

01153

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**



2005  
ESPINOSA RAMOS, RICARDO

RECIBIDO  
10 FEB 2005  
10:17 AM

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PROYECTO TERMINAL**

**"FACTIBILIDAD DEL USO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO  
CON COSTURA (ERW)"**

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE  
PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS

PRESENTA:

**RICARDO ESPINOSA RAMOS**

DIRECTOR DE PROYECTO :  
M. EN I. MARTÍN TERRAZAS ROMERO

FEBRERO DE 2005



m343542



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **RESUMEN.**

Este trabajo plantea un análisis técnico y económico, justificando de manera importante el uso de la tubería de revestimiento con costura (ERW). Afirmando la recomendación hecha por el Instituto Americano del Petróleo en la norma API 5CT. para su uso.

Se hace una revisión de conceptos mecánicos utilizados en la selección de la tubería de revestimiento en un pozo, mostrando que no existe diferencia técnica alguna, que las diferencias son el proceso de fabricación y el costo.

Muestra los costos de ambas tuberías, manifestando el ahorro importante para nuestra industria y lo que pudo y puede representar por la cantidad de pozos que estan por perforarse.

## CONTENIDO

RESUMEN.

INTRODUCCION.

OBJETIVO

ALCANCES

ANTECEDENTES.

I. Procesos de Fabricación de la Tubería.

I.1 Con Costura.

- I.1.1 Fabricación de **bobinas o rollos** de acero
- I.1.2 Fabricación del Tubo
- I.1.3 Tratamiento Térmico y Roscado

I.2 Sin Costura.

II.- API 5CT, su análisis.

II.1 Propiedades del acero.

II.2 Química Requerida.

III.- Análisis mecánico de la tubería con costura.

III.1 Propiedades Mecánicas requeridas.

- III.1.1 Falla por Colapso.
- III.1.2 Falla por Tensión
- III.1.3 Falla por Estallamiento.
- III.1.4 Corrosión

III.2 Características principales en las tuberías de revestimiento.

III.3 Comparativo de las características de tubería con costura (ERW) y sin costura (SEAMLESS).


III.4 Tipos de Pruebas.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ESPIÑOSA RAMOS  
RICARDO

FECHA: 27-04-2005

FIRMA: P. A.

 HUGO BECERRA TRAJEQUE

IV.- Análisis económico para el uso de tuberías de revestimiento con costura (ERW).

IV.1 Datos Económicos Internacionales.

IV.2 Uso de Tuberías de Revestimiento en Burgos.

IV.3 Análisis comparativo de costos entre tubería de Revestimiento con y sin costura.

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**INDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**ANEXOS.**

Anexo I. Evaluación de la Tubería con costura J-55 por Tubacero.

Anexo II Factibilidad de aplicación en otros pozos de PEMEX.

## INTRODUCCIÓN.

La tubería de revestimiento utilizada en el proceso de perforación de pozos es uno de los materiales de mayor impacto en el costo de la inversión para la construcción de un pozo. Gracias a nuevas tecnologías, su fabricación se ha mejorado disminuyendo el riesgo de falla y al mismo tiempo logrando colaborar dentro del proceso integral de optimización del costo.

El Instituto Americano del Petróleo (A.P.I), constituye el organismo internacional que estandariza los requerimientos técnicos de la Tubería de Revestimiento mediante especificaciones API 5CT. En el punto 5.1.2 de la edición de abril de 1999, recomienda los Grados ( **H-40, J-55, K-55, N-80, L-80 tipo 1, C-95, P-110 y Q-125**), para tuberías que pueden ser fabricadas por el proceso con costura, por el método de Soldadura por Resistencia Eléctrica (ERW), o sin costura (SMLS), según se indica en la Tabla No.1 .

En nuestro país aun se tiene el temor de su uso por varias razones, donde podríamos enumerar primeramente la impericia de las recomendaciones del API 5CT, la inexperiencia del uso de esta tubería y el desconocimiento técnico de lo que es la soldadura por resistencia eléctrica. Por lo que este trabajo trata de impulsar de una manera sencilla el uso de la misma, mostrando con datos la utilización avanzada en los EE.UU. y en otras partes del mundo, así como el ahorro sustancial que se tiene por su utilización.

Este trabajo describe las experiencias de Petróleos de Venezuela (PDVSA) en el uso de tubería revestimiento con costura, API 5CT, **Grado J-55 y N-80** para pozos en sus campos, desde su inició en 1992 a 1998. Un análisis del incremento de fabricación y uso de esta tubería de revestimiento (ERW) en los EE.UU.

Se muestran las diferencias en su proceso y las características físicas de cada tipo de tubería, las compañías que se encuentran en México y que pudieran ofrecen el servicio, así como otras en EE.UU, Europa o Asia.

Describe las visitas a las plantas **TAMSA** en Veracruz, **TUBACERO** en Monterrey, N.L y **PROCARSA** en Monclova, Coahuila, con comentarios de gente involucrada en el ambiente del acero (**AHMSA**) y la fabricación de tuberías (ERW), así como el desarrollo tecnológico y la automatización de esta industria en los años ochenta a la fecha. Se hace un análisis según API de las propiedades mecánicas de la tubería (ERW) y como influyen para su selección en el diseño de pozos petroleros.

Se muestra la factibilidad de su uso en algunos pozos de los muchos campos con los que cuenta nuestro país, especialmente en el campo de Burgos en la ciudad de Reynosa en el Estado de Tamaulipas, donde se hace también un análisis de costos entre estas tuberías.

Por lo demás se muestran los resultados de unas pruebas físicas y químicas a la tubería con costura (ERW) por parte de la compañía Tubacero donde manifiesta que se encuentran dentro de los rangos API 5CT.

Hoy en día, existen fabricantes dedicados al suministro de Tubería con costura para un gran número de aplicaciones como, uso estructural, uso mecánico, presión, tubería de línea y la gama de tubería de revestimiento y producción bajo la norma API 5CT, así como la Fabricación de Grados Propietarios no contemplados por la norma .

- **OBJETIVO**

Efectuar un análisis técnico y económico para poner a consideración la utilización de la tubería de revestimiento con costura, despertar la inquietud de su uso, propiciar un estudio mas profundo y visualizar la factibilidad de instalarla en algunos pozos de los muchos campos con que cuenta nuestro país.

- **ALCANCES**

Promover el uso de tubería de revestimiento con costura soldada por resistencia eléctrica (ERW) perfectamente recomendado por el Instituto Americano del Petróleo (API), por lo que es una opción para disponer de un suministro de tubería diferente al de fabricación sin costura, generando con ello la optimización de los recursos y contribuyendo al desarrollo de un sector nacional conexo a la Industria Petrolera Mexicana.



## ANTECEDENTES.

En 1991, PDVSA se plantea como objetivo iniciar el proceso de evaluación y calificación de la tubería con costura para la aplicación como revestimiento y producción con los siguientes fines:

- Disponer de una opción al suministro de tubería que, para la fecha, dependía en su totalidad del proceso de fabricación sin costura.
- Optimización de recursos.
- Contribuir al desarrollo de un sector conexo al de la Industria Petrolera Venezolana.

En el año de 1992 Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA) inicio un proyecto para disponer de tuberías con costura y optimizar así sus recursos, alcanzando ya un 40% del total fabricado para utilización de esta como tubería de revestimiento.

Estos planteamientos dieron sus resultados mediante el trabajo conjunto del usuario y el proveedor, y en ese año, se califico el tubo con costura en **10 3/4" x 40.5 lb/pie Grado J-55** como revestimiento superficial e intermedia, usándose ese año aproximadamente 115,000 pies (35,061 m). Para mediados del año 1998, ya han calificado los grados **J-55 y N-80** en todas sus aplicaciones y se han utilizado cerca de 7,000,000 de pies (2,134,146 m) de tubería con costura en diferentes dimensiones en el rango de **2 3/4"** hasta **10 3/4"**.

**PDVESA** para aprobar el uso de esta realizó pruebas API en laboratorios para cada uno de los diámetros y grados que esta utilizando.

Tabla 2. Cantidad en toneladas de tubería de revestimiento con costura que se utilizo en Venezuela hasta 1998.

<b>Diámetro</b>	<b>Grados</b>	<b>Peso Unitario (lbs/pie)</b>	<b>Metros</b>	<b>Total de Toneladas.</b>
<b>10 3/4"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>40.5</b>	<b>103,780</b>	<b>6,200</b>
<b>9 5/8"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>43.5, 40, 36</b>	<b>310,975</b>	<b>17,200</b>
<b>7"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>29, 26, 23</b>	<b>1,329,268</b>	<b>46,900</b>
<b>5 1/2"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>17, 15.5</b>	<b>326,329</b>	<b>8,100</b>
<b>4 1/2"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>11.6</b>	<b>13,475</b>	<b>400</b>
<b>2 3/8" a 4 1/2"</b>	<b>J-55, N-80</b>	<b>----</b>	<b>80,792</b>	<b>800</b>
<b>Total</b>			<b>2,164,512</b>	<b>79,600</b>

Tabla 3 Profundidades máximas alcanzadas donde se utilizaron estas tuberías de revestimiento.

Diámetro/Tipo de Pozo.	Peso (lbs/pie)	Grado	Conexión	Tipo de fabricación	Profundidad. (m)
10 3/4" Vertical	40.5	J-55	BTC	ERW	600
9 5/8" Vertical	36	J-55	BTC	ERW	1800
7" Desviado	23	N-80	BTC	ERW	2130
7" Vertical	23, 26, 29	N-80	BTC	ERW	3350
Tubing 3 1/2	9.3	N-80	BTC	ERW	1768

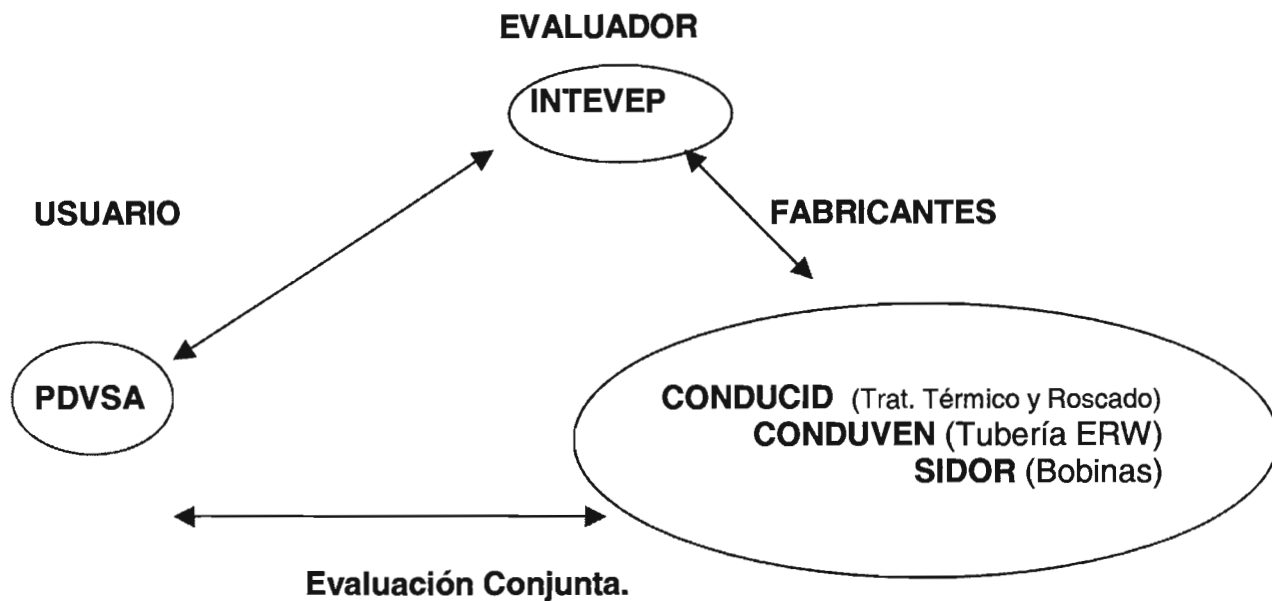


FIG.1 Situación y suministro de tubería (ERW) a PDVSA en 1991.

En una estadística\* del volumen de fabricación de tubería con costura en el Mercado de Estados Unidos, se observó un incremento en el orden de 2.2 millones de tramos por año en el periodo de 1993 a 1997. Como referencia muestra la tendencia de un incremento anual en el uso de esta tubería de hasta un 50% del total de tubería fabricada para el año de 1997.

La fabricación de esta tubería en los Estados Unidos para el año de 1999 se incremento hasta el 52.1% de la fabricación total de tuberías para uso petrolero, tanto para tuberías de línea como de revestimiento.

En México, a fines de los años ochenta y a principios de los noventa en la región marina se utilizo tubería **conductora soldada** de 30" con espesor de 1" soldándole la conexión, además por esa misma época se utilizo en varios pozos de las plataformas fijas, tubería de 20" grado "X52" y "X56" con junta tipo VETCO soldable, este ultimo tipo de tuberías están especificadas en las normas API-5L que cubren especificaciones para tubería de línea.

