	DI	Peso	Resistencia		Conexión	DE	DI	LP	LC	Resistencia		Apriete
			Torsión	Tensión						Torsión	Tensión	
pg	pg	lb/pie	lb-pie	1000 lb		pg	pg	pg	pg	lb-pie	1000 lb	lb-pie
4 1/2	3.826	16.6	39000	419	4" IF	6 1/4	3	7	10	39600	1048	19800
4 1/2	3.826	16.6	43100	463	4" IF	6 1/4	3	7	10	39600	1048	19800
3 1/2	2.764	13.3	23500	344	3 1/2" IF	5	2 9/16	8	10	20300	649	10200
3 1/2	2.764	13.3	26000	380	3 1/2" IF	5	2 9/16	8	10	22200	708	11100
Especificaciones de TP 4”												
4	3.34	14	29500	361	WT 38	4 3/4	2 9/16	8	14	41000	877	13000
4	3.34	14	32600	400	WT 38	4 3/4	2 9/16	8	14	41000	877	13000

Tabla 5. Datos generales de la Junta WT38 y la TP 4".

Datos de la Junta		Datos del Tubo	
Diámetro Exterior	4 ¾"	Diámetro Exterior	4"
Diámetro Interior	2 9/16"	Peso Nominal	14 lb/pie
Diámetro Ext. P/Elevador	4 3/16"	Grado de Acero	X-95 Y G-105
Espacio P/Llaves en Piñón	8"	Peso Ajustado	15.20 lb/pie

Espacio P/Llaves en la Caja	14"	Diámetro Interior	3.340"	
Longitud Piñón/Caja	22"	Drift API	3.215"	
Resistencia a la Tensión	877,000 lb	Espesor de Pared	0.330"	
Resistencia a la Torsión	41,000 lb-pie	Diámetro Equiv. Hidráulico	3.209"	
Torque de Apriete Mínimo	9000 lb-pie	Datos de Ingeniería		
Torque de Apriete Máximo	31,500 lb-pie	Capacidad	0.509 l/m	
Torque de Apriete Optimo	12,150 lb-pie	Desplaz. En Extremo Abierto	0.267 l/m	
Perfil de Rosca	Cónico	Desplaz. En Extremo Cerado	0.776 l/m	
Escalones	2	Datos Estructurales	Grado X	Grado G
Tipo de Rosca	Cola de Milano	Resistencia a La Tensión	361,500 lb	399,500 Psi
Indicador de Desgaste	Gap (0.250" – 0.004")	Resistencia a La Torsión	29,500 lb-pie	32,600 lb-pie
Sello a Presión Comparado Con el Tubo	100%	Resistencia al Colapso	14,382 Psi	15,896 Psi
Eficiencia Hidráulica	Alta	Resistencia a Presión Interna	13,716 Psi	15,159 Psi
Reusabilidad	Alta	Razón de Torsión Junta/Tubo	1.39	1.26

Figura 1. Evolución de arreglos de geometrías y asentamientos en los pozos de 4 etapas.

