



ACERO Y UNIONES ROSCADAS ESPECIALES
APLICABLES A LA ENTUBACION Y BOMBEO
DE POZOS PROFUNDOS

Autores: J. Grondona
M. Pagani

ACERO Y UNIONES ROSCADAS ESPECIALES
APLICABLES A LA ENTUBACION Y BOMBEO
DE POZOS PROFUNDOS

Autores: J. Grondona
M. Pagani

Se describen las características y propiedades de los diversos materiales tubulares casing y tubing disponibles actualmente para entubación y producción de pozos profundos. Se enfocan especialmente los temas referidos a las aleaciones, tratamientos térmicos y tipos de unión roscada.

Con referencia a las aleaciones se dan sus características mecánicas, composiciones químicas, método de fabricación y resistencia a la corrosión en medios con H_2S y con CO_2 .

Se da un resumen de los ensayos de resistencia mecánica y de su aptitud frente a los medios corrosivos.

Respecto de las uniones roscadas, se describen los distintos tipos más difundidos, sus características, la función de cada una de las secciones que constituyen su diseño geométrico, incluyendo sellos, topes de sobretorque, tipo de rosca, anillos de sello, anillos para continuidad de revestimiento anticorrosivo y las precauciones que cada tipo de junta requiere durante su utilización.

INTRODUCCION

Las uniones con rosca Redonda y Buttress, son las más comúnmente usadas y sus dimensiones y comportamiento están definidos por el API. Sin embargo, los pozos de petróleo y gas se están desarrollando en condiciones de creciente severidad (mayores profundidades, ambientes corrosivos) lo cual ha llevado al desarrollo de nuevos aceros y uniones con mejores propiedades, que fueron desarrolladas en un principio por empresas roscadoras y a posteriori por los fabricantes de tubos. En general se tiende a la utilización de estas últimas debido a que aseguran un mejor control de calidad, precio y performance.

PROPIEDADES REQUERIDAS DE LAS UNIONES ESPECIALES

1. Estanqueidad

Se requiere una alta resistencia a las pérdidas para el casing y el tubing. La resistencia a las pérdidas es evaluada en ensayos que combinan cargas axiales, presión interna y temperatura, siguiendo las recomendaciones del API (RP37). Opcionalmente utilizan sistemas de carga más diversificados.

2. Resistencia

Se requiere que sea alta. En la medida que se perforan pozos más profundos se tiende a que la misma sea por lo menos igual a la resistencia del cuerpo del tubo.

3. Otras propiedades

Deben ser resistentes al engranamiento en repetidas operaciones de enrosque y desenrosque. No deben producir dificultades en la operación.

4. Pozos corrosivos

En el caso de pozos con H_2S las uniones deben ser del tipo de bajas tensiones para evitar que fallen por fragilización por hidrógeno.

CASOS EN QUE SE USAN.

En general las uniones especiales se usan en los casos que se detallan a continuación:

1. Pozos offshore

Su uso es muy difundido en este caso por razones de seguridad y de economía por el mayor costo de las intervenciones.

2. Pozos gasíferos

Es necesario asegurar que las uniones tengan una alta resistencia a las pérdidas, sobre todo en los casos de altas presiones.

3. Pozos corrosivos

Cuando se presenta H_2S o CO_2 es conveniente el uso de uniones que tengan un diseño interno continuo y bajas tensiones. Cuando coexisten el H_2S y el CO_2 el factor gobernante del proceso es el H_2S .

4. Pozos exploratorios y especiales

Ante la incertidumbre de las características de la zona a perforar (altas presiones, pérdidas, etc.) es aconsejable su uso.

PRECAUCIONES EN EL USO

La resistencia de las uniones a las pérdidas depende, en igual medida, tanto del diseño como del cuidado en el transporte, manipuleo y montaje en el campo.

Cuando aumenta la necesidad de tener uniones estancas, aumenta el costo de las fallas que se producen y consecuentemente aumenta la necesidad de establecer pautas operativas adecuadas.

Las uniones especiales que emplean varias combinaciones de roscas, tipos de sellos y aceros especiales, son mucho más sensibles al manipuleo y al medio ambiente.

Entre los principales factores que afectan el armado y desarmado podemos mencionar la desalineación, el torque y la velocidad de enrosque.

Indicamos a continuación algunas conclusiones y recomendaciones que serán de seguro beneficio para el personal involucrado en operaciones con material tubular:

- El enrosque 'vertical' a 'baja velocidad' no causa ningún daño.
- La frecuencia del daño debido al sobretorque, alta velocidad de enrosque o desalineamiento se incrementa con el diámetro de las uniones.
- La posibilidad de sobretorquear la unión se incrementa cuando aumenta la velocidad de enrosque.
- El balanceo de los tubos durante el armado o desarmado no produce daño siempre que la desalineación se mantenga dentro de los límites permitidos (1 a 3 pulgadas cada 30 pies).
- La inspección visual puede no ser suficiente para asegurar que se siguen los procedimientos adecuados.
- Deben usarse los procedimientos recomendados de manipuleo en todos los casos, API RP 5C1 y de fabricantes.
- Deben usarse guías de enchufe en todas las uniones.
- De ser posible se recomienda el uso de unidades de control de torque y velocidad de enrosque.

CONCEPTO DE UNION

Existen diversos tipos de uniones: roscadas, pegadas, abulonadas, soldadas, etc.

En el presente trabajo sólo se considerarán las uniones roscadas para ser utilizadas como tubing y casing.