Aceptando que en experiencias de tubería de revestimiento en México no se encontró información específica de estas, donde no se sabe con exactitud que tipo de soldadura llevaban las tuberías que se han usado, quienes fueron los proveedores, si el tubo era o no helicoidal, o era tubería normal con costura de arco sumergido, en realidad no existe una información escrita detallada y precisa de estas experiencias.

Sin embargo, se tiene conocimiento, principalmente a través de experiencias personales de gente de la industria del acero (AHMSA), que en el México de los ochentas a la fecha, el acero como materia prima en general y muy en particular para la fabricación de tuberías de revestimiento, ha tenido un desarrollo tecnológico importante, al grado de considerarlo entre los mejores del mundo como los Japoneses, Alemanes y Americanos entre otros. El desarrollo esencial se ha tenido en la calidad del acero y los principales componentes que lo integran para los diferentes grados, donde el control computarizado de estos elementos es cada vez mas preciso.

De acuerdo al Preston Pipe Report\* la fabricación de tubería de los Estados Unidos con las especificaciones que cubren la norma API 5CT en el año de 1997 fue aproximadamente de 2,500,000 toneladas de las cuales 49.8%, corresponden a tubería con costura, en los años del 93 al 96 esta proporción es 47.3%, 45.2%, 43.2%, 49.2% respectivamente, tendiendo a incrementarse en los años de 1998 y 1999.

La producción de 1998 y 1999 fue de 1,805,437 y 1,335,192 toneladas, de las cuales el 45.7% y el 52.1% corresponden a tubería ERW, por lo tanto la utilización de tubería soldable es un hecho.

De acuerdo al Pipe Logix \*\* la producción de 1998 y 1999 de tubería ERW fue del orden del 45 % y 51% respectivamente, datos muy similares a los de la Revista Preston Pipe Report.

Nota: La Revista Preston Pipe Report \* y Pipe Logix \*\* son revistas americanas donde se informa sobre la producción de tubulares de los fabricantes en ese país.

## I. Procesos de Fabricación de la tubería.

### I.1 Con Costura.

El proceso puede dividirse en tres etapas:

#### I.1.1.- Fabricación de bobinas o rollos de acero:

La Materia Prima para la fabricación de tubería con costura está constituida por bobinas o rollos de acero laminados en caliente. Las mismas deben fabricarse de acuerdo con las actuales exigencias tecnológicas. Uso de **acero calmado**, prácticas de **afinamiento de grano**, **metalurgia secundaria**, tratamiento de **globulización de inclusiones**, limitación de los niveles de **fósforo y azufre**, colada continua, control de espesor en la laminación y control de las temperaturas de laminación y enrollado.

Estas exigencias aseguran la uniformidad, las propiedades metalúrgicas y mecánicas a todo lo ancho y largo de la lamina.

#### I.1.2.- Fabricación del Tubo:

Se procesa la bobina o rollo para fabricación de la tubería con costura (ERW), sea de grado H-40, J-55, K-55 o en **Tubería Verde** (Tubería para ser transformada en Grado N-80 o mayor). El proceso de fabricación está conforme a lo establecido en API 5CT, donde la inspección no destructiva y la rastreabilidad son factores primordiales para garantizar la integridad del producto.

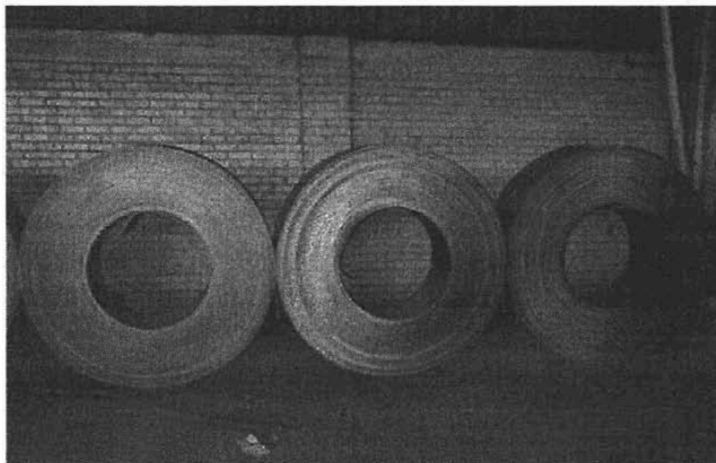


Fig. 2 Fotografía que muestra la entrada del acero en rollo para la fabricación de tubería

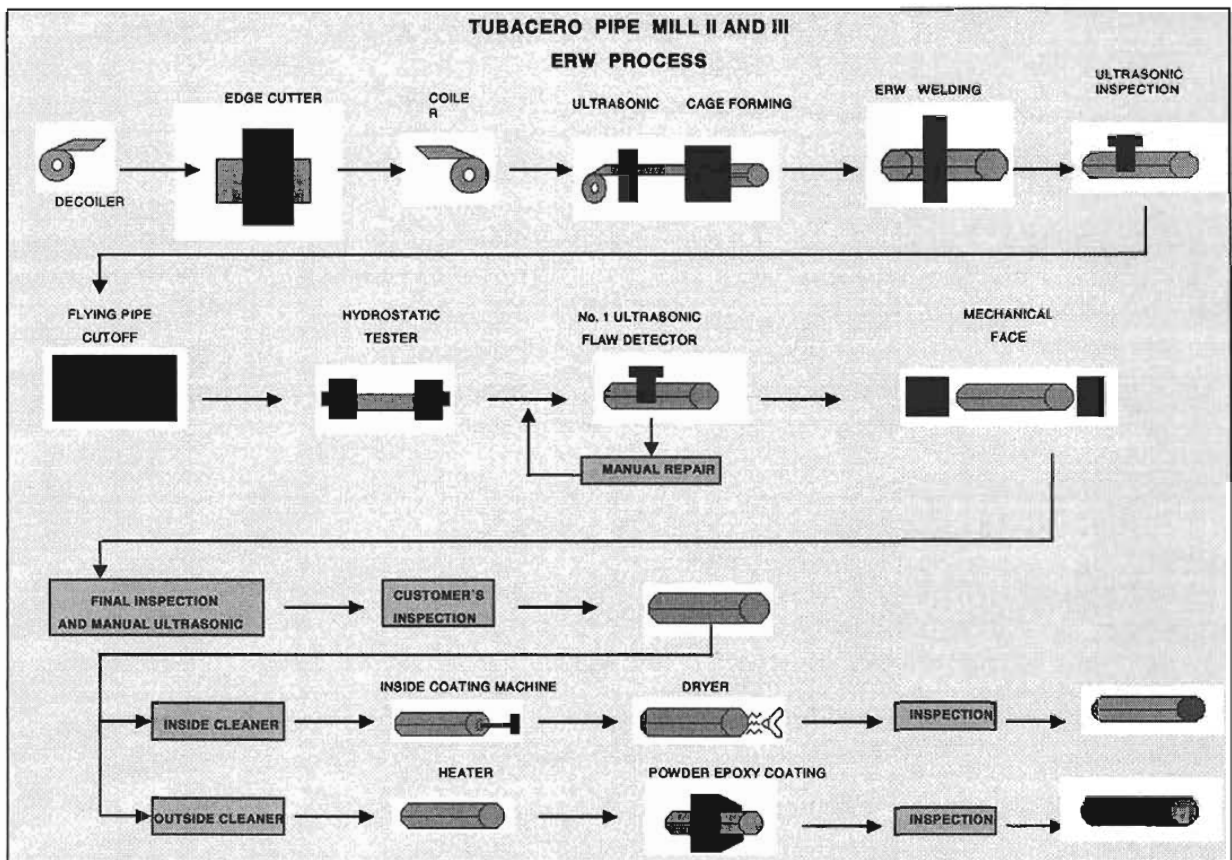


Fig. 3 Proceso continuo de fabricación de la tubería con costura (ERW).

La respuesta concreta a por que se dice que una tubería con costura generalmente es igual o mas resistente a la estructura del acero que compone la misma, es que primero en el proceso se hace pasar una corriente eléctrica muy alta por las aristas de la bobina o rollo que casi las funden y al ser empujadas entre si por un rodillo se soldan y forman la tubería. fig.5.

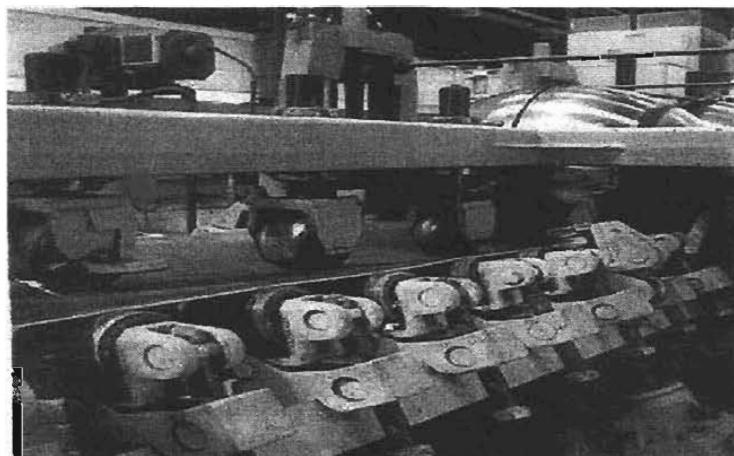


Fig. 4 Proceso de rodillos para ir dando forma al tubo



Fig. 5 Muestra el proceso de soldadura por resistencia eléctrica de un rollo de acero para formar un tubo.

Después para conservar su estructura homogénea, además de que sabemos que es exactamente del mismo material que compone la tubería y que no se ha agregado otro material diferente, se hace pasar toda la línea soldada por un inductor que emitirá el calor necesario (1600° a 1920 °F) para normalizarla y continuar manteniendo la estructura general del cuerpo del tubo en las mismas condiciones de resistencia. fig.6.

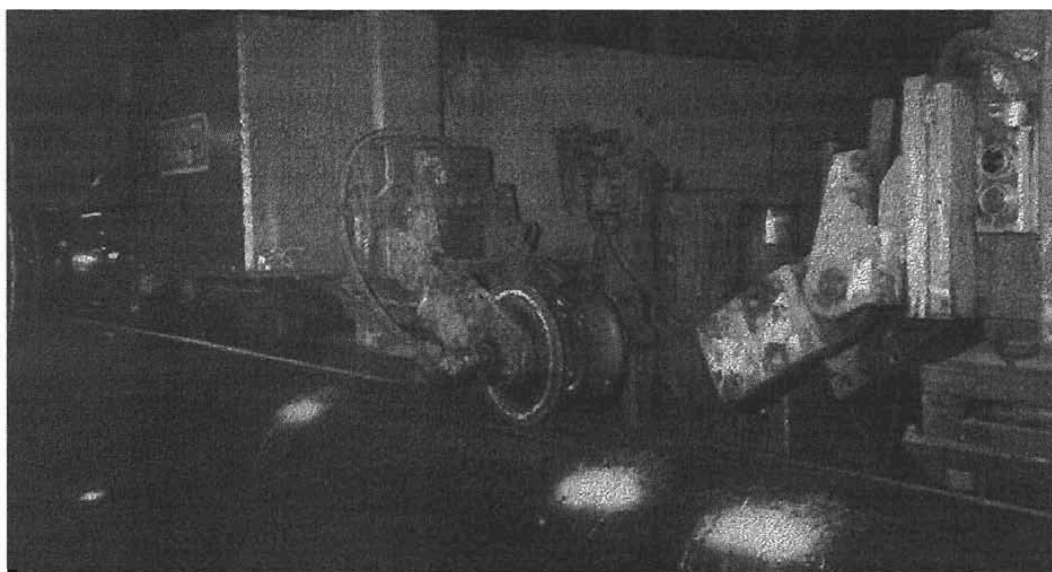


Fig. 6 Muestra el proceso de normalizado a la línea de soldadura para conservar su estructura.