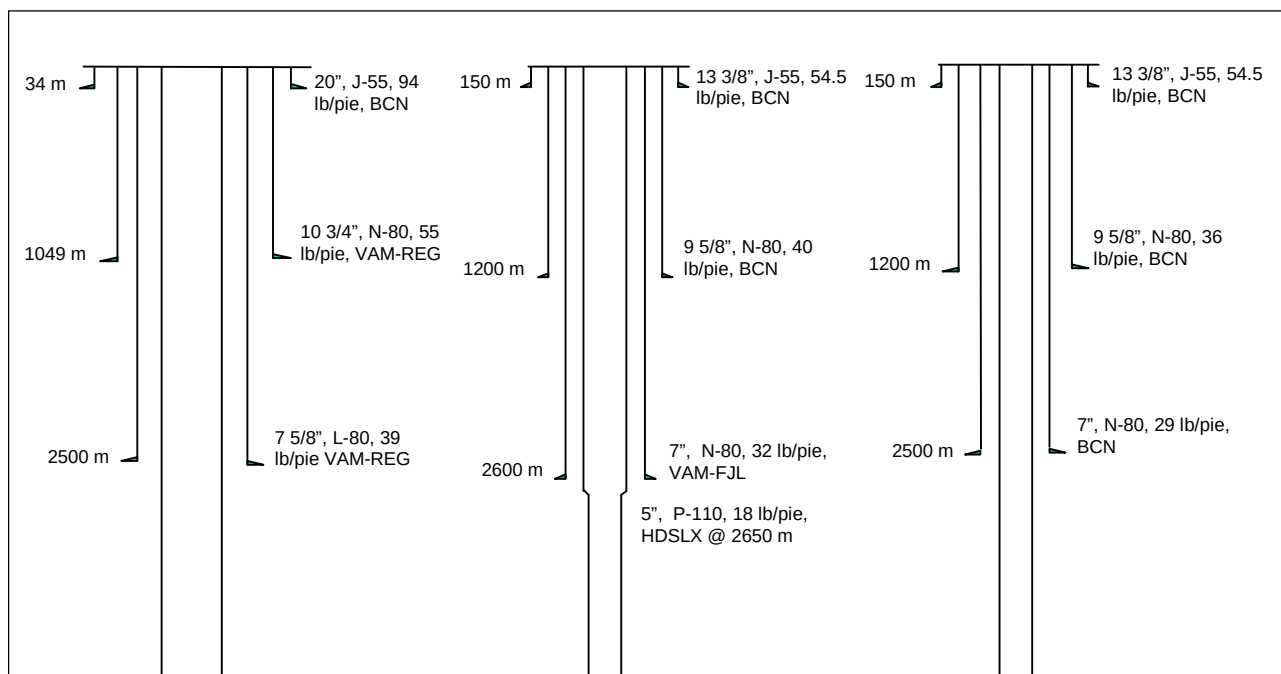


Figura 2. Características principales de la Conexión WT38.