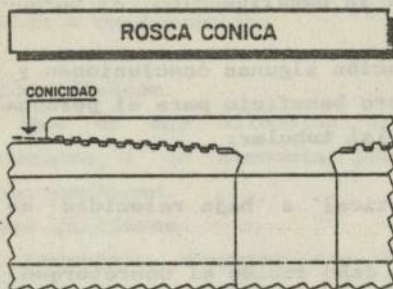


FIG. 1

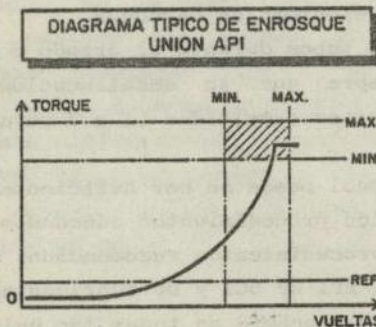


FIG. 2a

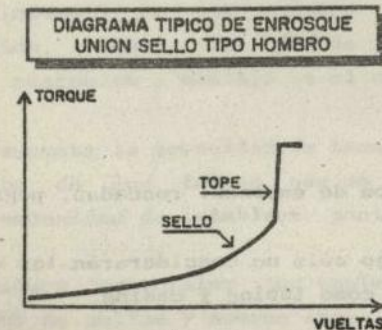


FIG. 2b

La principal función de las uniones es unir los tubos entre sí. Las mismas se encuentran sometidas a una serie de esfuerzos, dentro de los cuales podemos mencionar: tracción, compresión, torque y flexión. El origen de los esfuerzos puede ser de naturaleza mecánica, térmica o de presión.

Las uniones deben tener características tales que deben mantener sus propiedades, ya sea ante cargas simples o cualquier combinación de ellas. Las mismas deben ser fabricables con las máquinas especiales adecuadas, deben tener tolerancias ajustadas que le den consistencia dimensional y además deben tener un precio competitivo con otras uniones del mercado de similar prestación.

CARACTERISTICAS DE LAS UNIONES

Se consideran a continuación las más sobresalientes:

1. Tipos de rosca
2. Forma de filetes
3. Sistema de sellos
4. Tipo de extremo
5. Características de flujo
6. Capacidad de carga
7. Método de fabricación

1. Tipos de rosca

Existen básicamente dos tipos: cónicas y cilíndricas:

Cónicas

Se caracterizan por estar talladas sobre un cono cuyo eje coincide con el eje del tubo (Fig. 1). Durante el enrosque de las mismas se produce interferencia y el torque varía gradualmente hasta alcanzar el máximo (Fig. 2a).

Hay algunas uniones que además tienen un hombro que hace de tope y cuando se llega al mismo el torque aumenta rápidamente (Fig. 2b).

ROSCA CILINDRICA

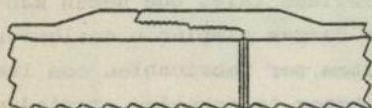


FIG. 3

DIAGRAMA TÍPICO DE ENROSQUE SELLO TIPO LABIO Y HOMBRO DE TORQUE

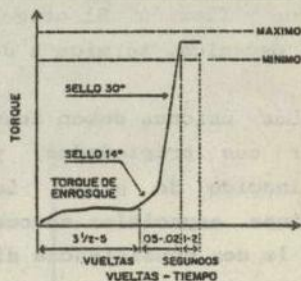


FIG. 4

FILETE REDONDO

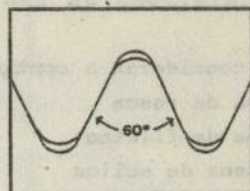


FIG. 5

FILETE TIPO BUTTRESS

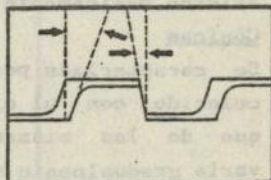


FIG. 6

Cilíndricas

Las mismas están talladas sobre uno o dos cilindros paralelos al eje del tubo. El enrosque se produce sin variaciones del torque hasta llegar a los sellos y topes, donde el mismo varía en forma rápida (Figs. 3 y 4).

2. Forma de los filetes

Las cargas producidas en el enrosque o cargas externas deben ser transmitidas por los filetes del macho a la hembra y viceversa.

Los más difundidos son los siguientes:

- a) Redondo API
- b) Tipo Buttress

Rosca Redonda

Los flancos presentan un ángulo de 60° . Una de las principales desventajas es que normalmente la falla de la unión se produce por zafadura (jump-out) (Fig. 5).

Tipo Buttress

Los filetes son del tipo trapezoidal con ángulos variables según los distintos diseños de los fabricantes. Con este tipo de filetes, por su menor ángulo, disminuye la componente radial por tracción y se evita el problema de zafaduras (Fig. 6).

3. Tipos de sellos

La estanqueidad de las uniones es uno de los objetivos que se persigue en las uniones premium. Las uniones deberán soportar:

UNIONES API

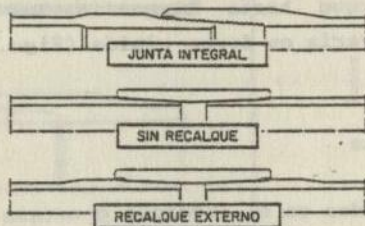


FIG. 7

API MODIFICADA

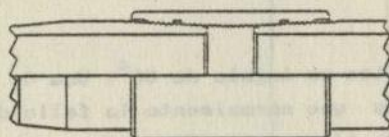


FIG. 8

UNIONES CON SELLO METAL A METAL

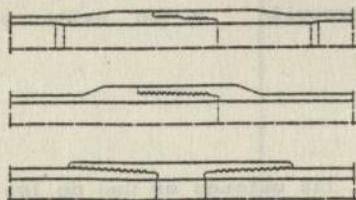


FIG. 9

Presión interna:

- Conduce fluidos a alta presión hasta la superficie con presiones de cierre de hasta 20.000 psi.
- Conduce fluidos durante acidificaciones o fracturas. Presiones de bombeo de hasta 15.000 psi.

