

Mejora Continua: Una experiencia de trabajo conjunto Cliente Proveedor en el Yacimiento Cerro Dragón

Bernabé José Zalazar
Jorge Alejandro Boeri
Alfonso Lozano Camacho
Pan American Energy LLC
Diego Olmos
Francisco Muse
Tenaris Siderca División Varillas de Bombeo

ABSTRACT

Las fallas en instalaciones de profundidad son la causa más importante de pérdida de producción de la operación de PAE (Pan American Energy), representando el 25% del total de las mismas. El 18% del total de las intervenciones de pulling eran debidas a la falla del pin de varilla de bombeo de Ø 7/8" (22.2 mm).

Concluimos que las causas raíces de la principal falla eran principalmente una *especificación del material inadecuada a los requerimientos de PAE y un material desproporcionado*.

Se formó un equipo de trabajo integrado por personal de PAE y de Tenaris Siderca División Varillas de Bombeo que se dispuso a rediseñar y fabricar una varilla distinta a las convencionales, incrementando la relación de diámetros cuerpo/pin y aumentando la resistencia a la fatiga (vida útil) de la zona donde se produce la falla en los pines.

Luego de instalar más de 98 sartas (8450 varillas), de las cuales las primeras llevan más de cinco años en servicio, la primera falla se produjo a los cuatro años de instalada, precisamente en el primer pozo.

Hoy solamente el 11.3 % de las intervenciones son por fallas de pines 7/8". El IPA (índice de intervenciones pozo año) cayó de 0.076 en 1998 a 0.045 en el 2003.

Hoy, podemos afirmar que la instalación del nuevo diseño de varillas en los 160 pozos con mayor índice de fallas permitirá un ahorro de u\$s/año 1.468.800. El tiempo de repago es de 10,8 meses.

INTRODUCCION

El Yacimiento Cerro Dragón se encuentra ubicado en la Cuenca del Golfo San Jorge (Figura 1). Actualmente tiene un total de 1800 pozos productores de petróleo, de los cuales 1642 se encuentran en bombeo mecánico. La profundidad promedio de las bombas instaladas es de 1730 mts, y el caudal promedio de los pozos en bombeo mecánico es de 35 m³/día de fluido producido.

A partir del año 1988 se comienza con un proceso de aceleración de la inyección en el Yacimiento Cerro Dragón, lo cual implica un mayor volumen de extracción en los pozos productores, con el consecuente aumento de solicitudes en los componentes del sistema de extracción. Esta aceleración en la inyección se ha acrecentado aun más en los últimos años (Figura 2).

Paralelamente y como consecuencia de lo mencionado, se comienza a evidenciar un aumento en la frecuencia de las fallas de las instalaciones de producción.

Se determina que la causa de falla que mayor tasa de crecimiento tenía era la pesca en uniones de varillas de bombeo, y más específicamente en pines de diámetro 7/8" (22.2 mm).

DESARROLLO

Identificación del problema

Debido al incremento en el IPA por fallas en pozos en bombeo mecánico (Figura 3) se comienza a aislar las distintas causas de falla. La primera y rápida conclusión que se obtuvo fue que las fallas en varillas de bombeo eran las que estaban en mayor crecimiento.

Luego se analizó cada uno de los tres diámetros de varillas usadas en la operación, 1" (25.4 mm), 7/8" (22.2 mm) y 3/4" (19.05 mm), concluyendo que las varillas de 7/8" (22.2 mm) eran las que más habían aumentado el número de intervenciones (Figura 4).

Finalmente se hizo una apertura de las fallas de varillas de 7/8" (22.2 mm), concluyendo que el problema a resolver era la falla en pines de varillas de bombeo de 7/8" (22.2 mm) (Figura 5).

La rotura de pines en varillas de 7/8" (22.2 mm) es un problema que las estadísticas de fallas ponen de manifiesto no sólo en los yacimientos de profundidades medias a altas de PAE, sino que es una constante en todos los yacimientos con similares características extraídos por Bombeo Mecánico en el mundo.

Las estadísticas muestran que ésta problemática se refleja en pozos con profundidades medias mayores a 1800 metros y caudales promedio superiores a 70 m³/día.

La estadística también indica que éste efecto se repite por igual en varillas grado D como alta resistencia.