Otro punto muy importante en la fabricación de tubería ERW es que inmediatamente después de ser soldado, y en el mismo proceso, existe un dispositivo de uña que permite retirar los realces o bordes de material soldado tanto externa como internamente permitiendo el paso libre, al mismo tiempo que también pasa todo el tubo por un ultrasonido que identifica alguna posible anomalía existente. Al final del proceso, muchas veces la apariencia del tubo es como la de una tubería sin costura donde difícilmente se observa la línea de soldar. fig.7

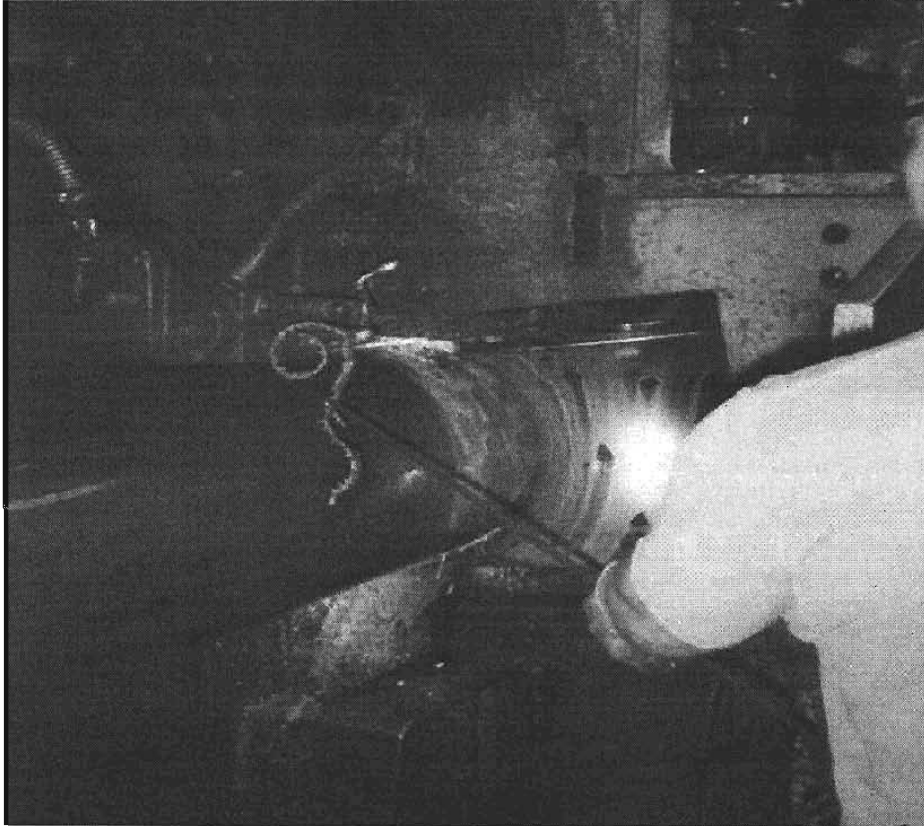


Fig.7 Retiro de acero soldado que pudiera hacer borde en la línea de soldar.

En términos generales, como se mostró anteriormente el API 5CT considera aceptable la soldadura por resistencia eléctrica para los grados mencionados, y es que otro tipo de soldadura como la de **arco sumergido** no es aceptada, ya que por principio en este tipo de soldadura se adiciona un material de estructura diferente a la de la tubería por soldar, lo que hace una diferencia considerable de resistencia como lo muestra la figura 8.

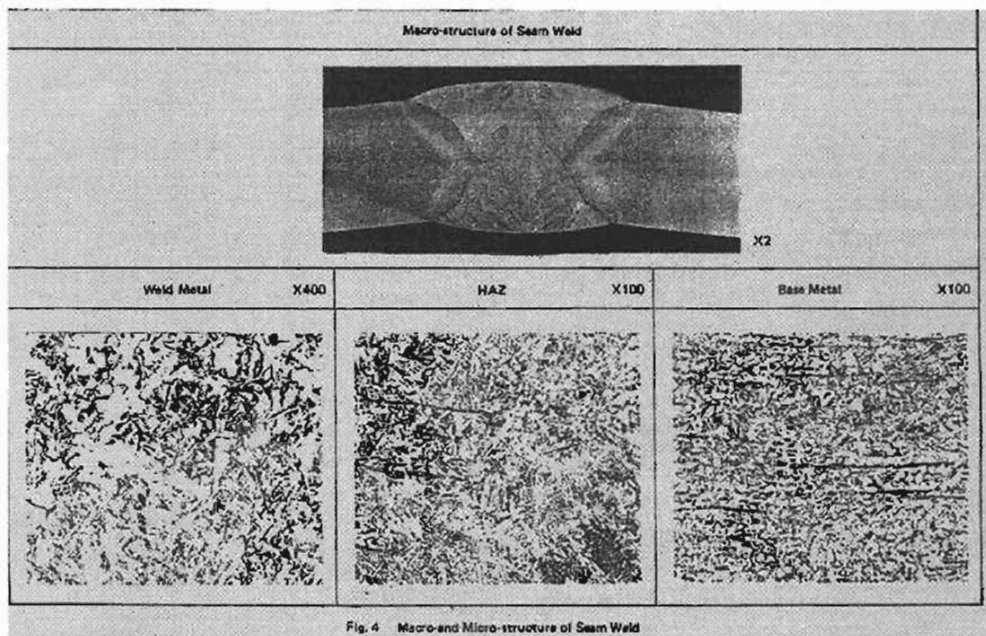


Fig.8 Muestra la estructura microscópica de un tubo soldado por arco sumergido.

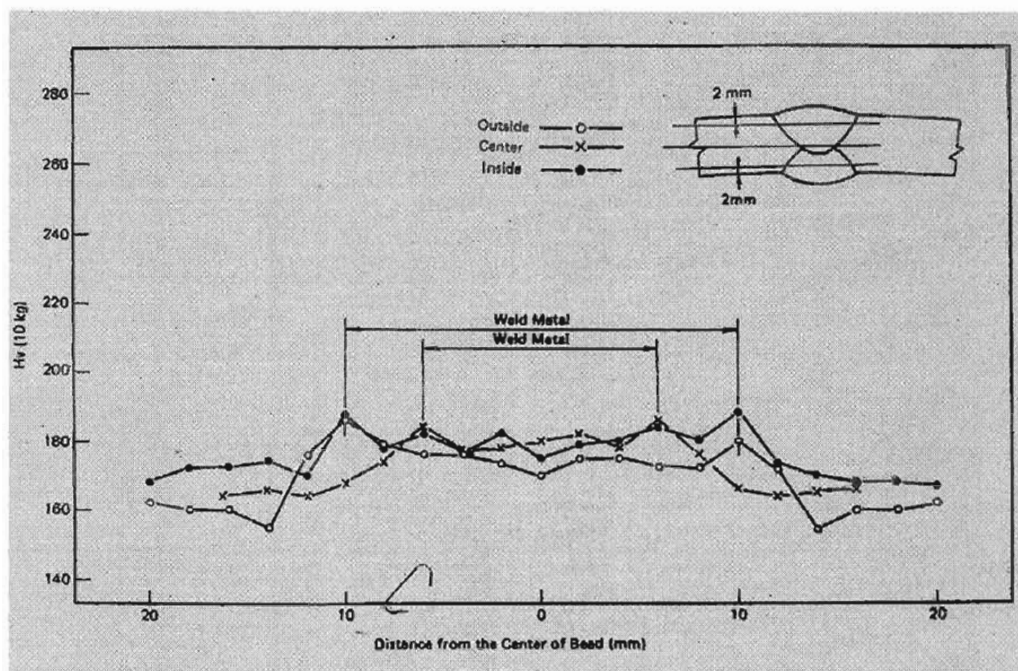


Fig. 9 Gráfica de dureza vs distancias en diferentes puntos de un tubo soldado por arco sumergido.




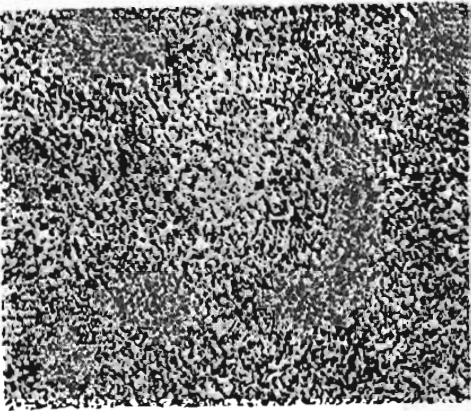
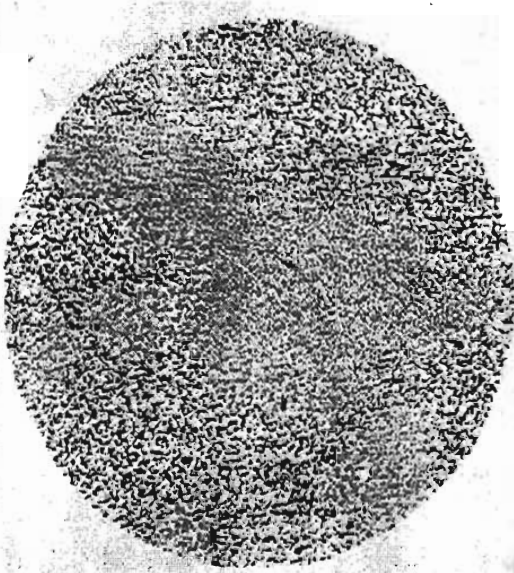
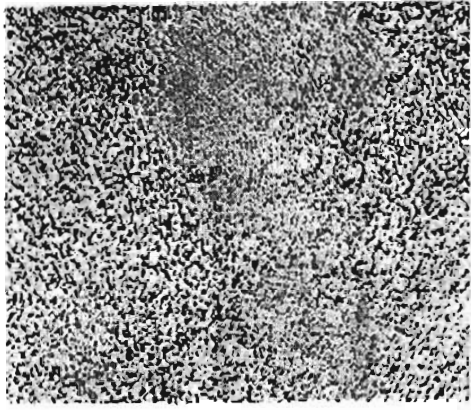
Macro	X1	X100
		Outside
		Center
Base Metal	Welded Seam & HAZ	Inside

Fig. 10 Muestra la estructura microscópica de un tubo soldado por resistencia eléctrica, donde no existe variación de la misma.

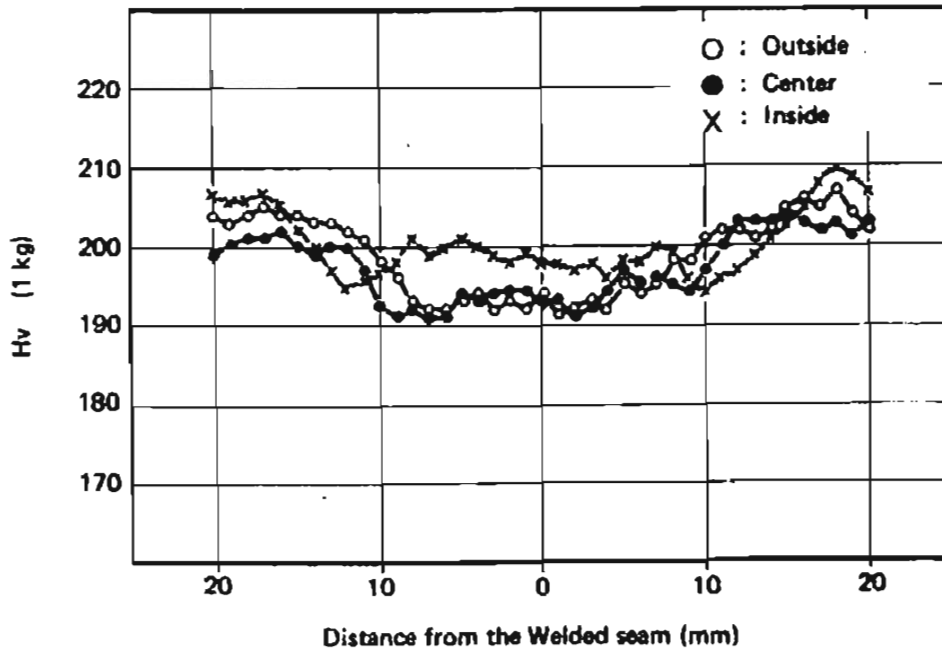
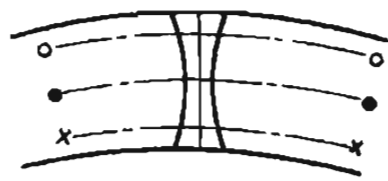


Fig. 11 Gráfica de dureza vs distancias en diferentes puntos de un tubo soldado por resistencia eléctrica.

### I.1.3.- Tratamiento Térmico y Roscado:

El tratamiento térmico de templado y revenido, de la tubería verde permite obtener las propiedades mecánicas que establece el grado final de la tubería (Grado N-80 y mayores). La calidad del producto final se basa en un programa de verificación de propiedades mecánicas del acero durante cada una de las etapas del proceso así como el empleo de tecnologías de Ensayos No-Destructivos.

Para el roscado de este tipo de tuberías (ERW) se pueden usar exactamente las mismas clases de juntas **acopladas o integrales** que se usan en las tuberías sin costura, tanto API (de línea, redonda, butress y extreme line) como Premium (De patente), siempre y cuando utilicen el mismo tratamiento térmico que se uso en la fabricación del tubo.

Como se demostrara mas adelante con algunas pruebas de laboratorio, no hay ningún problema para poder maquinarse los extremos de la tubería como:

1. Recalcadas (MIJ).
2. Formadas o Semilisas (Semiflush, SLH)
3. Lisas o Integrales (Flush, IFJ)
4. Acopladas (MTC)

**Recalcadas (MIJ):** Se incrementa el espesor y diámetro exterior de la tubería en uno o en ambos extremos en un proceso de forja en caliente, a los que posteriormente se les aplica un relevado de esfuerzos.