Presión externa:

- Previene la pérdida del fluido de terminación.
- Permite una operación adecuada en el equipamiento de gas lift.

Si analizamos las uniones ofrecidas en el mercado podemos intentar una división en grupos de acuerdo a las características y cantidad de sellos involucrados.

Tubing

Los distintos tipos de uniones ofrecidas se han dividido en cuatro grupos y un sub-grupo.

En el grupo 1 están las uniones API, que son las comúnmente usadas, donde el sello se produce por interferencia, aumentada por la acción de elementos metálicos en la grasa que se utiliza. Estas uniones son para servicio general. (Fig. 7).

En el grupo 2 se muestra la unión API modificada, en la cual se incorpora un elemento sellante adicional que consiste en un anillo de material de características elastoméricas (teflón reforzado con fibra de vidrio), que mejora la capacidad sellante de la grasa, pero es necesario verificar su condición toda vez que sea utilizado para garantizar estanqueidad. Estas uniones son usadas en el caso que se requiera una resistencia moderada a la presión interna. (Fig. 8).

En el grupo 3 se indican algunos de los diseños más utilizados donde se usa como elemento sellante el contacto metal a metal (Fig. 9).

SELLO METAL A METAL TIPO LABIO

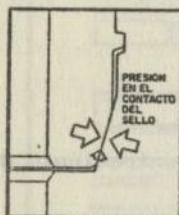


FIG. 10

SELLO METAL A METAL TIPO HOMBRO



FIG. 11

UNIONES CON SELLOS VARIOS

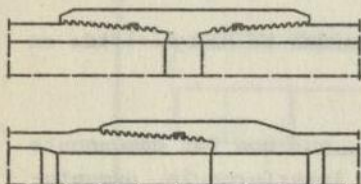


FIG. 12

ARO PARA CONTINUIDAD DEL RECUBRIMIENTO

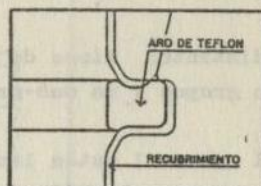


FIG. 13

RECUBRIMIENTO EN UNIONES CON CUPLA Y SELLO METALICO

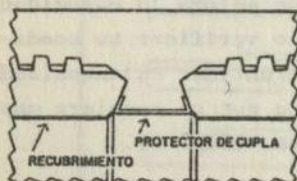


FIG. 14

UNION CON CUPLA Y SELLO

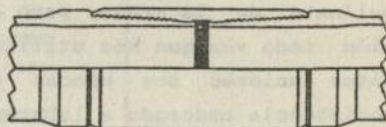


FIG. 15

Aquí es necesario distinguir, entre los sellos metal a metal básicamente dos tipos:

- . sello tipo labio y
- . sello tipo hombro.

El sello tipo labio consta de una superficie elástica que apoya sobre otra superficie más rígida y garantiza, de esta manera, una superficie anular de apoyo continuo (Fig. 10).

El sello tipo hombro, además del contacto metal a metal, incorpora un tope positivo (Fig. 11).

Estas uniones presentan una performance excelente en la resistencia a altas presiones de gas.

En el grupo 4 se indican algunas uniones que incorporan, además del sello metálico, anillos de material de características elastoméricas (Fig. 12).

Sub-grupo

Los tubos con recubrimiento interior, ya sea plastificado o niquelado, requieren asegurar la continuidad del mismo, a tal efecto se han diseñado algunas soluciones que indicamos a continuación:

a) Sello tipo labio

En este caso se recurre al uso de aros de material de características elastoméricas que evitan el daño al recubrimiento y aseguran la continuidad del mismo (Fig. 13).

b) Sello tipo hombro

En este caso se recurre al uso de pinturas especiales. (Fig. 14)

c) Otras soluciones

Se basan en el uso de material de características elastoméricas, colocado en el espacio entre ambos extremos (Fig. 15).

UNIONES API

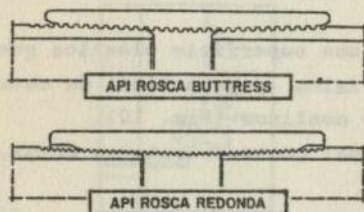


FIG. 16

API MODIFICADA

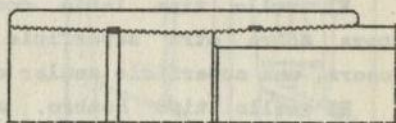


FIG. 17

SELLO METAL A METAL

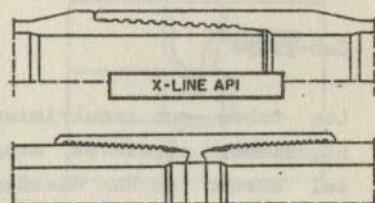


FIG. 18

SELLOS VARIOS

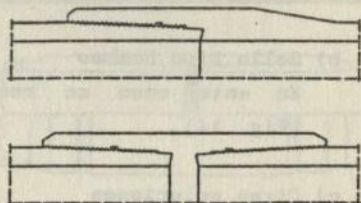


FIG. 19

Casing

Para el casing hemos dividido las uniones en cuatro grupos.

En el grupo 1 se indican las uniones API, Redonda y Buttress donde la estanqueidad se logra mediante interferencia y los elementos metálicos incorporados a la grasa utilizada (Fig. 16).