Determinación de la Causa Raíz

Una vez identificado el problema, se comenzó a trabajar en encontrar la causa raíz mediante el uso de herramientas de calidad conocidas. Se formularon distintas teorías y se evaluaron las distintas etapas que llevan a lograr una unión pin-cupla exitosa, estas etapas son:

- diseño de la unión
- materia prima
- proceso de fabricación
- manipuleo de los materiales
- proceso de torqueado completo
- condiciones de operación

Luego de evaluar exhaustivamente las mencionadas etapas, se llegó a la conclusión que la única etapa que no era común a todas las otras uniones pin-cupla era el diseño dimensional de la unión.

En la Figura 6 se presenta las áreas estándares del cuerpo de las varillas API y las áreas estándares de la zona resistente en la zona del desahogo de rosca. En la tercer columna se muestra la relación entre ambas seccionas para cada diámetro de varilla.

Se puede apreciar como la relación de áreas en la varilla de 7/8" (22.2 mm) indica que para éste diámetro la zona del pin es la más débil con relación a los otros diámetros (aproximadamente un 7% menor respecto al resto de los diámetros).

Éste efecto junto con otros, tales como el cinematismo de la sarta las varillas de 7/8" (22.2 mm) pueden asumirse como potenciadores de las condiciones críticas que generan una falla de pin.

Ejecución

Luego de establecer la causa raíz del problema se decidió fabricar una varilla con una mayor relación Área Pin/Área Cuerpo, manteniendo una rosca API.

Lo que se persiguió al fabricar una varilla 7/8" (22.2 mm) con pin de 1" (25.4 mm) es robustecer el área resistente en la zona del desahogo de rosca o DI (Figura 7) que es la zona donde se producen las fallas por fatiga en los pines (último filete enganchado).

Comenzamos a trabajar en el proceso de fabricación de la varilla. La tarea consistía en forjar una cabeza de varilla de 1" (25.4 mm) a partir de una varilla de 7/8" (22.2 mm). Dadas las limitaciones de equipamiento y las condiciones de calidad que debe reunir la varilla en la zona forjada, la solución no fue sencilla.

En una varilla estándar, para asegurar que la zona forjada tenga una buena resistencia a la fatiga, debe lograrse que las fibras internas del acero, acompañen la geometría externa sin cortarse ni arremolinarse. Esto sólo puede lograrse realizando el proceso de formado del material en sucesivas etapas de forjado (en cada paso se deforma y acumula parcialmente el material hasta conseguir la forma final).

Para lograr un buen fibrado hay una relación límite entre el volumen a retopar en cada paso en función del diámetro original de la varilla.

En la Figura 8 puede verse claramente como las fibras del material "copian" los cambios de forma de la superficie externa.

Habitualmente esto se logra obteniendo la forma final a través de cinco pasos de forjado.

Si se tratara de obtener una varilla 7/8" (22.2 mm) con pin de 1" (25.4 mm) por el método convencional (un proceso de forja con cinco pasos intermedios), dado la gran cantidad de material que se debería retopar en cada uno de los pasos, el fibrado y la forma que se obtendrían no serían adecuados ya que habría fibras cortadas y/o arremolinadas. Tales efectos no aceptables se pueden observar en las Figuras 9 y 10.

Para resolver ésta problemática se procedió a redefinir el proceso de forjado de varillas.

En un primer momento el formado de la cabeza se realizó en dos procesos sucesivos de forjado:

- 1er Proceso: Se parte de una varilla de 7/8" (22.2 mm) y a través de cinco pasos de forjado se llega a una varilla de 7/8" (22.2 mm) que tiene en su extremo un cilindro de 1" (25.4 mm), es decir que obtendríamos en el extremo "una varilla de 1" (25.4 mm).
- 2do Proceso: Se forma la cabeza de 1" (25.4 mm) utilizando la matricería convencional para varillas de 1" (25.4 mm) empleando 5 etapas de forjado.

En la Figura 11 pueden visualizarse un esquema de los pasos empleados en el conformado.

El equipo de trabajo continuó con las tareas de desarrollo del proceso de forja logrando que, en la actualidad, se utilice una sola etapa de forjado con seis pasos. Esto permite mejores productividades y evita el doble calentamiento del material (Figura 12)

El sistema de forjado diseñado implica la utilización de materia prima especial (de longitud mayor a la habitual), de modo que el producto final tenga 25 pies (7.62 m). Si se utilizara la materia prima estándar, se obtendría una varilla de 24 pies (7.32 m) de longitud debido al acortamiento que sufre por la mayor cantidad de material que "consume" la formación de las cabezas de 1" (25.4 mm).

De éste modo se obtiene una estructura de forja libre de pliegues, con un óptimo fibrado y que asegura así una buena resistencia a la fatiga. Dicha estructura final puede observarse en la Figura 13.