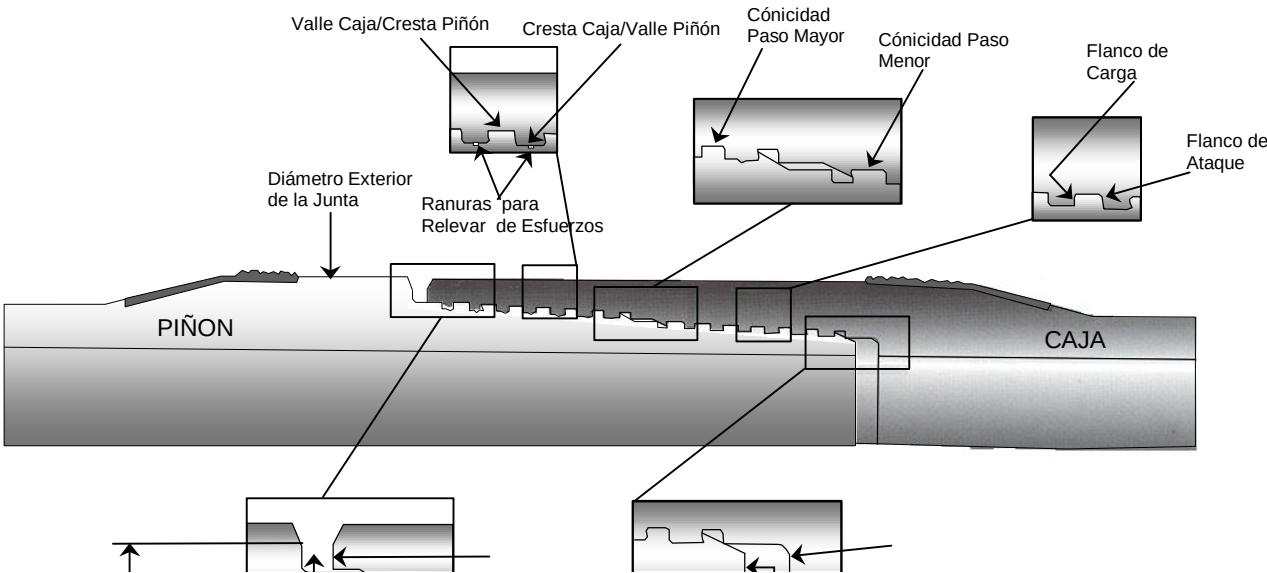
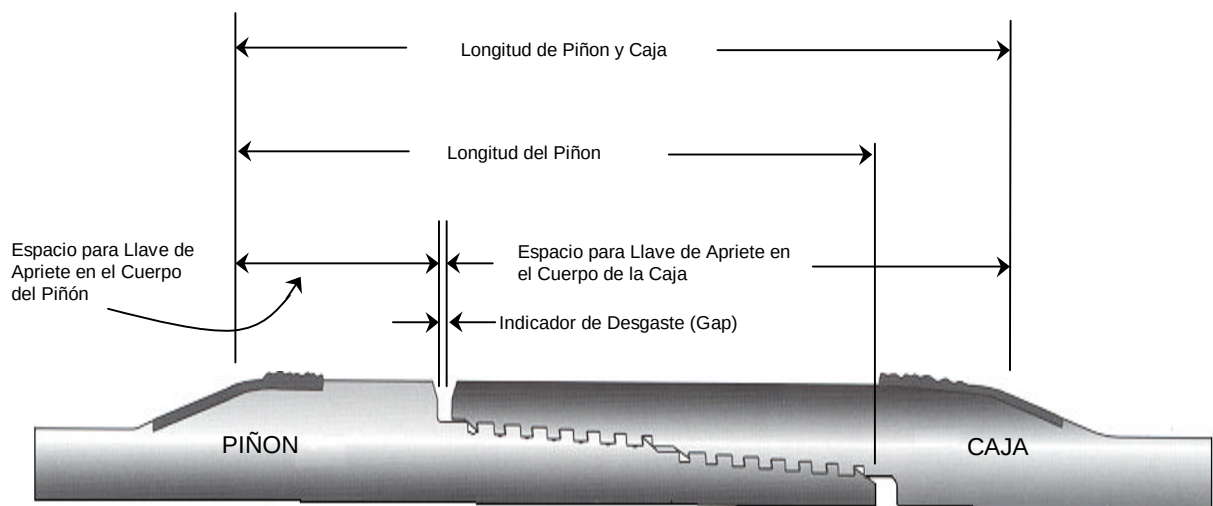
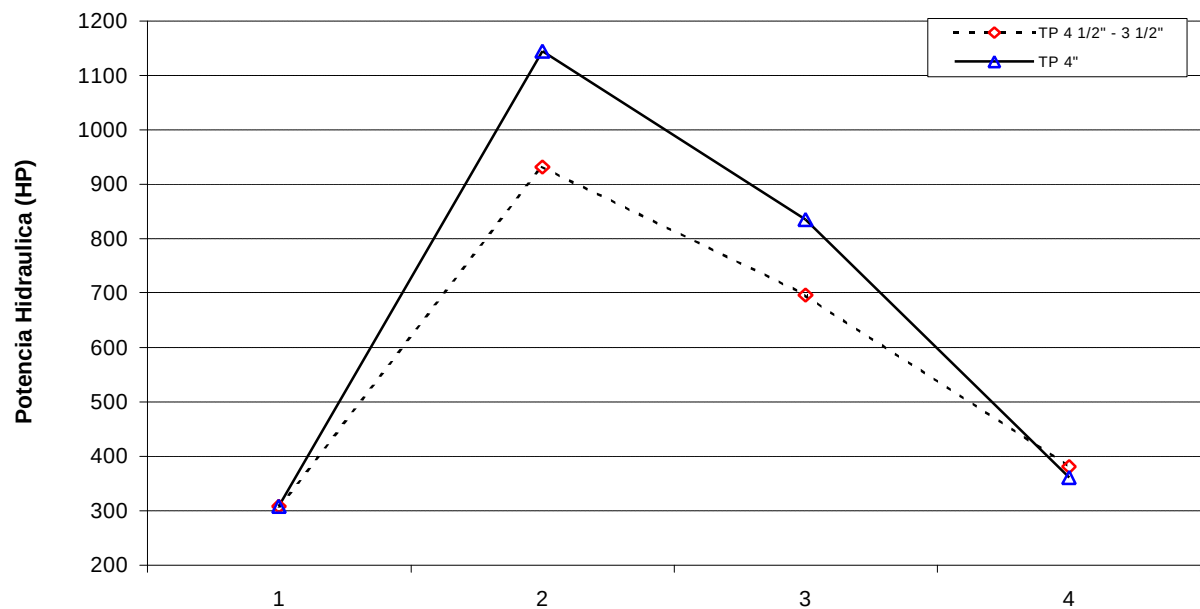