En el grupo 2 se indica la unión API modificada donde la estanqueidad se ve mejorada por la incorporación de un anillo de material de características elastoméricas (Fig. 17).

En el grupo 3 se muestran las uniones que incorporan un sello metal a metal. Aquí podemos visualizar la unión integral API, X-Line y otras uniones con cuplas (Fig. 18).

Por último en el grupo 4 se muestran algunos diseños de uniones integrales y con cupla que además del sello metálico incorporan anillos de material de características elastoméricas. (Fig. 19).

La performance de cada una de las mismas debe estar respaldada por ensayos de laboratorio siguiendo las instrucciones de la RP37 de API, donde se indican las condiciones de tracción, presión interna y temperatura a la cual deben someterse las uniones, además de la cantidad de uniones que deben ser ensayadas y cantidad de ciclos a los cuales deben ser sometidas.

En general podemos decir que las uniones con sello metal a metal son las preferidas en condiciones más exigentes dado que garantizan un mejor comportamiento.

Cuando no se requieren condiciones muy extremas de utilización y si un costo más reducido son empleadas las uniones con sellos de características elastoméricas, pero en general son poco usadas.

UNION CON CUPLA

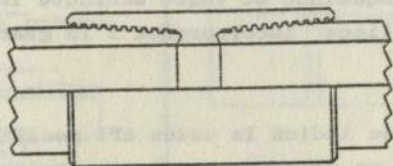


FIG. 20

UNION INTEGRAL

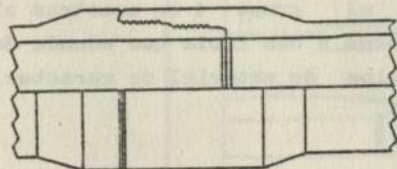


FIG. 21

UNION INTEGRAL SIN RECALQUE

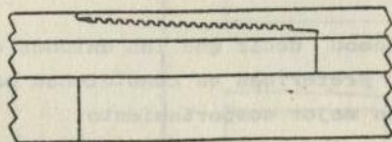


FIG. 21a

4. Tipos de extremos

Existen dos tipos de extremos:

- a) Con cuplas
- b) Integrales

- a) Con cuplas

Las mismas pueden usarse con extremos recalcados y sin recalcar. Presentan la ventaja de que es posible cambiar la cupla en el caso de que se produzcan daños en la misma. El diámetro de la cupla es generalmente mayor que el de la unión integral correspondiente.

En el caso de los tubos sin recalque es posible cortar y rehacer la rosca. (Fig. 20)

Se prefieren las uniones no recalcadas por su posibilidad de recuperación pero las uniones con recalque son muy usadas dado que tienen, debido a su robustez, un mejor comportamiento ante la acción de cargas combinadas.

- b) Integrales

En este caso las roscas se encuentran talladas sobre el extremo recalcado. Para reparar este tipo de rosca es necesario cortar y reroscar según la longitud del recalque para lo cual debe contarse con facilidades de maquinado que permitan esta operación (Fig. 21).

Existen uniones no recalcadas, talladas sobre el cuerpo del tubo y que tienen aplicación en caso de ser necesario reducir diámetros como en el caso de cañerías perdidas (liners) (Fig. 21a).

5. Características del flujo

El interno continuo evita la erosión y corrosión que pudiera producirse por turbulencia durante los periodos de producción con grandes caudales.



El interno continuo evita además los problemas que puedan presentarse en las roscas en el caso de pozos que se encuentren sometidos al ataque de elementos corrosivos (Fig. 22).

6. Capacidad de carga

Las uniones se encuentran sometidas a diversos esfuerzos, ya sean simples o combinados. Entre los más importantes podemos mencionar, tracción, compresión, flexión, torsión y presión interna y externa.

El origen de los mismos es debido al peso propio de la columna, presiones, variaciones de temperatura, pozos desviados, etc.

Un factor importante a tener en cuenta es la presencia de medios agresivos (SH_2 y CO_2), los cuales pueden disminuir la resistencia.

Los fabricantes indican el comportamiento de las mismas, avalado por la realización de ensayos de laboratorio. A título de ejemplo se muestran los gráficos de los ensayos realizados sobre algunas uniones, las cuales fueron sometidas a repetidos enrosques y desenrosques a elevadas temperaturas, con presión interna y tracción equivalente al 80% de la tensión de fluencia, basado en las dimensiones nominales y resistencia del tubo.

Condiciones del ensayo

- a) La muestra fue tomada de la producción standard.
- b) Se eliminó el sello adicional de la rosca perforando agujeros justo después del sello metal a metal (se elimina, de esta manera, el efecto de sello de la rosca).

Procedimiento de ensayo

Cada ciclo consiste en lo siguiente:

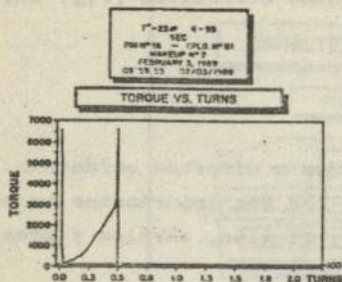


FIG. 23

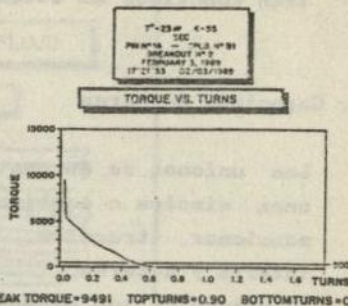


FIG. 24

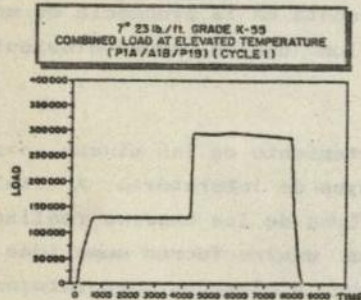


FIG. 25

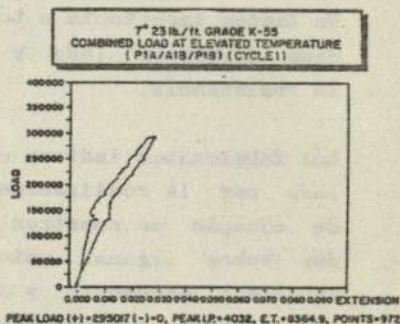


FIG. 26

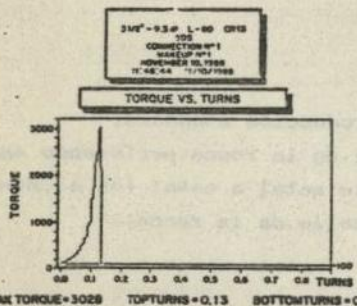


FIG. 27

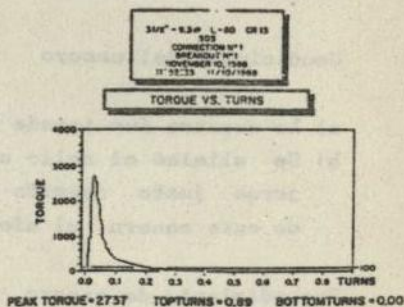


FIG. 28

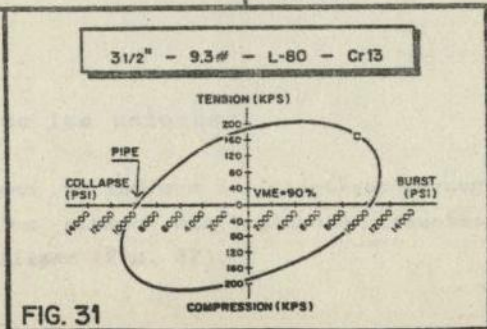
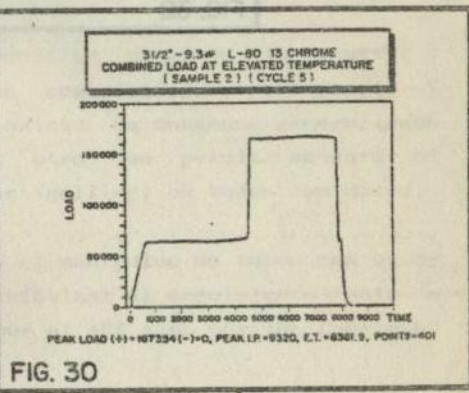
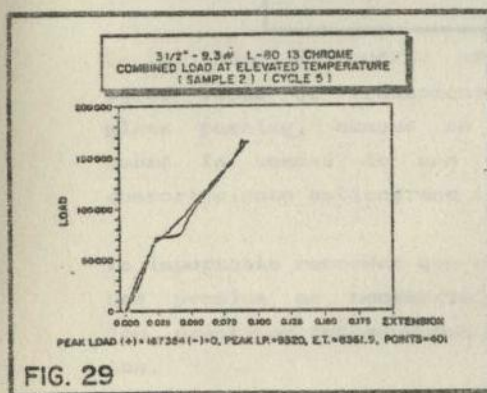
a) Enrosque al torque minimo.

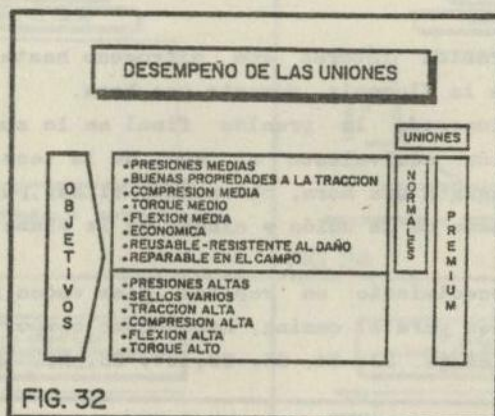
b) Se somete la union a temperatura (80 / 90 C).

Con la unión a temperatura, se la somete a los siguientes esfuerzos:

1. Presión interna con nitrógeno hasta alcanzar el 80% de la fluencia, durante una hora.
 2. Alcanzada la presión final se la somete a una tracción equivalente al 80% de la tensión de fluencia, durante una hora, observando si hay pérdidas.
- c) Desarmado de la unión y examen de la misma.

Este procedimiento se repitió diez veces para el tubing y cinco veces para el casing, habiéndose comportado satisfactoriamente (Figs. 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31).





7. Método de fabricación

La tendencia actual es usar máquinas de control numérico debido a las exigencias de fabricación de las uniones premium, que son de tolerancia muy restringida dado que el sistema de sellos metal a metal exige ajustes muy precisos.

Adquieren importancia, asimismo, los tratamientos a que son sometidas las roscas para evitar el engranamiento.

En los aceros comunes el tratamiento usado es el fosfatizado que asegura un buen comportamiento y no interfiere dimensionalmente en la rosca.

En el caso de aceros especiales es necesario recurrir a otros tipos de tratamientos superficiales, por ejemplo el glass peening, aunque no existe un consenso generalizado sobre la bondad de uno u otro que permita asegurar el comportamiento antiengrane (antigalling) en todos los casos.

Es importante recordar que en el manipuleo de tubos con uniones premium es necesario enfatizar el seguimiento tanto de las prácticas recomendadas por el API como por los fabricantes.