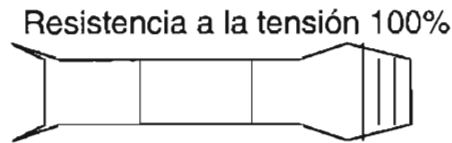


Figura 12. Conexión del tipo recalcada.

**Formadas o Semllisas (SLH):** El extremo piñón es suajado (cerrado) y el extremo caja es expandido en frío sin rebasar el 5% en diámetro y el 2% en espesor, aplicando un relevado de esfuerzos posterior.

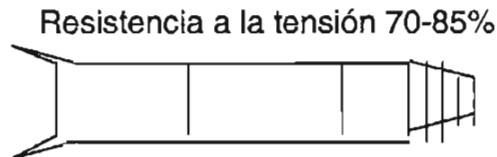


Figura 13. Conexión Formada (Suajada)

**Lisas o Integrales (IFJ):** Se maquilan las roscas directamente sobre los extremos del tubo sin aumentar el diámetro exterior del mismo.

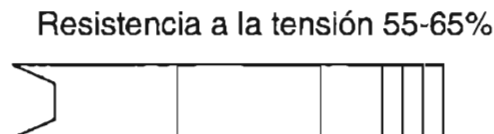


Figura 14. Conexión Lisa (Integral)

**Acopladas (MTC):** Se maquila un piñón en cada extremo del tubo y se le enrosca un cople o una doble caja, quedando el tubo con un piñón de un extremo y caja el otro extremo.

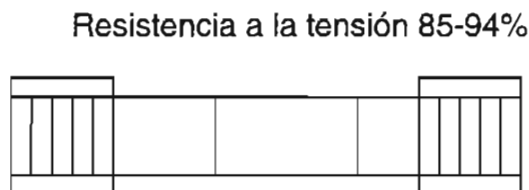


Figura 15. Conexión acoplada.

## 1.2 Sin costura.

La producción de tubería se realiza mediante la fusión de hierro esponja y chatarra seleccionada en un horno eléctrico de 170 toneladas por colada, capaz de fundir a un tiempo promedio de 105 minutos.

El **hierro esponja** es el mineral de hierro; siendo un óxido de hierro molido (polvo) utilizado en el proceso cuando el % de hierro es menor al carbón. De la misma manera, se dice que el acero es efervescente cuando contiene alta cantidad de acero libre en el proceso; por lo que se le agrega aluminio.

El sistema consiste en vaciar la materia prima en el fondo de la olla, básicamente un 30% de hierro esponja y un 70% de chatarra.

La acería es un proceso que consta de 3 etapas: fusión, afinación y vaciado.

**Fusión:** La materia prima y las ferro-aleaciones se calientan hasta alcanzar una temperatura cercana a los 1620 °C, en este punto el acero se encuentra en estado líquido, la inyección de argón se realiza por la parte inferior de la olla de fusión, con la finalidad de homogenizar la composición química del acero.

**Afinación:** Después de realizar el vaciado de la olla de fusión a la olla de afinación, con precisión, se realiza la afinación del acero mediante la adición de aleaciones, obteniendo el grado de acero requerido.

**Vaciado:** Posteriormente, el acero de la olla de afinación es llevado y vaciado al distribuidor para obtener la colada continua.

**Colada continua:** El distribuidor de la colada continua ha sido diseñado con deflectores especiales que evitan la turbulencia, con el propósito de obtener las barras de sección redondas, que finalmente son cortadas en secciones de longitud conocida, dependiendo del diámetro de la tubería que se fabricará, comúnmente llamada "tocho".

**Laminado:** El tocho entra al horno giratorio, que contiene nueve zonas de calentamiento, donde se alcanzan temperaturas de 1200 °C en forma gradual.

Al salir del horno, se envía al desescamador para eliminar la oxidación que sufre al contacto con la atmósfera y se procede al perforado. Se obtiene un esbozo cilíndrico. Este proceso es fundamental en la fabricación de tuberías sin costura y es llamado "**Proceso Mannesmann**". Este esbozo se envía al mandril que contiene un lubricante (bórax), el cual es introducido al laminador continuo, que pasa a través de siete jaulas y calibradores.

Ahí es donde se hace el tubo. Se obtienen longitudes de hasta 30 metros, con diámetros interiores y exteriores precisos, cumpliendo con las tolerancias permitidas API. A la salida del calibrador, el diámetro y la ovalidad son verificados por medio de rayos láser y posteriormente el tubo es enviado a las cortadoras para dar el rango solicitado. Por último, se envía al piso de enfriamiento.

Tratamiento Térmico: Trabajan tres tipos, temple, revenido y normalizado.

Temple: El tubo es llevado a un horno. Se aumenta la temperatura hasta 860°, esto modifica la estructura molecular del acero a una austenita. Posteriormente, el tubo se sumerge súbitamente en agua a una temperatura de 40 °C, alterando la estructura molecular a una martensita, la cual es dura y poco dúctil.

Revenido: La tubería es introducida a un horno que calienta gradualmente su temperatura hasta 550° C. El calor convierte la estructura molecular en una martensita revenida, que es dura y dúctil. Posteriormente es recalibrado y enderezado en caliente.

Normalizado: Es usado para los otros grados como: **H-40, J-55, K-55**, etc. En este tratamiento el tubo es calentado sin llegar a la **austenización**.

Acabado del tubo: Se realiza bajo la siguiente secuencia:

Pruebas de Inspección electromagnética donde se detectan defectos longitudinales y transversales , internos y externos. Así mismo se mide el espesor de la pared del cuerpo del tubo y se compara el grado de acero.

Posteriormente se cortan los extremos del tubo y se le maquinan los biseles. Para eliminar la rebaba se sopletea el interior del tubo y se introduce el calibrador (mandril o drift) a todo lo largo del tubo.

Inspección electromagnética por el método de vía húmeda: Debido a que en los extremos de la tubería llevará la mayor carga, ambos extremos son inspeccionados por el método de partículas magnéticas para determinar posibles defectos longitudinales y transversales.

Roscado: Se realiza de acuerdo con las normas del **API**, las cuales son verificadas con calibres estrictos.

Prueba hidrostática: El tubo se sumerge en una tina que contiene fluido y se colocan elastómeros en ambos extremos del tubo, donde se aplica una presión interna del 80% de su capacidad durante cinco segundos, de acuerdo con la normas del API 5CT.

Control Final: Finalmente, el tubo se pesa y se mide .

## Procesos de fabricación.

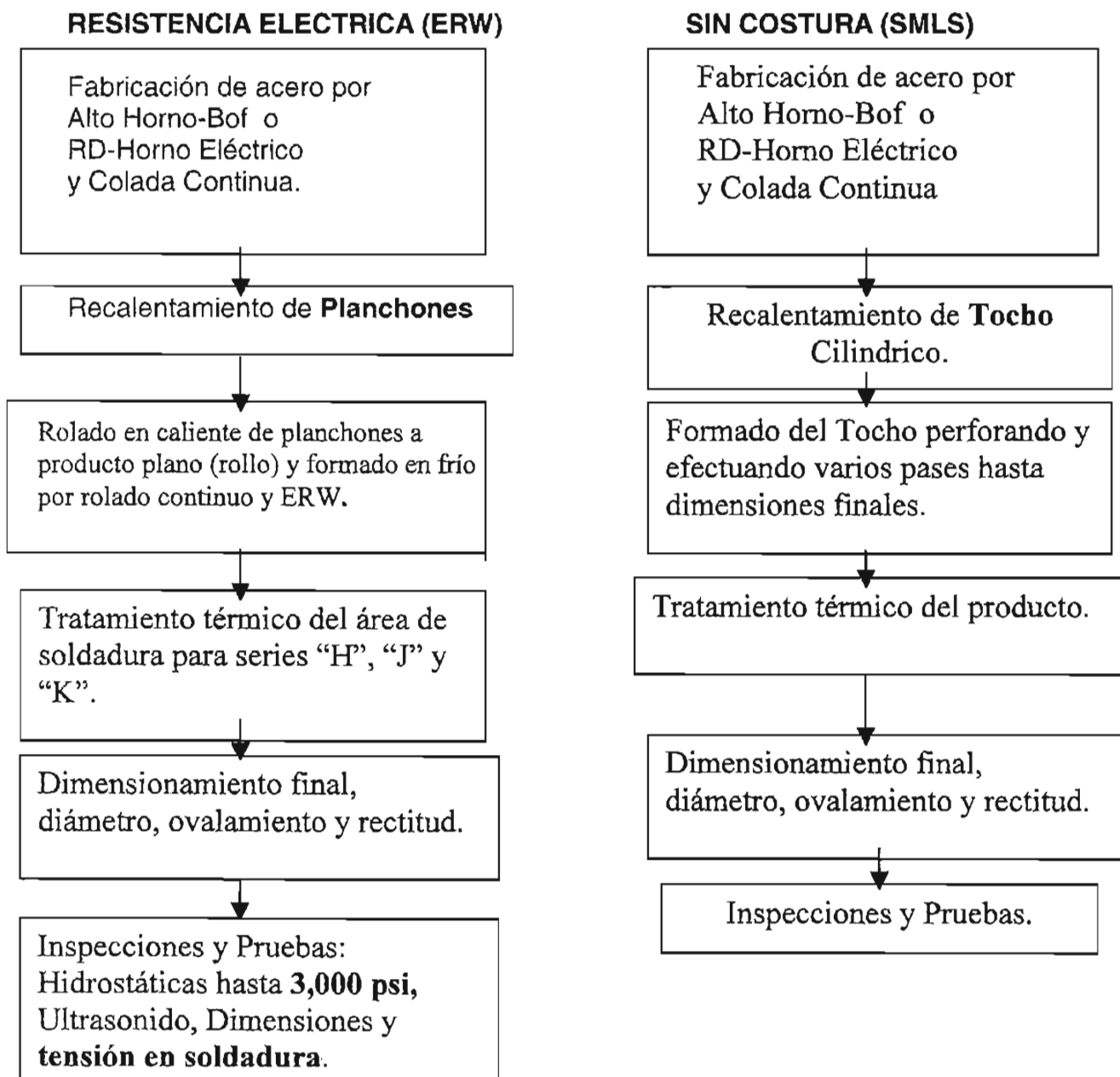


Fig. 16 Muestra las diferencias entre las tuberías (ERW) y (SMLS) en su proceso de fabricación.

## **II.- API 5CT, su análisis.**

Estandariza los requerimientos técnicos de la Tubería de Revestimiento mediante especificaciones, en el punto 5.1.2 de la edición de abril de 1995 establece que para los Grados de la Norma H-40, J-55, K-55; N-80, L-80 tipo 1, C-95, P-110 y Q-125, la tubería puede ser fabricada por el proceso con costura, por el método de Soldadura por Resistencia Eléctrica (ERW), o sin costura (SMLS).

Los diversos grupos y grados de tubería especificados en la norma se basan en la fabricación de acero de grano fino. Este contiene uno o más elementos refinados como: aluminio, vanadio, columbium, y titanio, entre más resistente sea el acero puede ser el resultado de contener un grano muy fino de austenita.

### **II.1 Propiedades del acero.**

El acero que se utiliza como materia prima para la fabricación de tubería por cualquiera de sus procesos, depende básicamente de los elementos que lo componen. El acero es un metal refinado, se divide en ordinario y especial. Los ordinarios contienen tres elementos principales: hierro, carbono y manganeso, los especiales son como los ordinarios, pero se les agregan otros elementos tales como: níquel, cromo, molibdeno, cobre, vanadio y tungsteno y pueden tratarse térmicamente para producir una gran variedad de micro estructuras y propiedades.

Los diferentes porcentajes de hierro y carbono existentes en el sistema constituyen los compuestos que determinan sus propiedades específicas, y que pueden variar de acuerdo al tratamiento térmico, estos compuestos pueden ser, Austenita, Ferrita, Cementita, Perlita, Troostita, Bainita, Martensita y Sorbita.

Los tratamientos térmicos más importantes son:

- ◆ Templado
- ◆ Revenido
- ◆ Normalizado
- ◆ Recocido

El valor de cedencia de un tubo se mide en unidades de fuerza por unidad de área (psi). La nomenclatura recomendada por **API** para identificar los diferentes tipos de acero se define por una letra seguido por un número.

La letra simboliza el tipo de acero y el número la magnitud de la cedencia del material expresada en miles de libras por pulgada cuadrada (psi).

Menciona las juntas y conectores estándar fabricados bajo el mismo tratamiento para revestimiento y de línea y que pueden ser usadas de igual manera para ERW y SMLS, principalmente para los grupos 1,2 y 3.

Sin embargo para juntas o conectores fabricados en un proceso de diferente tratamiento térmico al tubo no será aceptable su utilización.

Define a la tubería sin costura como un tubular hecho al acero forjado, fabricado sin costuras. Fabricación hecha mediante un trabajo de calentamiento del acero y subsecuentemente un proceso de diferentes enfriamientos, dándole forma, dimensiones y ciertas propiedades con la ayuda de un mandril.