Validación en campo

En Octubre de 1998 se comenzaron a instalar las primeras varillas de 7/8" (22.2 mm) con pin de 1" (25.4 mm).

El primer pozo en el cual se bajaron estas varillas fue el PCG-60. Este pozo presentaba una elevada tasa de intervenciones por fallas de pines de 7/8" (22.2 mm) debido a las altas exigencias, generadas por una bomba de profundidad de diámetro 2.75" (69.85 mm) en 1660 mts de profundidad, que produce 180 m3/d de fluido, llevando el factor de Goodman de las varillas a un 130%. Con el uso de esta nueva varilla se redujo el IPA (índice de intervenciones pozo año) por rotura de pines de 7/8" (22.2 mm) de 2.66 a 0.25.

El segundo pozo fue el PLP-805, el cual tenía un IPA por roturas de pines de 7/8" (22.2 mm) de 1. Desde el momento en que se bajó esta nueva sarta (4 años y medio) no tuvo ninguna falla, llevando el IPA a cero. El pozo está equipado con una bomba de diámetro 2.25" (57.15 mm) en 1950 mts de profundidad con una producción de 130 m3/d, y las varillas se encuentran sometidas a un 120% su capacidad máxima según el factor de Goodman.

A modo de prueba piloto, durante el año 1998, se completó la instalación de 1000 varillas en los 13 pozos con mas repeticiones de fallas de la operación, aquellos con mayores exigencias de carga.

Durante todo el año 1999 se sometieron las varillas a las condiciones más extremas sin registrarse falla alguna.

Entre los años 2000 y 2001 se amplió la experiencia a 28 pozos más, con idénticos resultados.

Hasta el momento se han instalado más de 98 sarts en todo el yacimiento, y la primera falla de una varilla de 7/8" (22.2 mm) con pin de 1" (25.4 mm) se registró superados los cuatro años. La rotura se produjo en el pin, y el pozo fue el primero en el cual se bajaron estas varillas (PCG-60).

CONCLUSIONES

- El nuevo producto, fruto del trabajo en equipo entre Pan American Energy y Tenaris Siderca División Varillas de Bombeo, ha superado largamente las expectativas más optimistas.
- Se lograron bajar un 40% las fallas en pines de varillas de 7/8" (22.2 mm), tomando como base el total de los pozos en bombeo mecánico. Si solo nos concentramos en los pozos que se implementó esta solución, el IPA disminuyó cinco veces. (Figura 14)
- Hoy el uso de estas varillas se ha tomado como estandar en PAE para todo pozo de profundidad mayor a los 2000 mts y con altos caudales de extracción, con resultados muy superiores a los que brindan las varillas alta resistencia de los distintos proveedores que el mercado ofrece.