Desempeño de las uniones

Como resumen se indican los objetivos perseguidos y en función de los mismos una indicación orientativa del tipo de unión a utilizar (Fig. 32).

En todo los casos deberán analizarse cuidadosamente las condiciones a las cuales se encuentra sometida la tubería y elegir teniendo en cuenta todos los aspectos técnico-económicos del caso, dado que los tipos de uniones ofrecidos tienen un comportamiento diferente ante los distintos tipos de esfuerzos.

ACEROS UTILIZADOS PARA LA FABRICACION DE CASING Y TUBING

De acuerdo con las especificaciones API Std 5CT vigentes, primera edición del 15 de marzo de 1988, los materiales se separan en cuatro grandes grupos que corresponden:

- Grupo 1 Grados de baja o media resistencia mecánica para uso en medios no corrosivos. Incluyen los grados H, J, K y N.
- Grupo 2 Grados de media resistencia mecánica para uso en medios corrosivos. Incluyen los grados C y L.
- Grupo 3 Grados de alta resistencia para uso en medios no corrosivos. Incluye los grados P.
- Grupo 4 Grados de ultra alta resistencia para uso en medios no corrosivos. Incluye los grados Q.

Los grados H, J y K, salvo requisitos especiales, no son tratados térmicamente.

El grado N80 para el caso de casing no recalcado puede ser directo de laminación o tratado térmicamente por normalizado o templado y revenido.

El tubing y en general todo material recalcado N80 deben ser tratado térmicamente en su total longitud, posteriormente al proceso de recalcado, para uniformar la estructura metalográfica eliminando las zonas afectadas térmicamente durante el proceso de recalcado.

Los grados C75 tipo 1 y 3 reciben un proceso de normalizado y revenido y los C75 tipo 2, 9Cr y 13Cr se procesan con templado y revenido.

Los grados C90 tipo 1 y 2, C95 y L80 tipo 1, 9Cr y 13Cr son todos templados y revenidos.

Los grados P105 y P110 pueden fabricarse con cualquiera de las dos alternativas, normalizado y revenido o templado y revenido.

MATERIAL ENDEREZADO EN FRIO

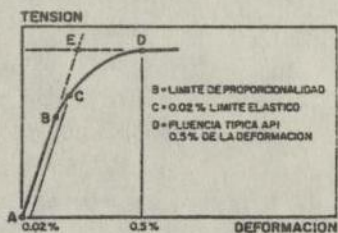


FIG. 33

Los grados Q125 tipos 1, 2, 3 ó 4 se deben fabricar incluyendo un proceso de templado y revenido.

Las características fundamentales que se buscan en los casing y tubos para pozos profundos, además de la resistencia mecánica, son la resistencia al colapso y la resistencia al impacto o resiliencia.

Resistencia al colapso

Los factores más importantes que determinan la resistencia al colapso son:

1. Forma de la curva tensión deformación del ensayo de tracción del material, límite elástico.
2. Factores geométricos: ovalización,
uniformidad del espesor,
diámetro externo,
excentricidad.
3. Tensiones residuales: de enderezado en frío,
de otras deformaciones en frío.

El límite elástico es el más importante de los factores que influyen sobre la resistencia al colapso de un tubo; para una buena resistencia al colapso es deseable un elevado límite elástico.

El límite de fluencia determinado por la técnica especificada en la API Std 5 CT no es sensible a la verificación de diferencias de forma en la curva de tensión deformación, especialmente en la transición elástico-plástica (Fig. 33).

**MATERIALES CON EL MISMO
LIMITE DE FLUENCIA API**

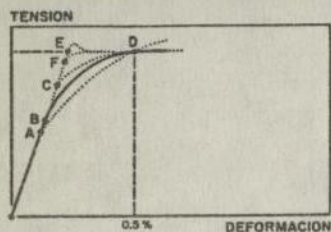


FIG. 34

**MATERIAL ENDEREZADO
A BAJA TEMPERATURA (52 °C)**

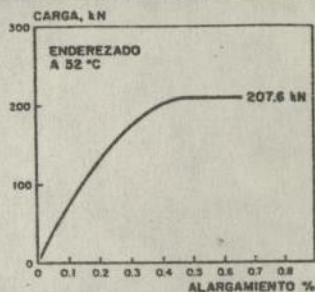


FIG. 35

MATERIAL ENDEREZADO A 160 °C

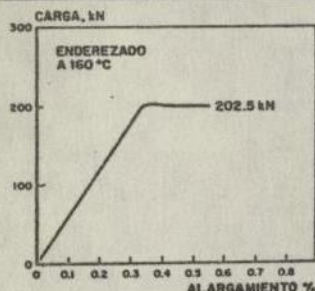


FIG. 36

MATERIAL ENDEREZADO A 418 °C

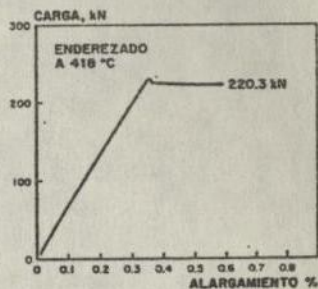


FIG. 37

**TENSIONES DE FLUENCIA API VS.
TEMPERATURA DE ENDEREZADO**

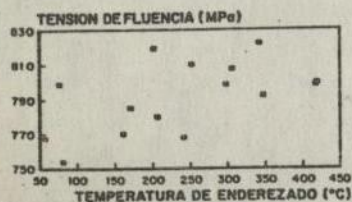


FIG. 38

**TENSION DE FLUENCIA (0.02 % DE DEFORMACION
PLASTICA) VS. TEMPERATURA DE ENDEREZADO**

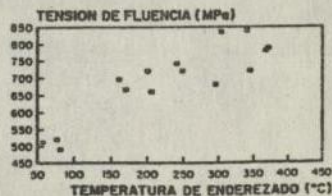
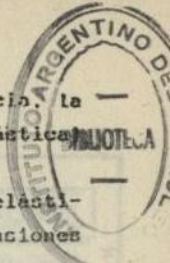


FIG. 39



La técnica API establece como criterio de fluencia la tensión necesaria para una deformación total (elástico-plástica) de 0.5%.