La tubería con costura soldada con el sistema de resistencia eléctrica la define como un tubular formado por la soldadura longitudinal de una placa bajo el sistema ERW, un inductor en la línea de soldar que la normaliza, manteniendo una temperatura constante de 1000° F para conservar la estructura y no dejar residuos de martensita que es isotérmica y es la que pudiera hacer variar la estructura del acero, y al ser aprisionada esta placa por un mecanismo de rodillos que actúan sobre ella presionándola a unirse queda perfectamente soldada por un material de la misma composición.



## II.2 Química Requerida.

Para la fabricación de las tubería con y sin costura mencionadas se requiere de ciertos elementos que debe componer el acero, estos se muestran en la tabla. 4

Tabla. 4 Muestra la química recomendada por el API al acero para la fabricación de tubería.

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)		(7)		(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
			Carbon		Manganese		Molybdenum		Chromium		Nickel	Copper	Phosphorous	Sulfur	Silicon	
Group	Grade	Type	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	
1	B40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	—	
	J55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	—	
	K55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	—	
	N80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	—	
2	M65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	—	
	L80	1	—	0.43 <sup>a</sup>	—	1.90	—	—	—	—	—	0.25	0.35	0.030	0.030	0.45
	L80	9Cr	—	0.15	0.30	0.60	0.90	1.10	8.00	10.00	0.50	0.25	0.020	0.010	1.00	
	L80	13Cr	0.15	0.22	0.25	1.00	—	—	12.00	14.00	0.50	0.25	0.020	0.010	1.00	
	C90	1	—	0.35	—	1.00	0.25 <sup>b</sup>	0.75	—	1.20	0.99	—	0.020	0.010	—	
	C90	2	—	0.50	—	1.90	—	N.L.	—	N.L.	0.99	—	0.030	0.010	—	
	C95	—	—	0.45 <sup>c</sup>	—	1.90	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030	0.45	
	T95	1	—	0.35	—	1.20	0.25 <sup>d</sup>	0.85	0.40	1.50	0.99	—	0.020	0.010	—	
T95	2	—	0.50	—	1.90	—	—	—	—	0.99	—	0.030	0.010	—		
3	P110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030 <sup>e</sup>	0.030 <sup>e</sup>	—	
4	Q125	1	—	0.35	—	1.00	—	0.75	—	1.30	0.99	—	0.020	0.010	—	
	Q125	2	—	0.35	—	1.00	—	N.L.	—	N.L.	0.99	—	0.020	0.020	—	
	Q125	3	—	0.50	—	1.90	—	N.L.	—	N.L.	0.99	—	0.030	0.010	—	
	Q125	4	—	0.50	—	1.90	—	N.L.	—	N.L.	0.99	—	0.030	0.020	—	

Note: N.L. = No limit. Elements shown must be reported in product analysis.

<sup>a</sup>The carbon content for L80 may be increased to 0.50 percent maximum if the product is oil quenched.

<sup>b</sup>The molybdenum content for Grade C90, Type 1, has no minimum tolerance if the wall thickness is less than 0.700 inch.

<sup>c</sup>The carbon content for Grade C90 may be increased to 0.55 percent maximum if the product is oil quenched.

<sup>d</sup>The molybdenum content for Grade T95, Type 1, may be decreased to 0.15 percent minimum if the wall thickness is less than 0.700 inch.

<sup>e</sup>The phosphorous is 0.020 percent maximum and the sulfur is 0.010 percent maximum for EW Grade P110.

### **III.- Análisis mecánico de la tubería con costura.**

Los procesos de fabricación y grados recomendados por el API son independientes entre sí, en una tubería, su grado o cedencia mínima no dependen del proceso de fabricación, sino de la calidad de los elementos del que se compone su acero.

Una tubería para poder ser evaluada de manera general y correcta debe considerar una serie de características y propiedades que nos ayuden a entender su comportamiento ante una sucesión de esfuerzos para así llegar a un análisis correcto.

#### **III.1 Propiedades Mecánicas requeridas.**

El API, se han abocado a la tarea de reconocer y recomendar prácticas para estandarizar tanto el proceso de fabricación como la medición de su desempeño mecánico o capacidad de resistencia y hasta las prácticas para el buen manejo de los mismos.

La resistencia de un tubo se puede definir como una reacción natural que opone el material ante la imposición de una carga, a fin de evitar o alcanzar los niveles de una falla. Entendiendo como falla cuando un miembro cesa de realizar satisfactoriamente la función para la cual estaba destinado. En el caso de las tuberías colocadas en un pozo, si estas alcanzan cualquier nivel de deformación se debe entender la situación como una condición de falla.

Por lo tanto, una falla en las tuberías es una condición mecánica que refleja la falta de resistencia del material ante la situación y exposición de una carga. Entonces la capacidad de carga puede definirse como aquella amplitud o condición que ofrece una tubería para reaccionar y evitar cualquier tipo de falla o deformación, ante la acción combinada de cargas.

**El concepto fundamental para la selección de tuberías establece “Si cualquier esfuerzo aplicado a la pared de la tubería excede el esfuerzo de cedencia del material, se presentará una condición de falla “.**

Las principales fallas de las tuberías son básicamente, **TENSIÓN, COLAPSO ESTALLAMIENTO Y CORROSION.**

Otro concepto importante es el de cedencia o fluencia, definido como aquella propiedad o condición del material para soportar la deformación elástica, o bien, la resistencia que opone el material a la deformación ante la exposición de una carga.

El **API** ha establecido estándares para medir la cedencia de los aceros con los cuales se fabrican los tubulares denominados **OCTG** (Oil Country Tubular Goods), que no son mas que las tuberías de revestimiento, tuberías de producción y sartas de perforación que se utilizan en la industria petrolera

Para establecer la cedencia de un acero, el **API** recomienda que se realice una prueba de tensión sobre un espécimen. A partir de esta prueba se debe medir la deformación generada hasta alcanzar la fractura del mismo. **Se establece que la cedencia del material es el esfuerzo de tensión aplicado cuando alcanza el 0.5% de deformación.**

Este valor de deformación es ligeramente superior al límite elástico. Este porcentaje es aplicable para los aceros **API H-40, J-55, K-55, N-80, C-75, L-80 y C-95**. Para aceros **P-110 y Q-125**, el API considera una deformación del **0.65%** para establecer la cedencia de estos materiales.

La nomenclatura recomendada por el API para identificar los diferentes tipo de acero se define por una letra seguido por un número. La letra simboliza el tipo de acero, y el número la magnitud de la cedencia del material expresada en miles de libras por pulgada cuadrada (psi).

Debido a que se presentan significantes variaciones en la medición de la cedencia de tuberías, el **API** adoptó el criterio de “resistencia de cedencia mínima” en lugar de un valor promedio. La mínima resistencia de cedencia se calcula como el 80% del promedio de la cedencia observada en una gran cantidad de pruebas realizadas. Adicionalmente a la mínima resistencia a la cedencia, el **API** especifica la máxima resistencia de cedencia y la mínima última resistencia a la tensión. Estas quedan definidas bajo el mismo enfoque del 80% de pruebas realizadas para determinar la máxima cedencia y el valor de tensión última con la cual se fractura el material, como se observa en la tabla 5.

Tabla. 5 Relación de grados de tubería API.

Grado	Cedencia Mínima	Ultima Resistencia	Grado	Ultima Resistencia
H-40	40,000	60,000	C-95	105,000
J-55	55,000	60,000	Q-125	145,000
K-55	55,000	65,000	E-75	95,000
N-80	80,000	95,000	X-95	115,000
L-80	80,000	90,000	S-135	155,000
P-110	110,000	125,000	C-95	105,000
C-75	75,000	95,000	P-105	120,000
T-95	95,000	105,000	G-105	120,000

Para fines de diseño, el criterio de mínima resistencia de cedencia es el que debe de adoptarse, a fin de garantizar, con un margen de seguridad, la resistencia del material.

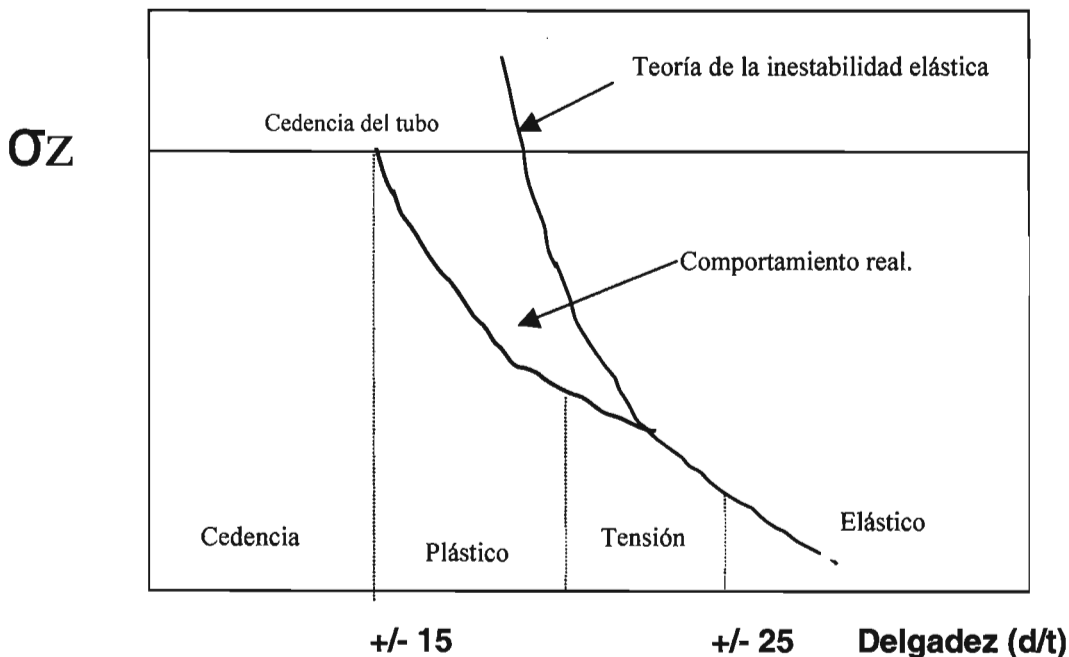
### III.1.1 Falla por Colapso.

Esta falla es una condición mecánica y se origina por el aplastamiento de una tubería por una carga de presión. Esta actúa sobre las paredes externas de la misma y es superior a su capacidad de resistencia.

**Esta falla depende de diversos factores propios de la naturaleza de fabricación del tubo, la cedencia del material, la geometría, imperfecciones (excentricidad y ovalidad) y la condición de esfuerzos en la tubería.**

A través de una extensa serie de pruebas realizadas en tuberías el **API** ha demostrado el comportamiento de la falla por colapso de las tuberías. La figura. muestra las diferentes condiciones de falla por colapso para un amplio rango de diámetros/espesores de tuberías (esbeltez o delgadez).

Figura. 17 Comportamiento del colapso.



La primera zona es denominada presión de colapso por cedencia, en la cual el material es fuertemente dependiente de la cedencia del material, en virtud de que se ha comprobado que los esfuerzos tangenciales generados en la periferia interior del tubo, alcanza al valor de cedencia. Se presenta para tuberías de diámetro grande ( $> 7 \frac{5}{8}$ ").

La segunda denominada plástica es la que se presenta posterior a la de cedencia que obedece a la naturaleza propia de deformación del tubo, posterior una etapa de transición llamado de tensión y por ultimo una etapa llamada elástica reproducido mediante la teoría clásica de la elasticidad y se presenta en tuberías con esbeltez mayor a 25. Es decir, tuberías de diámetro pequeño (< a 7").

Las ecuaciones de colapso adoptadas por el API para determinar la resistencia al colapso son:

**Colapso de cedencia.**- Basado en la cedencia y en el espesor de la tubería usando ecuaciones de Lamé para solución elástica, aplicada a relaciones de espesor  $D/t < 15$

$$P_{yp} = 2Y_p[(D/t) - 1/[(D/t)^2]]$$

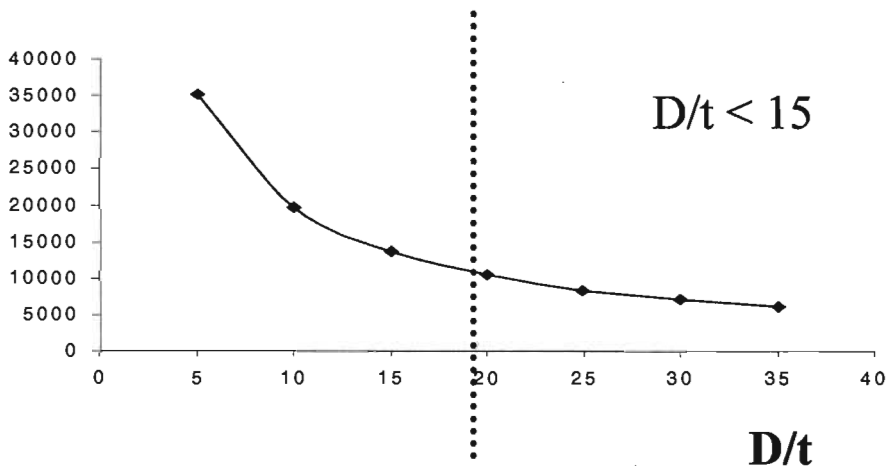


Fig. 18 Gráfica de Colapso de cedencia vs Delgadez

**Colapso plástico.**- El calculo de este tipo de colapso esta basado en 2488 pruebas de laboratorio utilizando tuberías K-55, N-80 y P-110 y presenta una confiabilidad del 95%

$$P_p = Y_p[A/(D/t) - B] - C$$

Los valores de las constantes A,B,C para un rango de D/t se encuentran en tablas.