FIGURAS

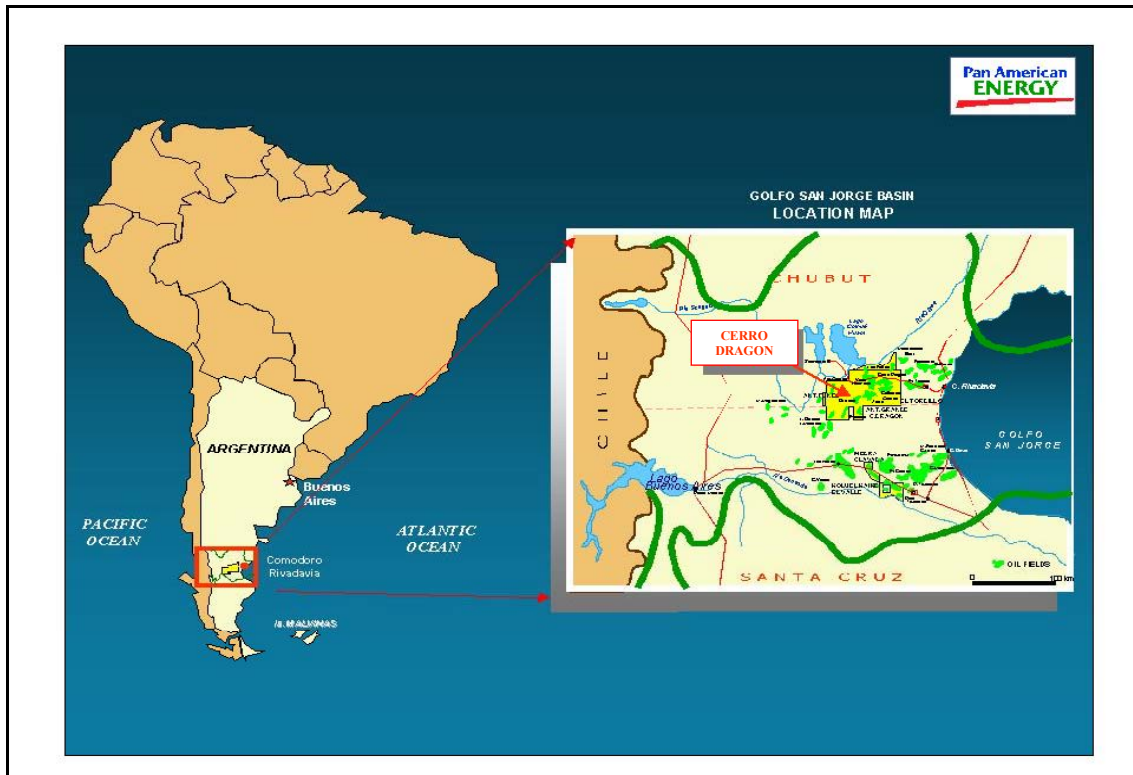


Figura 1

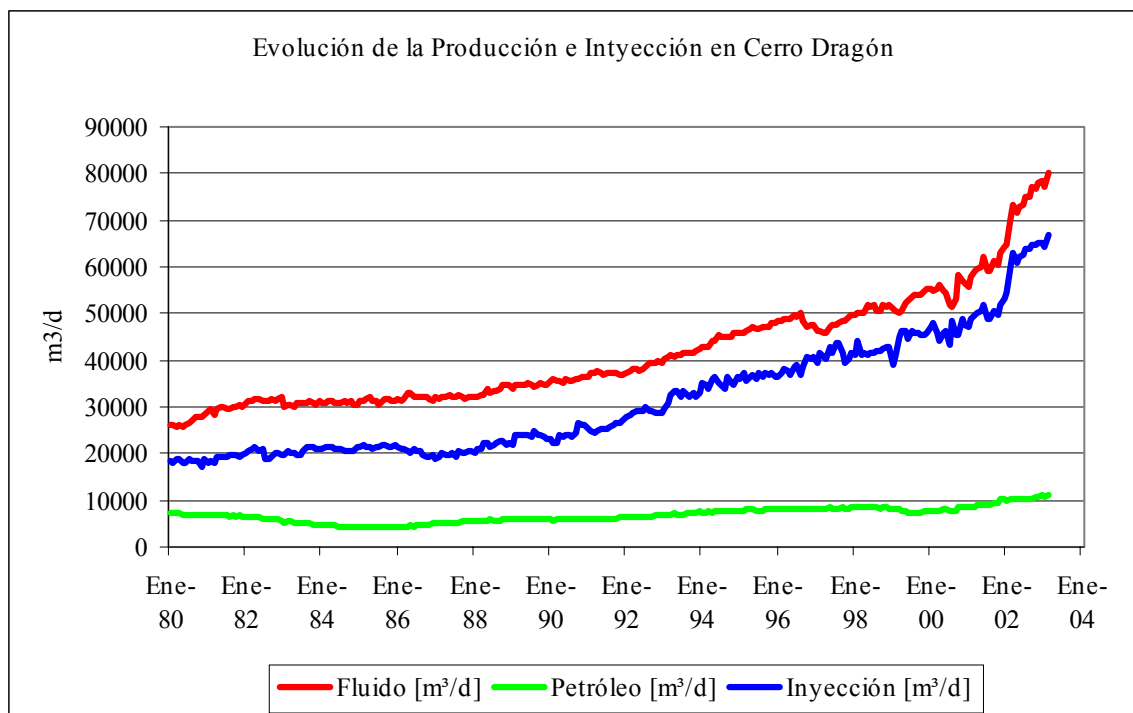


Figura 2

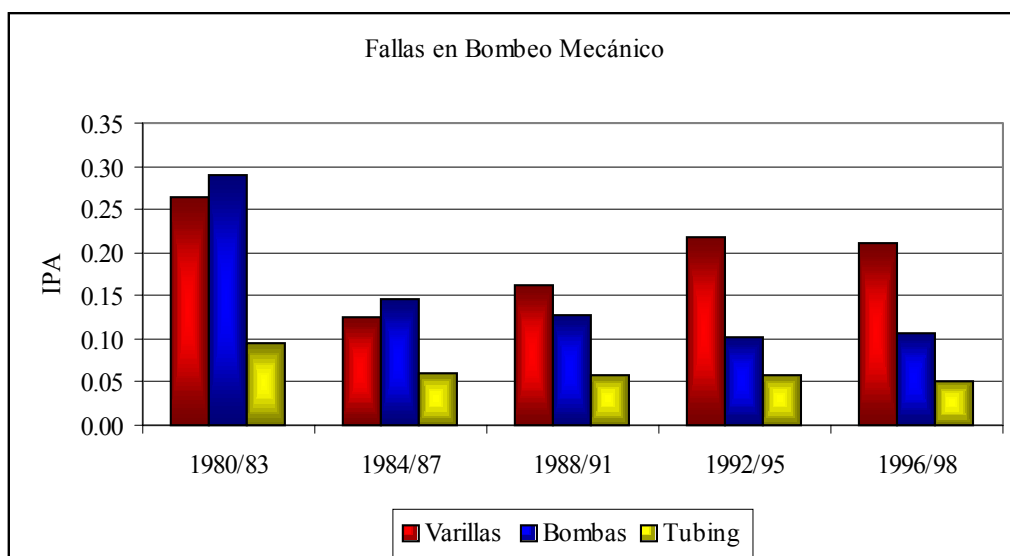


Figura 3

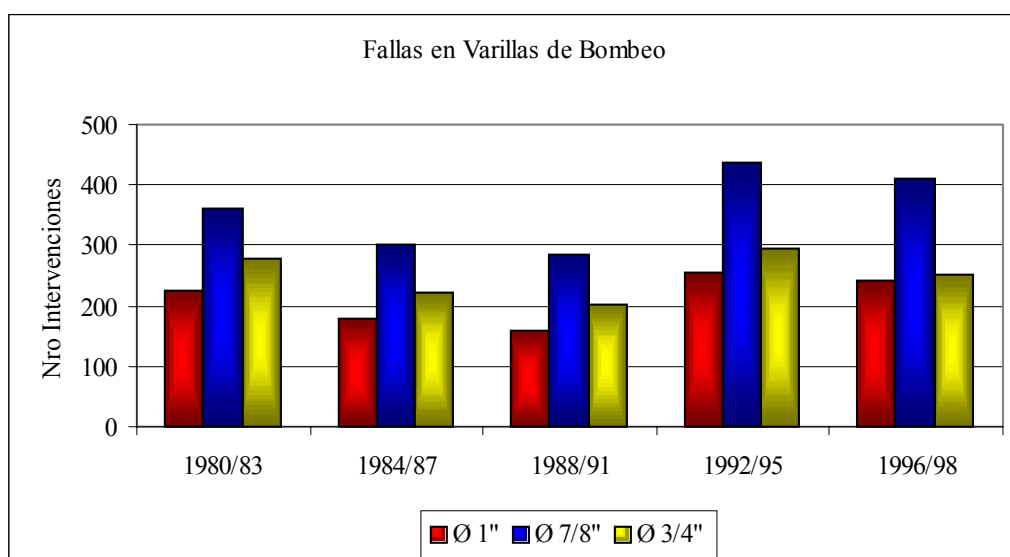