La forma de la curva tensión-deformación y el límite elástico depende de la estructura metalográfica y de las tensiones residuales del material.

Las estructuras totalmente martensíticas uniformes a través del espesor, son las mejores, cuando se han revenido convenientemente.

Se deben minimizar las tensiones residuales a través del espesor de pared del tubo, utilizando el proceso de enderezado en caliente.

La Fig.34 muestra distintas posibilidades de curvas de tracción, donde todos los materiales presentan el mismo límite de fluencia API, pero en realidad presentan distinto comportamiento elástico, siendo E y F más convenientes para obtener mejor resistencia al colapso.

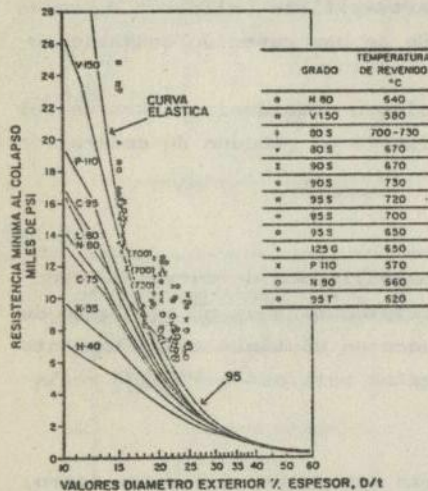
Las Figs. 35, 36 y 37 muestran las curvas del mismo acero, con el mismo proceso de tratamiento térmico pero enderezado a distintas temperaturas, se aprecia que en todos los casos el límite de fluencia API es similar pero los límites elásticos reales difieren sustancialmente.

En la Fig.38 se grafican las tensiones de fluencia en función de la temperatura de enderezado tomando el criterio de fluencia API, en este caso no se puede ver una clara correlación.

En la Fig.39 están graficadas las mismas variables pero tomando el criterio de fluencia de 0,02% de deformación plástica y en este caso se obtiene una buena correlación y una fuerte dependencia del límite elástico, con la temperatura de enderezado.

RESULTADOS GENERALES DE COLAPSO

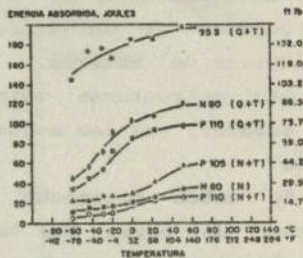
GRADOS API H-40, K-55, C-75, L-80, N-80, C-95 Y P-110
GRADOS NO API 95 Y V-150



RESISTENCIA AL COLAPSO DE LOS TUBOS

FIG. 40

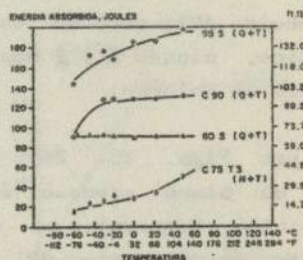
RESISTENCIA AL IMPACTO



Q+T: TEMPLADO Y REVENDO; N+T: NORMALIZADO Y REVENDO
N: NORMALIZADO

FIG. 41

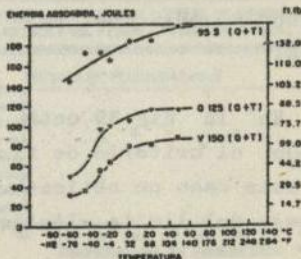
RESISTENCIA AL IMPACTO



Q+T: TEMPLADO Y REVENDO; S+T: NORMALIZADO Y REVENDO

FIG. 42

RESISTENCIA AL IMPACTO



Q+T: TEMPLADO Y REVENDO

FIG. 43

En la Fig.40 se dan los resultados de ensayos de colapso realizados sobre materiales tubulares sin costura producidos en SIDERCA, comparativamente con las curvas requeridas para cada grado. En todos los casos los valores exceden notablemente los requerimientos mínimos.

RESILIENCIA

Buena tenacidad y baja temperatura de transición dúctil-frágil son requerimientos para tubing y casing que se utilizan en pozos profundos.

Las figuras 41, 42 y 43 muestran las curvas de energía de impacto en función de la temperatura para ensayos Charpy con entalla en V. Se toma como referencia en todas el acero 95S que es el que comparativamente presenta mejores resultados.

En la tabla Nro. 1 se resumen en forma comparativa las características de los diversos grados de acero API Std 5 CT. Para los grados que pueden ser producidos por diversos procesos de tratamiento térmico son notablemente mejores las características de los templados y revenidos.

CONCLUSIONES

El material tubular para pozos profundos debe reunir las siguientes condiciones:

- buena resistencia mecánica,
- buena resistencia al colapso,
- buena resiliencia,
- uniones premium confiables,
- buena resistencia a la corrosión.

Estas características se satisfacen cuando el material se produce con las aleaciones adecuadas, con un proceso de tratamiento térmico de templado y revenido con completa transformación en todo el espesor, con un proceso de enderezado en caliente que no genere tensiones residuales.

Además se debe contar con una conexión diseñada para satisfacer condiciones de estanqueidad, flujo libre de turbulencias, resistencia mecánica adecuada y estado de tensiones superficiales tales que minimicen la posibilidad de corrosión bajo tensiones. Esto se hace posible ejecutando el roscado con tornos de control numérico y controlando el mecanizado con elementos de metrología apropiados que aseguren las estrictas tolerancias de diseño de estas conexiones.