**Colapso transicional o de tensión.-** Es obtenido por una curva numérica ubicada entre el régimen elástico y plástico.

$$P_t = Y_p [F / (D/t) - G]$$

Los valores de las constantes F, G para un rango de D/t se encuentran en tablas.

**Colapso elástico.-** Basado en la teoría de falla por inestabilidad elástica, este criterio es independiente del esfuerzo de cedencia del material y aplicable a espesores de pared  $D/t > 25$

$$P_E = 46.95 \times 10^6 / ((D/t) [(D/t) - 1]^2)$$

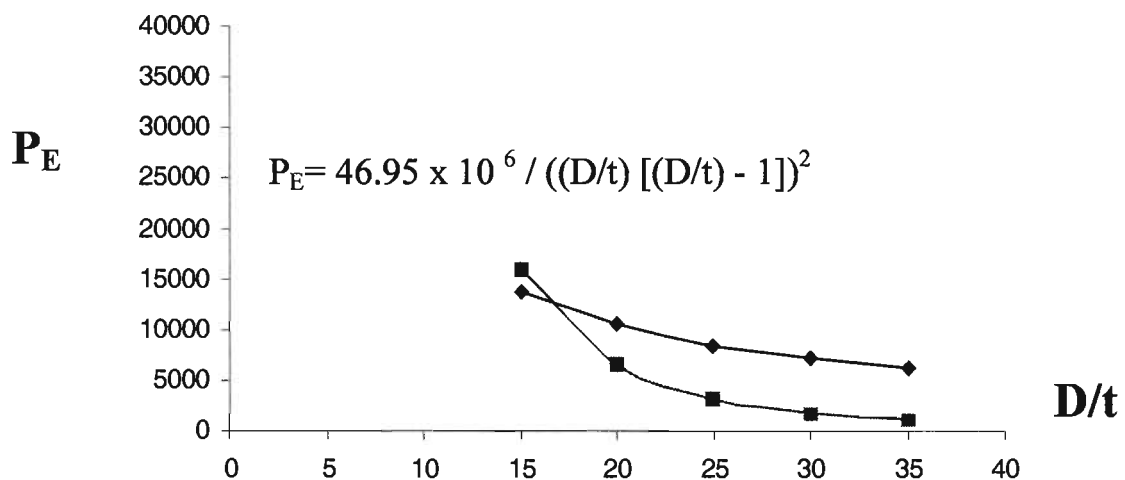


Fig. 19 Colapso elástico vs Delgadez

### III.1.2 Falla por Tensión.

Para establecer la cedencia de un acero, el API recomienda que se realice una prueba de tensión sobre un espécimen. A partir de esta prueba se debe medir la deformación generada hasta alcanzar la fractura del mismo. Se establece que la cedencia del material es el esfuerzo de tensión aplicado cuando alcanza el 0.5% de deformación.

La resistencia a la falla por tensión de una tubería se puede determinar a partir de la cedencia y del área de la sección transversal, considerando la mínima cedencia del material para este efecto.

$$RT = 0.7854 (d_e^2 - d_i^2) Y_p$$

### III.1.3 Falla por Estallamiento.

Esfuerzo o presión de ruptura. (lbs/ pg<sup>2</sup>)

Cuando la tubería de revestimiento esta expuesta a una presión interna mucho mayor que la externa se dice que la tubería esta expuesta a una presión de ruptura (Burst).

$$P = 0.875[2Y_p t / D]$$

P = Presión interna mínima de cedencia (psi)

Y<sub>p</sub> = Mínimo esfuerzo de cedencia (psi)

t = Espesor nominal ( pg )

D = Diámetro externo ( pg )

Para tubería P-110

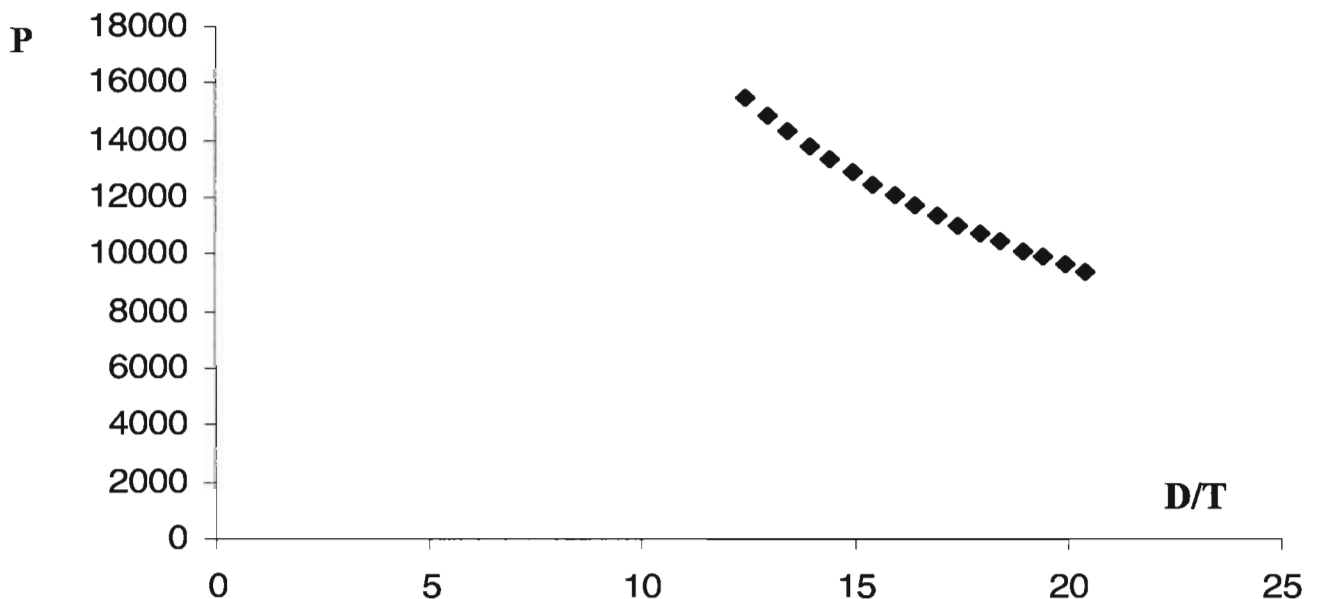


Fig. 20 Grafica de Cedencia por estallamiento vs Delgadez.

### III.1.4 Corrosión.

La NACE institución de investigación y normativa ante el problema de corrosión, recomienda el uso de grados de acero API como son H-40, J-55, K-55, N-80, C-95, P-105, P-110 Y Q-125, pero, cada uno de estos se utilizaran de acuerdo a su temperatura de operación, como se muestra en la Tabla 6 .

Tabla 6 Grados de acero recomendados por la norma NACE para trabajar en H<sub>2</sub>S de acuerdo a su temperatura de operación.

Para toda Temperatura	Temperatura de operación		
	65 °C (150 °F) ó mayor.	80 °C (175 °F) ó mayor.	>=107 °C (>=225 °F) ó mayor.
H-40, J-55, K-55, C-75 Y L-80	N-80 Y C-95.	H-40, N-80, P-105 , P-110	Q-125.

La norma NACE nos indica que la corrosión por presencia de H<sub>2</sub>S se inicia a temperaturas próximas a los 65 °C, si la temperatura aumenta, la intensidad de este fenómeno se reduce, debido a que se disminuye la solubilidad del H<sub>2</sub>S en el agua, y además se reduce la velocidad de reacción provocada por el ingreso del hidrógeno a la red cristalina del acero hasta encontrar sitios en donde pueda anidar, siendo éstos las inclusiones alargadas de sulfuro de manganeso, porosidades, fases duras, etc.

Otros autores han indicado que para evitar problemas de rompimiento por H<sub>2</sub>S debe de considerarse un rango de temperatura superior a los 65 °C, el cual puede ser de 80 a 93°C.



### **III.2 Características principales en las tuberías de revestimiento.**

Una manera práctica de visualizar la calidad de un tubo, es sin duda evaluar y reconocer las características principales del mismo, la recomendación API 5CT no hace mención específica sobre alguna diferencia de importancia entre el proceso con costura (ERW) y el de sin costura, estas características son:

- Diámetro Nominal
- Peso Nominal
- Grado
- Drift
- Resistencia a la Tensión
- Resistencia al Colapso
- Resistencia al Estallamiento

Para la fabricación precisa del diámetro nominal en el proceso con costura se cuenta con un sistema computarizado que ordena el corte de los bordes del rollo de manera exacta, antes de iniciar el proceso y de acuerdo a lo programado.

Una diferencia entre los procesos de fabricación de tubería, es que en el proceso con costura se inicia con planchones o cilindros cuadrados, que son los que formaran una lamina en rollo de acuerdo a espesor y libraje debidamente programado. El grado como ya hemos mencionado depende de los elementos que compone el acero, y este puede ser fabricado tan resistente como se quiera para ambos procesos. En el de fabricación con costura se utiliza un sistema de uña que recupera los ligeros bordes de soldadura tanto interior como exterior, permitiendo el paso libre interior de las mismas dimensiones de una tubería sin costura. Al mismo tiempo mediante pruebas de laboratorio se evalúan la tensión y el estallamiento que son función principalmente de la cedencia del material, donde el colapso depende de la excentricidad y la ovalidad.

### **III.3 Comparativo de las características de tubería con costura (ERW) y sin costura (SEAMLESS)**

Con la intención de corroborar y evaluar de manera práctica las características principales de una tubería por estos dos procesos de fabricación, con costura y sin costura, la compañía Tubacero realizó una serie de pruebas para los grados H-40, J-55 y K-55, recomendados por el API 5CT. realizando la siguiente tabla comparativa.

Tabla. 7 Comparativo de las características de tubería con costura (ERW) y sin costura (SEAMLESS) en los grados H-40, J-55 y K-55.

	ERW	SEAMLESS
1.- Diámetro Nominal	Similar	Similar
2.- Peso Nominal	Similar	Similar
3.- Grado (Análisis Químico)	Similar	Similar
4.- Rectitud	Similar	Similar
5.- Excentricidad	<b>Mejor Control</b>	<b>Menor Control</b>
6.- Espesor	<b>Mayor Uniformidad</b>	<b>Menor Uniformidad</b>
7.- Drift	Similar	Similar
8.- Resist. Tensión	Similar	Similar
9.- Resist. Colapso	Similar	Similar
10.- Resist. Estallamiento	Similar	Similar
11.- Resistencia a la Corrosión ( HIC) y Gas Amargo	Similar	Similar

Nota: Se hizo este comparativo para los grados mencionados porque además de ser algunos considerados en el API 5CT, son con los que la compañía contaba de momento.

Tabla 1.

Procesos de fabricación y tratamientos térmicos para tubería de revestimiento con costura y producción según API 5CT.

GRUPOS	GRADOS	TIPO	PROCESO DE FABRICACION	Tratamiento Térmico.	Temp. (°F)
1	H-40		SMLS O ERW	Ninguno	-----
	J-55		SMLS O ERW	Ninguno	-----
	K-55		SMLS O ERW	Ninguno	-----
	N-80		SMLS O ERW	Ninguno	-----
2	L-80	1	SMLS O ERW	Templado y Revenido	1050
	C-95	1	SMLS O ERW	Templado y Revenido	1000
3	P-110		SMLS O ERW	Templado y Revenido	-----
4	Q-125	1	SMLS O ERW	Templado y Revenido	-----

Para el proceso de fabricación de tuberías con costura (ERW) y sin costura (SMLS) se cumplen las características recomendadas por el API 5CT como se muestra en la tabla 1 .

### III.4 Tipos de Pruebas.

Con la intención de llevar un control y verificar la calidad de fabricación de estos tipos de tubería, se someten estas de manera constante a la realización de pruebas de laboratorio tanto destructivas como no destructivas, como las que se mencionan a continuación, donde se toman muestras o especímenes tal como se indican en las recomendaciones API 5CT.