Figura 4

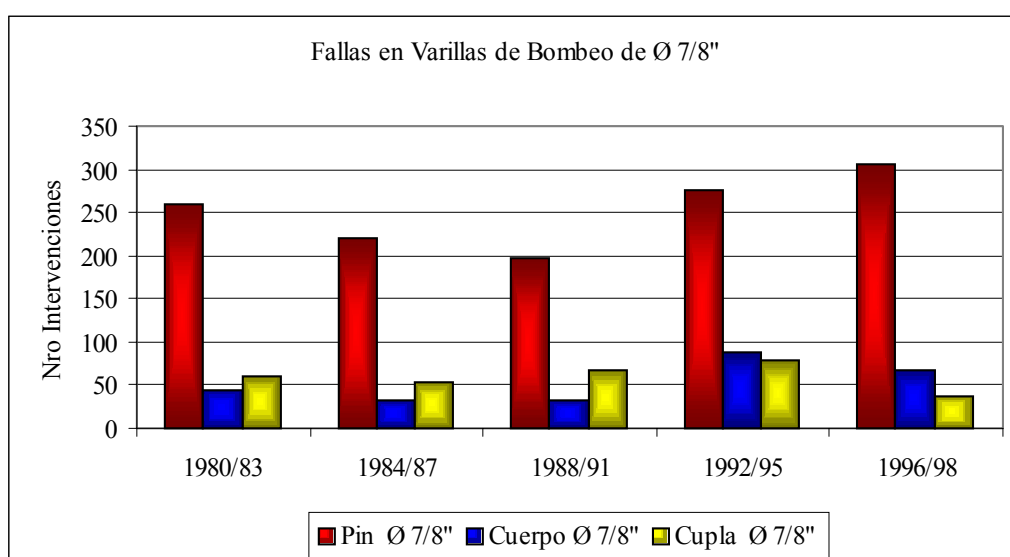


Figura 5

Ø Varilla de Bombeo [in]	Area Cuerpo AC [mm ²]	Area Pin AP [mm ²]	Relación de Areas Ap/Ac
3/4	284.88	423.98	1.5
7/8	387.75	547.94	1.4
1	506.45	762.68	1.5