T A B L A No. 1

GRUPO API	GRADO TIPO	TRATAMIENTO TÉRMICO (API)	LÍMITE ELÁSTICO	RESI- LIENTIA	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	ESTRUCTURA METALOGRAFICA	DEPOSITO- RACION	DESULFU- RACION
1	H40	De laminación	Bajo	Medio	Baja	Ferrita-perlita		
	J55	De laminación	Bajo	Medio	Baja	Ferrita-perlita		
	E55	De laminación	Bajo	Medio	Baja	Ferrita-perlita		
	H80	De laminación	Medio	Bajo	Baja	Ferr-Perl o intermedia		
	H80	Normalizado	Medio	Baja	Baja	Ferr-Perl o intermedia		
	H80	Templado y revenido	Medio	Alta	Baja	Hartensita revenida		
2	C75 1	Normalizado y revenido a T. 621 grados C	Medio	Medio	Medio (H25)	Intermedias		
	C75 2	Templado y revenido a T. 621 grados C	Medio	Alta	Medio (H25)	Hartensita revenida		
	C75 3	Normalizado y revenido a T. 621 grados C	Medio	Medio	Medio	Intermedias		
	C75 9Cr	Templado y revenido a T. 593 grados C	Medio	Medio	Medio (C02)	Hartensita revenida	SI	SI
	C75 13Cr	Templado y revenido a T. 593 grados C	Medio	Medio	Buena (C02)	Hartensita revenida	SI	SI
	L80	Templado y revenido a T. 621 grados C	Medio	Muy alta	Medio (H25)	Hartensita revenida		
	L80 9Cr	Templado y revenido a T. 593 grados C	Medio	Alta	Medio (C02)	Hartensita revenida	SI	SI
	L80 13Cr	Templado y revenido a T. 593 grados C	Medio	Alta	Buena (C02)	Hartensita revenida	SI	SI
	C90 1	Templado y revenido a T. 621 grados C	Alto	Muy alta	Muy buena (H25)	Hartensita revenida (*)	SI	SI
	C90 2	Templado y revenido a T. 621 grados C	Alto	Muy alta	Muy buena (H25)	Hartensita revenida (*)		
	C95	Templado y revenido a T. 593 grados C	Alto	Muy alta	Medio (H25)	Hartensita revenida		SI
3	P105	Normalizado y revenido	Alto	Baja	Baja	Intermedias		
	P105	Templado y revenido	Alto	Alta	Baja	Hartensita revenida		
	P105	Normalizado y revenido	Alto	Baja	Baja	Intermedias		
	P105	Templado y revenido	Alto	Alta	Baja	Hartensita revenida		
4	Q125 1	Templado y revenido	Ultra alto	Alta	Baja	Hartensita revenida (*)	SI	SI
	Q125 2	Templado y revenido	Ultra alto	Alta	Baja	Hartensita revenida (*)	SI	
	Q125 3	Templado y revenido	Ultra alto	Baja	Baja	Hartensita revenida (*)		SI
	Q125 4	Templado y revenido	Ultra alto	Baja	Baja	Hartensita revenida (*)		
NO API	V150	Templado y revenido	Ultra alto	Medio	Baja	Hartensita revenida (*)		

(*) Especificaciones de enderezado en caliente o distensionado luego de enderezado en frío

FACTORES DE SEGURIDAD

Su uso implica que los diseñadores entienden que hay dudas acerca de la certeza de ciertos datos o la evaluación de las cargas.

Podemos mencionar algunas de las más relevantes.

- . Fallas por causas dinámicas (dog-legs, bridges, rozamientos con las paredes).
- . Desgaste de la cañería durante la perforación.
- . Corrosión.
- . Confiabilidad de los productos utilizados (fluencia, resiliencia, etc.)

Reflejan en general una relación costo riesgo y se basan en la experiencia de los operadores durante muchos años y una actualización técnica constante.

Con ellos se trata de dar respuesta a algunas preguntas críticas aún sin resolver:

- . con cuánta frecuencia se dan los peores casos en el mundo real?
- . cómo se puede estar seguro que el peor caso adoptado es el peor?
- . cuál es el riesgo para el pozo y el personal si ocurre una falla?

Colapso

En general se calcula considerando el pozo vacío en el interior, lo cual es una condición extrema. El uso de factores altos implica mayores costos, especialmente en diámetros grandes, sin olvidar que los datos del API son conservativos.

Las fallas se producen en el fondo del pozo con poca repercusión sobre la vida y la propiedad.

Presión interna

Las fallas son más comunes y son causadas por operaciones de control de pozos, maniobras de producción y falta de estanqueidad en las uniones.

Se producen cerca de la superficie donde los riesgos personales son mayores.

Tracción

Sorprende generalmente por lo elevado pero hay razones: el cálculo convencional ignora las tensiones triaxiales y los efectos de los cambios de la presión, temperatura y dinámicos. Ocurre cerca de la superficie.

Se indican a continuación los rangos de variación de los coeficientes así como los valores comunmente usados:

Solicitud	Rango	Usual	
		Casing	Tubing
Colapso	0,8 - 1,25	1,125	1,125
Presión interna	1 - 1,5	1,1	1,3
Tracción (*)	1,5 - 2	1,8/1,6	1,8/1,6

- (*) En tracción se indican dos valores según se trate de uniones API rosca redonda o uniones especiales. Estas últimas son mucho más confiables dada la precisión con que se fabrican.