Para el análisis mecánico de la tubería de revestimiento con costura se realizaron pruebas destructivas y no destructivas en la Cía. TUBACERO. (Ver anexo I)

#### PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

- Análisis químico.
- Análisis Metalográfico
- Pruebas físicas que incluyen
  - Aplastamiento
  - Tensión
  - Impacto CVN
  - Drop Weight Tear Test (DWTT)
  - Doblez
  - Dureza
  - Hidrogen Induced Cracking (HIC)

## **PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

- Inspección Visual y Dimensional.
- Prueba Hidrostática
- Raxos X
- Ultrasonido
- Partículas Magnéticas
- Líquidos penetrantes.

El Instituto Americano del Petróleo (A.P.I), que constituye el organismo internacional que estandariza los requerimientos técnicos de la Tubería de Revestimiento mediante especificaciones API 5CT, en el punto 5.1.2 de la edición de abril de 1995 recomienda que para los Grados H-40, J-55, K-55; N-80, L-80 tipo 1, C-95, P-110 y Q-125, la tubería puede ser fabricada por el proceso con costura, por el método de Soldadura por Resistencia Eléctrica (ERW), o sin costura (SMLS).

**Después del análisis mecánico se demuestra que no existe objeción técnica alguna para no usar la tubería de revestimiento con costura (ERW), que el API 5CT no manifiesta alguna consideración especial para tratar a la tubería con costura (ERW) de una manera diferente.**

#### **IV.- Análisis económico para el uso de tuberías de revestimiento con costura (ERW).**

El siguiente análisis tiene la intención poner de manifiesto que tanto ahorro pudiera obtenerse con la utilización de esta tubería y cuanto representaría por el gran total de pozos programados en nuestro país.

#### **IV.- 1 Datos Económicos Internacionales.**

Después de visualizar la información proporcionada por las revistas americanas Preston Pipe Report y Pipe Logix se hace público el ahorro sustancial del costo promedio de un 15% utilizando tubería (ERW). Otra pregunta sería también si existe en México alguna empresa que pudiera ofrecer el servicio, por lo que a continuación se mencionan las principales compañías fabricantes y distribuidores en México de tuberías con costura:

##### **TUVANSA.**

Tiene la distribución de casi la totalidad de las fábricas de tubería con costura, en rangos de 1/8" hasta 60" de diámetro en sus diferentes espesores.

##### **HYLSA, S.A DE C.V. (DIVISIÓN ACEROS TUBULARES )**

Dedicada a la fabricación de tubería de acero al carbón con costura longitudinal por el proceso de resistencia eléctrica de alta frecuencia (ERW).

Cuenta con 4 líneas de producción, fabrican tubería bajo las normas ASTM-A-53 tanto en acabado negro como galvanizado y con extremos lisos o roscados en el rango de 1/2" a 6" de diámetro en cédulas 40 y 80. Cuenta con la certificación ISO 9002.

##### **PROCARSA, S.A DE C.V.**

Fabrica de tubería de acero al carbón con costura longitudinalmente, soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia sin material de aporte (ERW/HFI). Tiene un rango de producción de 2 3/8" a 4 1/2" en su planta No.1 y de 5 9/6" a 20" en su planta No.2. Los espesores de la tubería que se fabrican van desde hasta 0.500" en Grados de acero X-70 y menores. Cuentan con certificaciones ISO 9001/9002, API Q-1, API -5L y 5CT.

##### **TUBERÍA LAGUNA, S.A DE C.V.**

Fabrica de tubería de acero al carbón con costura soldada por el método de resistencia eléctrica de alta frecuencia (ERW). Capacidad instalada para producir 10,000 toneladas métricas mensuales de tubería de 6" a 24" de diámetro en espesores de 0.188" hasta 0.375" en longitudes de 6.10 a 12.20 m. En las normas de API-5L Grado B, X-42, X-46, X-52; ASTM-A-53 Grado B.

## **TUBACERO, S.A DE C.V**

Empresa privada 100% Mexicana fabricante de tubería de acero al carbón soldada longitudinalmente. Capacidad instalada para producir 30,000 toneladas mensuales, distribuidas en 5 plantas en una superficie de 440,000 metros cuadrados, de tubería de acero al carbón en diámetros de 6.625" hasta 150" en espesores desde 0.156" a 2.5". Tubacero fabrica sus productos bajo las siguientes normas; ASTM-A-53, A-134, A-135, A-139, A-523, A-252, A-500, API-5L, **5CT** y otras.

Tubacero esta aprobada por la norma ISO 9002.

Tabla 8 Normas API empleadas por Tubacero para su fabricación.

NORMA		TITULO
API	5 L	Especificada para Tubería . de línea (Grado A a X-80)
API	5 CT	Especificada para Tubería de Revestimiento Grupo I, (H-40,J-55)

De estadísticas de 1997, el consumo estimado a nivel mundial de tubería ERW CASING, fue de 987,000 ton, para aplicaciones en pozos submarinos y terrestres en los siguientes grados como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9 Consumo estimado a nivel mundial de tubería ERW.

GRADO	TONELADAS
H-40	133,173
J-55	163,813
K-55	450,364
L-80	170,250
X-56	5,000
T-95	10,000
OTROS	54,400
<b>TOTAL</b>	<b>987,000*</b>

Preston Pipe Report\*

## Aplicación Internacional de Tubería ERW.

Es sin duda alguna, un hecho que tan buena es la tubería de revestimiento con costura (ERW), que en varios países petroleros ya se utiliza esta con excelentes resultados y ahorros considerables.

Tabla 10

Aplicación Internacional de Tubería ERW "Casing" Agosto de 1997.

Compañía	Nación	Uso	Grado	Diámetro	Cantidad Peso ( ton/metro)
AEDC VIETNAM. LTD	VIETNAM	0	L-80	7", 9", 13"	1,100
AMOCO	TRINIDAD	0	L-80	16"	150
AL-FURAT PETROLEUM	SIRIA		K-55	13"	6,587
			L-80	13"	2,532
ARABIA OIL .COMF	ARABIA	0	L-80	7", 13"	3,490
ARCO	CHINA	0	K-55	13"	1,450
ASAMERA OIL	INDONESIA	0	J-55	7", 9"	409
			J-55	9"	26
ATLANTIC RICHFIELD	SINGAPUR		N/A	7",13"	524
BG EGYPT S.A	ARB REP.		K-55	13"	487
			L-80	9", 13"	1,481
B.O.C	CHINA	0	L-80	13"	810
BPX	USA/ALAS KA		L-80	13"	4,747
			L-80	9", 10"	9,604
CAMPEES SINGAPORE	SINGAPUR		L-80	7", 9",13"	816
CHINA OIL	CHINA		J-55	13"	5,300
			K-55	5", 10", 13"	57,115
			K-55	9"	3,000
			L-80	13"	12,850
			T-95	9"	1,000
ESSO	MALASIA		K-55	13"	953
GAZCOMPLEK TIMPEX	RUSIA		K-55	6"	4,160
GB TUBULARS INC.	USA		L-80	16"	215
GULF OF SUEZ PETRO	ARB	0	L-80	13"	490
HUALING PETROLEUM	CHINA		K-55	13"	5,500

Compañía	Nación	Uso	Grado	Diámetro	Cantidad Peso ( ton/metro)
JAPAN VIETNAM PETR	VIETNAM	0	L-80	13"	1,321
	SINGAPU		L-80	13"	2,213
JAPEX OMAN	SINGAPU OMAN		J-55	13"	1
			J-55	13"	146
JHN OIL OPERATING	CHINA		K-55	13"	390
			L-80	9"	305
JT OIL OPERATING	CHINA		L-80	7",9",13"	983
KARAMAY OIL FIELD	CHINA		K-55	13"	2,000
ADMA APCO	UAE	0	J-55	13"	2,964
ADCO	UAE		K-55	13"	11,175
			K-55	13"	494
			L-80	13"	392
MID-CONTINENT	SINGAPUR		K-55	13"	1,099
			L-80	13"	309
	UAE		K-55	13"	494
	AUSTRALIA		K-55	13"	49
MOGE	SINGAPUR		J-55	9"	726
MTP	USA		L-80	16"	860
MYANMAR OIL AND GAS	MYANMAR		J-55	9"	908
			L-80	9"	1,339
NHWOC	CHINA	0	L-80	13"	3,049
OIL. CO. OF AUSTRALIA	AUSTRALIA		K-55	7",9"	957
PETRONAS CARIGALI	MALASIA	0	K-55	13"	5,344
PHILLIPS	U.K	0	L-80	13"	1,729
P/O MANGISTAUMUNA	KAZAH		L-80	7"	1,050
P.O.G.C	POLONIA		J-55	13"	636
P. T CITRA TUBINDO	INDONESIA		H-40, K-5	7",9", 13"	6,148
				N/A	9"
	SINGAPUR		J-55	7"	82
			N/A	13"	266
QARUM PETROLEUM CO.	ARB		K-55	13"	494
SHELL	BRUNEI		K-55	13"	1,430
			X-56	13"	990



	OMAN ARB		K-55 K-55	9", 13" K-55	17,454 506
TOTAL KHORAT LIMIT	TAILANDIA		K-55	13"	83
UNION TEXAS PAKIST	PAKISTAN	0	K-55	13"	154
UNOLOCAL	TAILANDIA		K-55 L-80	13" 9"	1,197 8,444
VEGSA CONTRATISTAS	PERU		H-40	9"	25
VIETSOVPETRO	VIETNAM	0	K-55 L-80	12", 13" 13"	2,792 204
YEPC	YEMEN		L-80	9"	2,027

0 = OFF-SHORE

H-40	6,173
J-55	12,927
K-55	25,364
L-80	68,185
X-56	990
T-95	1,000
OTROS	1,544
TOTAL	216,183

Preston Pipe Report\*

## Aplicación, Consumo y Costo de tubería (ERW) en Estados Unidos de América.

De acuerdo al Preston Pipe Report\* la diferencia en costo entre la tubería de revestimiento sin costura (SMLS) y la tubería con costura (ERW) en el primer semestre del año pasado fue del orden del 15.21%, así mismo la diferencia en costo de la tubería de línea fue de 6.3% como se muestra en las tablas y respectivamente.

Tabla 11 Costo en Dolares/Tonelada de TR de Enero a Julio de 1999.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Promedio
ERW	521	520	490	493	497	510	521	507.43
SEAMLESS	603	591	551	575	588	581	603	584.57
Diferencia en Costo Dls/Ton.	82	71	61	82	91	71	82	77.14
Costo	15.74	13.65	12.45	16.63	18.31	13.92	15.74	15.21

Tabla 12 Costo en Dolares/Tonelada de Tubería de línea de Enero a Julio de 1999.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Promedio
ERW	683	689	678	686	693	712	727	695.43
SEAMLESS	721	743	732	739	746	743	749	739.00
Diferencia en Costo Dls/Ton.	38	54	54	53	53	31		43.57
Costo	5.56	7.84	7.96	7.73	7.65	4.35	3.03	6.30

Preston Pipe Report\*

Tabla 13 Producción de Tubería de Revestimiento (ERW) en Estados Unidos.

Principales Compañías	Producción Total (ton/año)	
	1998	1999
IPSCO		
MAVERIK	632,307	468,888 (Octubre)
LONE STAR		

Preston Pipe Report\*

Las siguientes compañías petroleras perforadoras en los Estados Unidos de América, en la región de Texas tienen un consumo de 20 millones de dólares al año de tubería soldada ERW estas son:

- El Paso Natural Gas
- Pyramid
- Séneca
- Newfield oil & gas
- Pioneer Natural Resource
- Samedan Oil Corporation
- Southwestern Energy Whitmar

En el año 2000 se observó un incremento del 41.5% en la actividad de perforación con respecto al año de 1999 y dicha actividad en lo que va del año 2001 ha mantenido una carrera ascendente registrando un aumento del 15.7 % hasta junio de este año.

En el sur del estado de Texas entre otras áreas, particularmente en el área conocida como "Arenas de Trend Lobo" se utiliza tubería soldada ERW casing para la instalación y explotación de pozos, cuya profundidad varia entre los 2000 a 3200 m, los diseños utilizados por las compañías petroleras pueden variar entre el tipo de pozo convencional y el tipo de pozo "tubingless". figura 22.