Figura 6

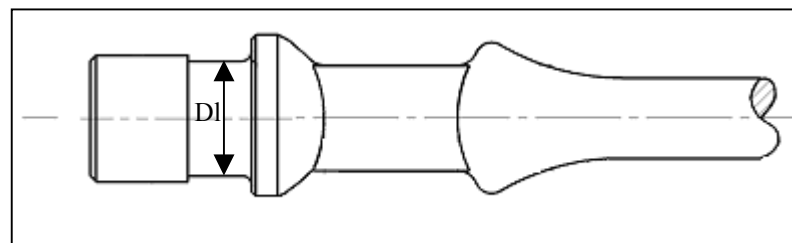


Figura 7

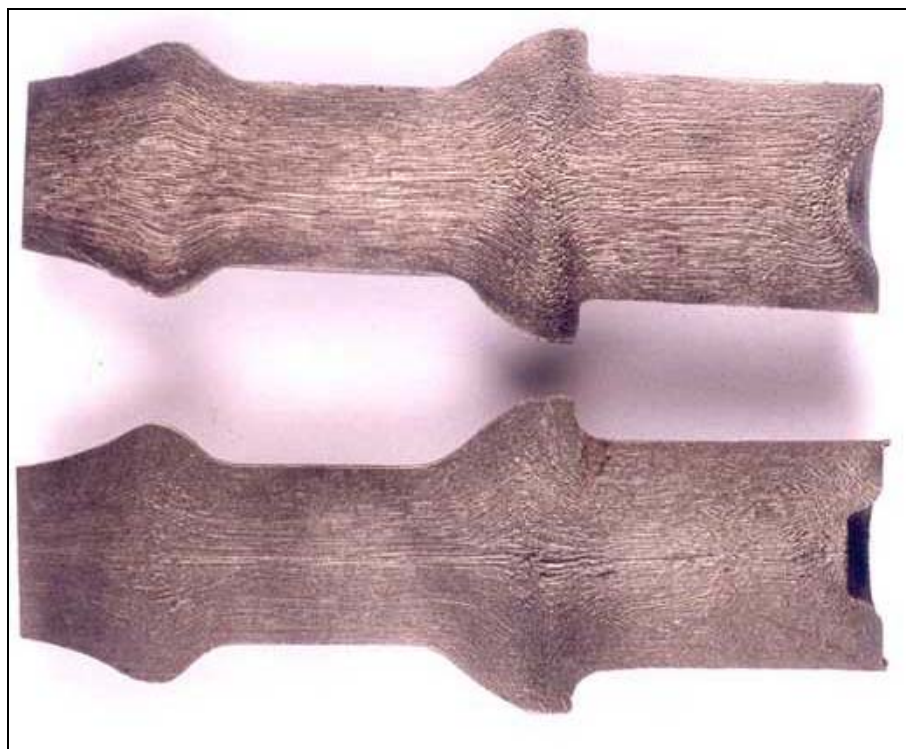


Figura 8

Corte transversal de una varilla estándar con ataque químico para mostrar fibrado