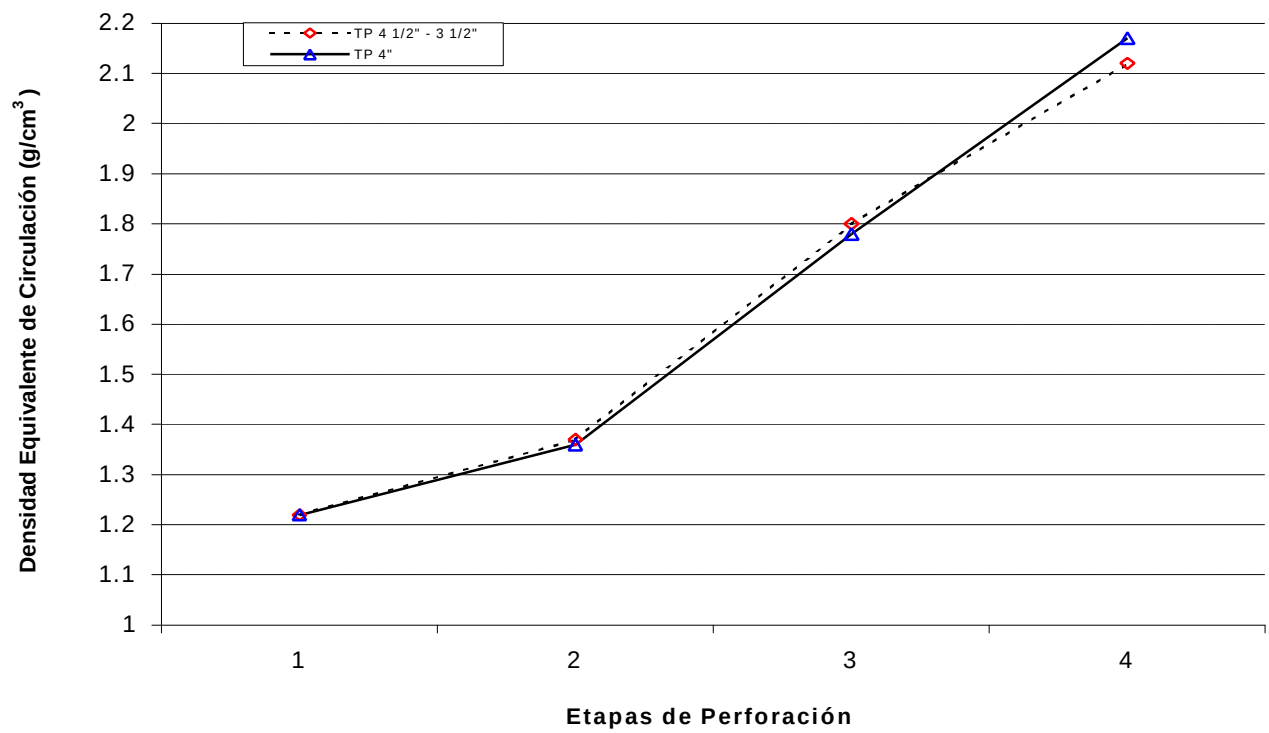
Figura 3. Longitudes de Caja y Piñon de la Conexión WT38.



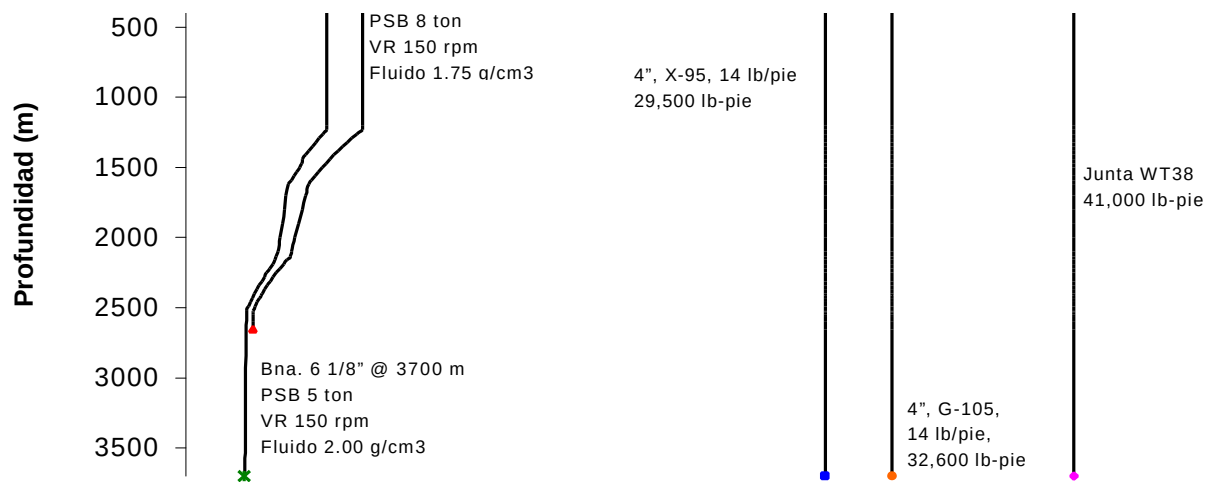
Gráfica 1. Potencia Máxima para cada diámetro de tubería de perforación.



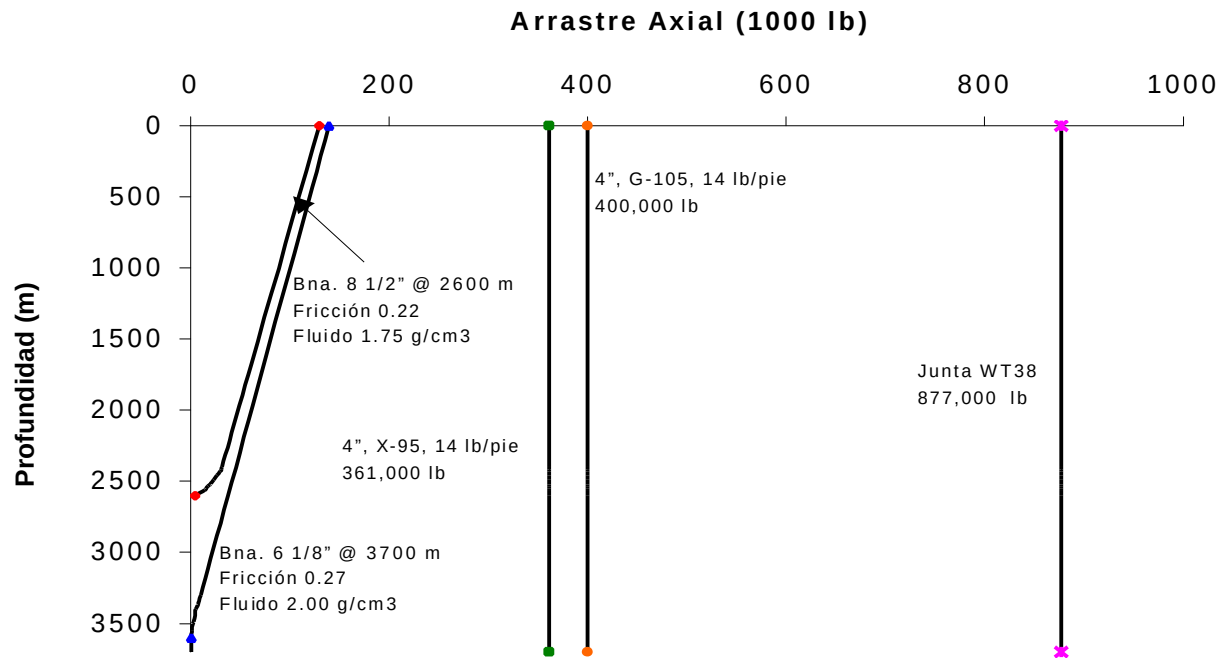
Gráfica 2. Densidad Equivalente de Circulación al final de cada etapa.