Figura 9

Forjado obtenido por el método convencional luego 3ra etapa de forjado



Figura 10

Forjado obtenido por el método convencional luego 4ta etapa de forjado

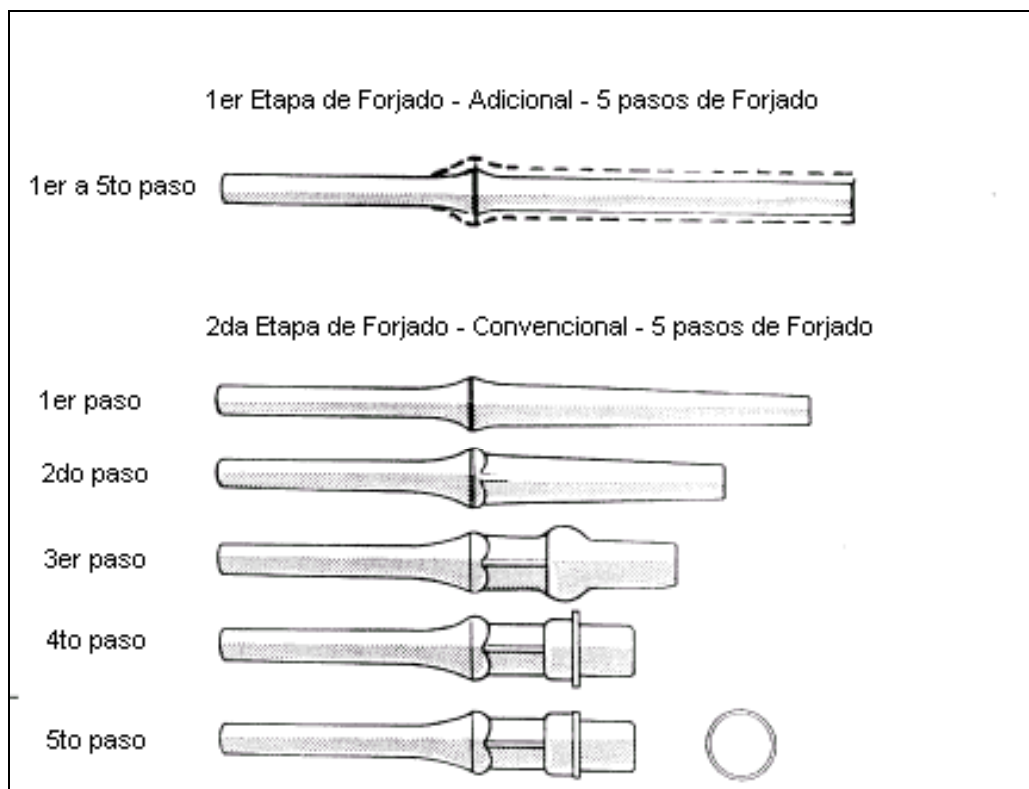