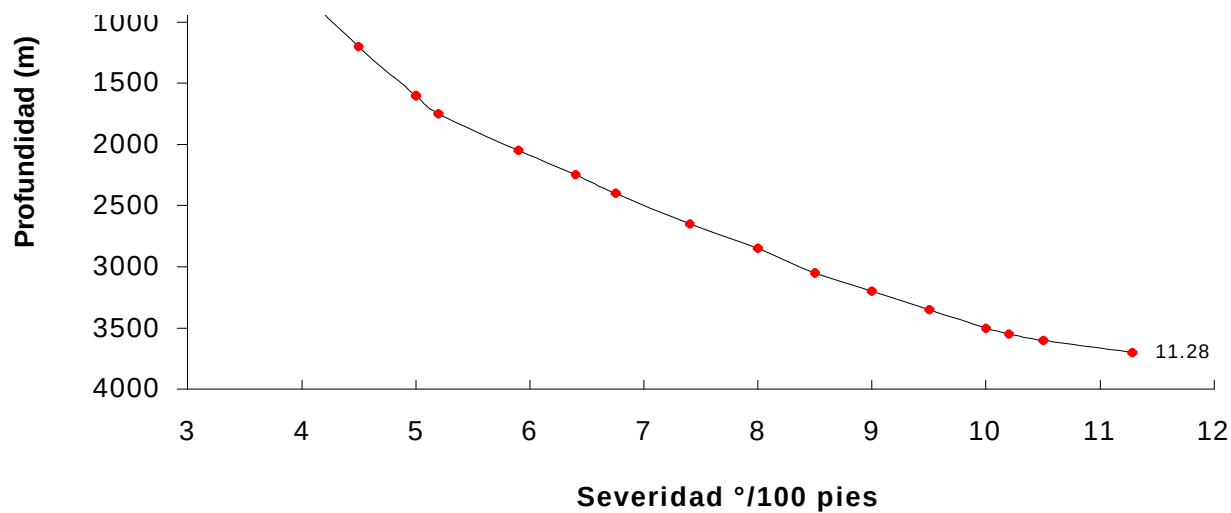


Gráfica 3. Resultados del Torque a que es sometida la sarta de perforación TP 4", en pozos tipo "S", etapas 3 y 4.

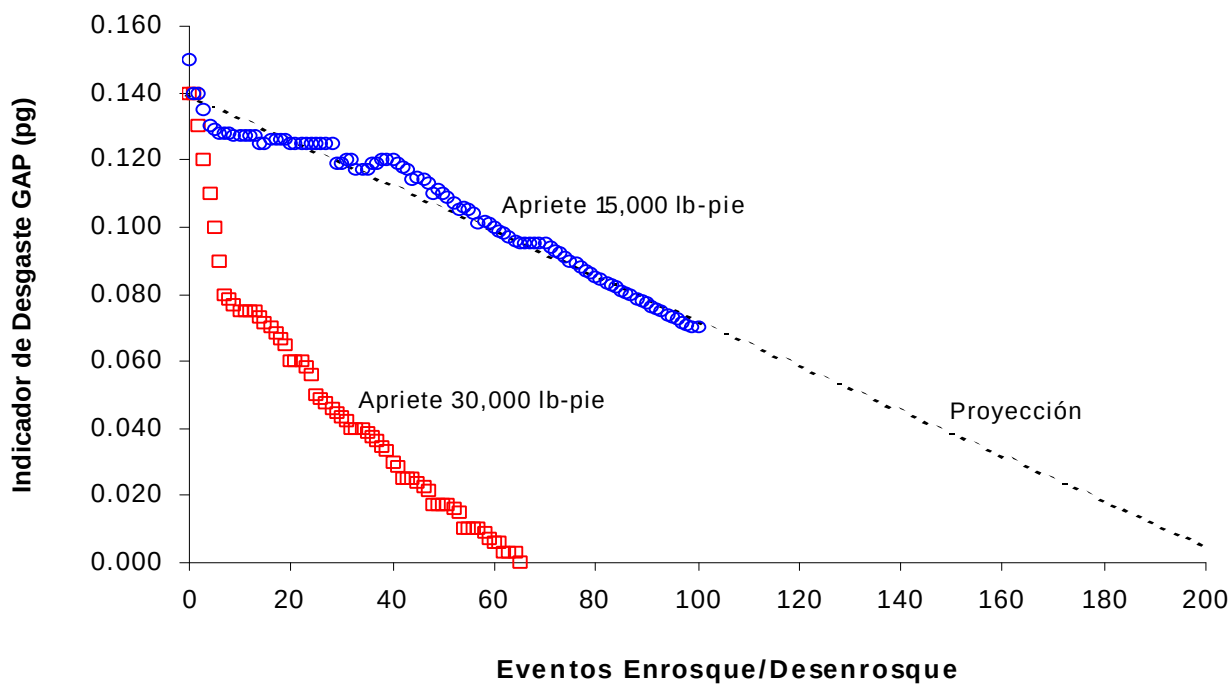


Gráfica 4. Resultados del Arrastre Axial a que es sometida la sarta de perforación TP 4", en pozos tipo "S", etapas 3 y 4.





Gráfica 6. Comportamiento del Indicador de Desgaste (Gap) en los hombros de la junta WT38, cuando se somete a diferentes rangos de apriete en eventos de Enrosque/Desenrosque.



Gráfica 7. Comparación de resistencia a la torsión vs dimensiones de diferentes juntas equivalentes.