Figura 11

Desarrollo de Forja en dos etapas

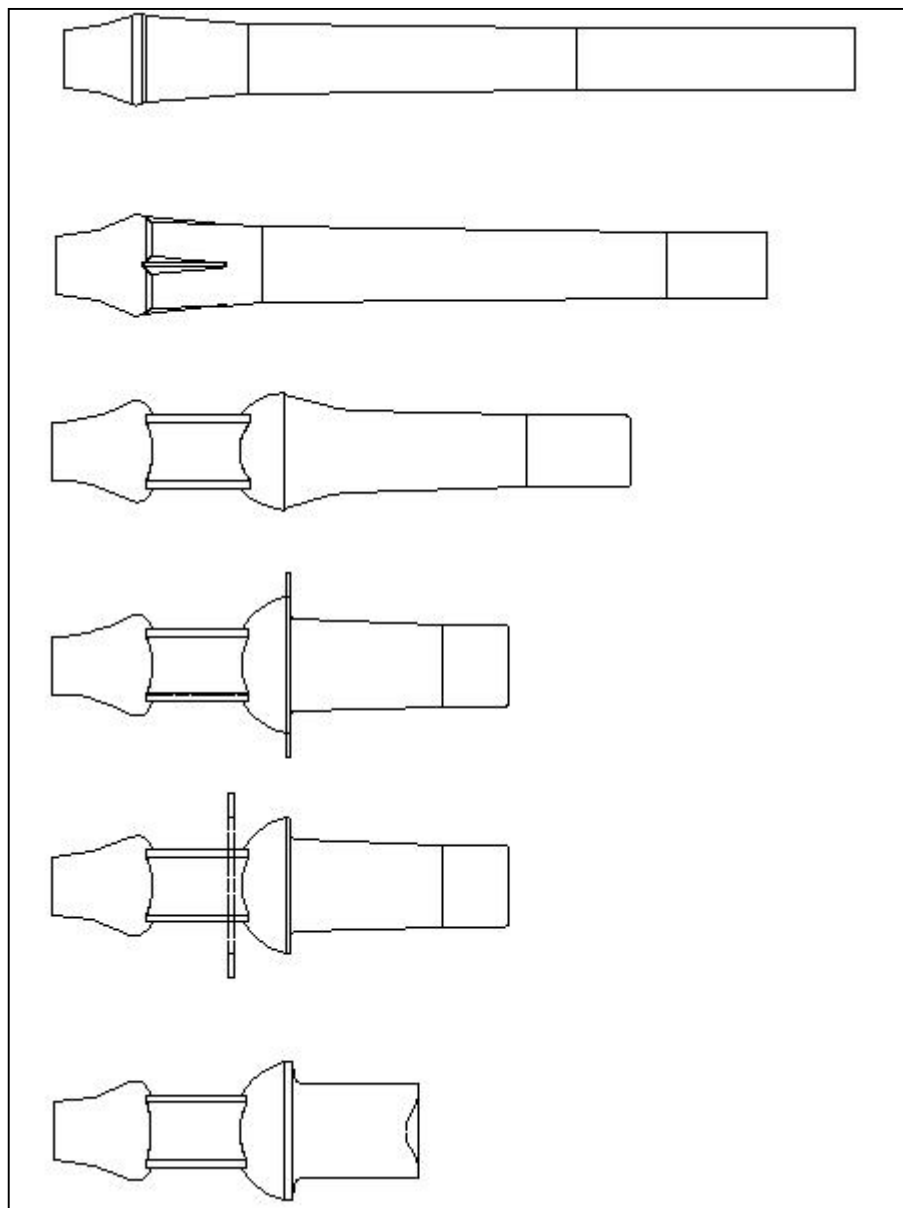


Figura 12
Desarrollo de forja actual en una sola etapa de 6 pasos



Figura 13

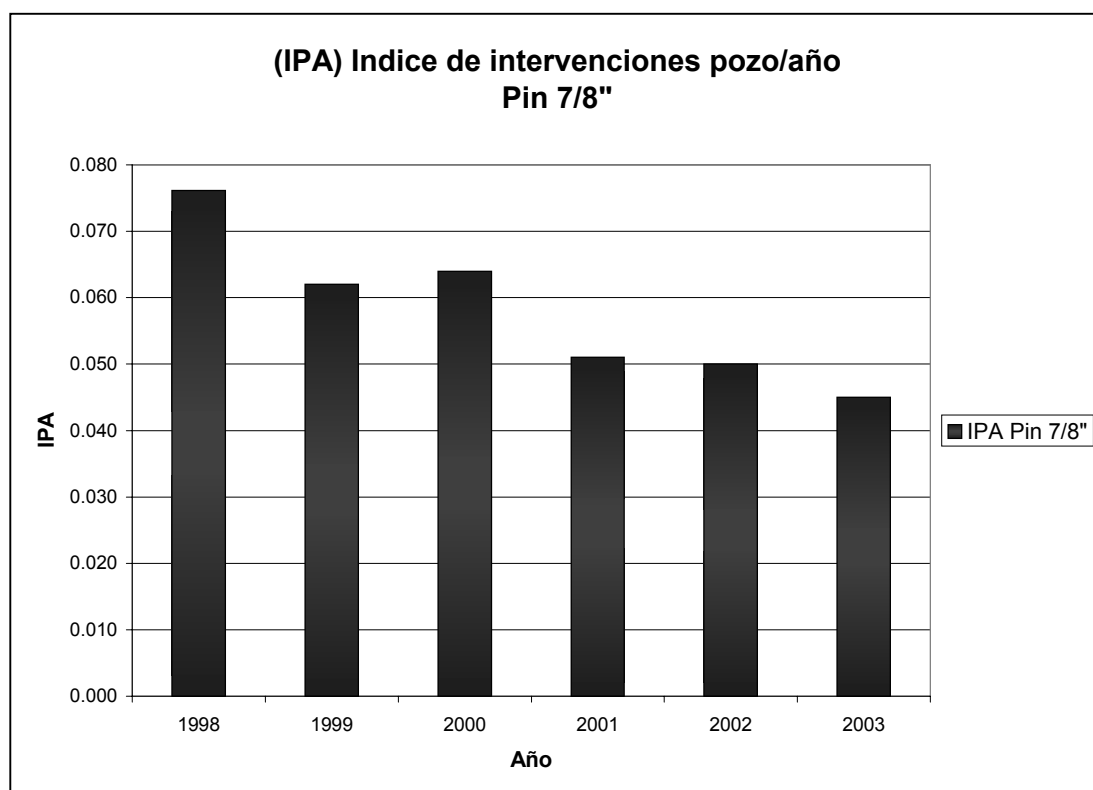


Figura 14