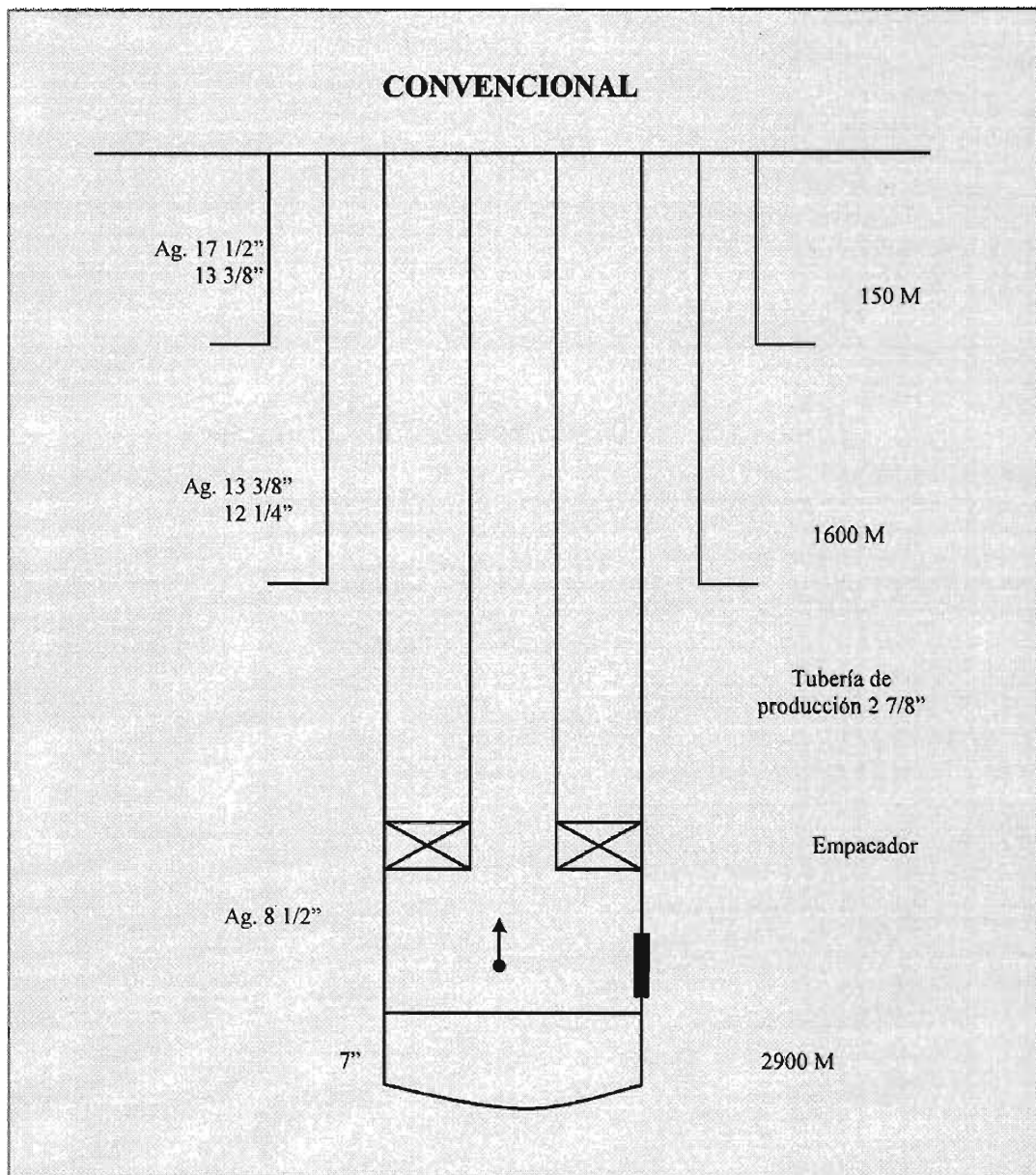


Figura. 21 Geometría promedio de pozos del sur de Texas.

# TUBINGLESS

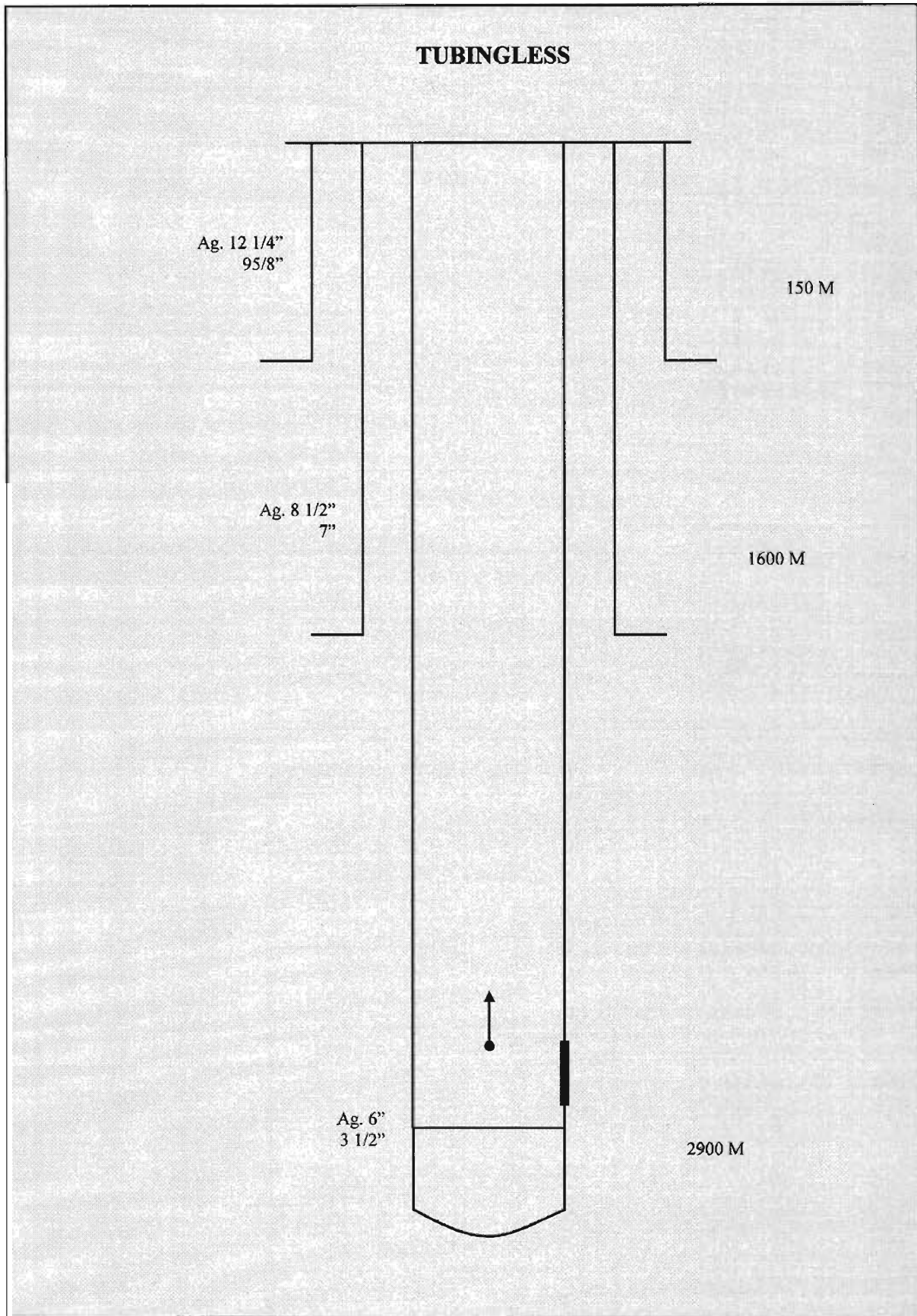


Figura 22. Geometría promedio de pozos del sur de Texas.

La designación de la tubería soldada ERW que utilizan dichas compañías en la perforación y explotación de pozos, son las siguientes:

Tabla 14 Diámetros principales que usan otras compañías

Diámetro	Peso (lb/ft)	Espesor	Grado	Tipo de Rosca
7"	29	0.408"	P-110	LTC
7 5/8"	29.7	0.375"	P-110	LTC
9 5/8"	53.5	0.545"	P-110	LTC
10 3/4"	45.5	0.400"	J-55	BTC
13 3/8"	68	0.480"	J-55	BTC

Las cifras del consumo en los Estados Unidos tanto en tubería soldada ERW como sin costura se indica en la siguiente tabla. Aquí se observa claramente un incremento paulatino del consumo de tubería soldada ERW desde 1998 acentuándose en el mes de mayo de 2001 con un 56% contra 43.5% de tubería sin costura.

Tabla. 15 Cifras del consumo en los Estados Unidos tanto en tubería soldada ERW con o sin costura.

Mes /año	ERW Doméstica	Cons. %	ERW Importada	Cons. %	Total ERW %	Sin Costura Doméstica	Cons. %	Sin Costura Importada	Cons. %	Total Sin C. %
May '01	129,565	40.0	53,292	16.5	56.5	104,833	32.4	35,837	11.1	43.5
Apr '01	102,887	34.0	27,468	9.1	43.1	106,631	35.2	65,331	21.6	56.8
Año '01	555,032	37.6	169,517	11.5	49.1	518,532	35.1	233,005	15.8	50.9
Año '00	440,514	40.3	69,165	6.3	46.6	397,337	36.4	185,823	17.0	53.4
Año '99	468,888	47.5	46,867	4.7	52.2	404,157	41.0	67,002	6.8	47.8
Año '98	632,307	37.7	126,866	7.6	45.3	719,774	42.9	198,190	11.8	54.7

## Arreglos y Costos de tuberías de revestimiento que se están utilizando en la Cuenca de Burgos para pozos someros e intermedios.

Como se muestra en las tablas 16, 17 y 18 los costos de tubería de revestimiento de mayor diámetro, nos proporciona un ahorro mayor, por ejemplo, para el caso de una tubería de 9 5/8" se tiene un ahorro del 9.91% y un 3.91% para el caso de tubería de 7". De acuerdo a comentarios de vendedores expertos la razón básica es de que a las compañías fabricantes su máxima ganancia estriba en la venta por volumen y peso de acero mas que en longitud de tubería, razón por la que a nivel mundial fomentan mas el uso de esta en rangos de 7" o superiores.

Con lo anterior nos damos cuenta que es esta la razón principal por la que no se utilizan con frecuencia en algunos casos en diámetros menores, mas no que no puedan utilizarse de la misma forma que una tubería sin costura.

### Tubería de revestimiento sin costura.

Tabla 16 Costos <sup>TA</sup> de la tubería de revestimiento sin costura por parte de la Compañía TAMSA del Contrato PEP-CM-01/98 con Vigencia al 1 de Abril del 2001.

Pozo	Diam. (pg)	Grado	Peso (lb/pie)	Rosca	Prof. (m)	Costo (\$/m)
	9 5/8	J-55	32	STC	50	471.56 <sup>TA</sup>
<b>Somero</b>	7	J-55	17	STC	600	228.22 <sup>TA</sup>
	3 1/2	J-55	9.3	STC	2200	160.74 <sup>TA</sup>
	9 5/8	J-55	36	BCN	150	557.82 <sup>TA</sup>
<b>Intermedio</b>	7	N-80	23	BCN	1350	424.12 <sup>TA</sup>
	3 1/2	N-80	9.3	BCN	2500	202.84 <sup>TA</sup>

### Tubería de revestimiento con costura.

Tabla 17 Costos <sup>TB</sup> de la tubería de revestimiento con costura en USD por parte de la Compañía TUBACERO Cotización para 320 mts. De 9 5/8" y 3000 para 7" respectivamente con Vigencia al 23 de Julio del 2001.(Considerando 1 dólar = 9.5 pesos.)

Pozo	Diam. (pg)	Grado	Peso (lb/pie)	Rosca	Prof. (m)	Costo (USD/m)	Costo (\$/m)
	9 5/8	J-55	36	BCN	150	52.9	502.55 <sup>TB</sup>
<b>Intermedio</b>	7	N-80	23	BCN	1350	42.9	407.55 <sup>TB</sup>

**9 5/8", J-55, 36 lb/pie, BCN  
7", N-80, 9.3 lb/pie, BCN**

Tabla 18 Comparativo en Costos para ambas tuberías.

<b>Prof. (m)</b>	<b>Costo TAMSA (\$/m)</b>	<b>Costo TUBACERO (\$/m)</b>	<b>Total TAMSA (\$/m)</b>	<b>Total TUBACERO (\$/m)</b>	<b>% Diferencia</b>
150	557.82 TA	502.55 <sup>TB</sup>	83,673	75,382.50	9.91
1350	424.12 TA	407.55 <sup>TB</sup>	572,562	550,192.50	3.91

656,235	625,575.00	4.67	\$ 30,660.00
---------	------------	------	--------------

Nota. Esta comparación se hace en base a los diámetros, grados, librajes y metros utilizados en un pozo tipo del campo Burgos.

A continuación se muestra en las figuras 22, 23, 24 y 25 algunos arreglos tipo de campos en la cuenca de Burgos, para la figura 22 y 23 el campo Arcos y Arcabuz –Culebra respectivamente, donde no se pudo contar con la cotización oportuna de tubería de revestimiento de 13 3/8" por parte de alguna de las compañías para hacer un análisis mas preciso por campo, sin embargo nos dieron verbalmente un costo de 740 (\$/m) para 13 3/8", virtualmente dependiendo del volumen a concursar. Con lo que se confirma aun mas que su interés mayor son los diámetros superiores a 7". Para las figuras 24 y 25 podemos considerar los campos Corindón –Pandura y Cuitlahuac Somero como intermedio y somero respectivamente, donde podríamos decir que el ahorro total se encuentra alrededor del 4.67% como lo mostró ya la tabla 18.



Arreglos Tipo de Tuberías de Revestimiento utilizados en la Cuenca de Burgos.

## CAMPO ARCOS

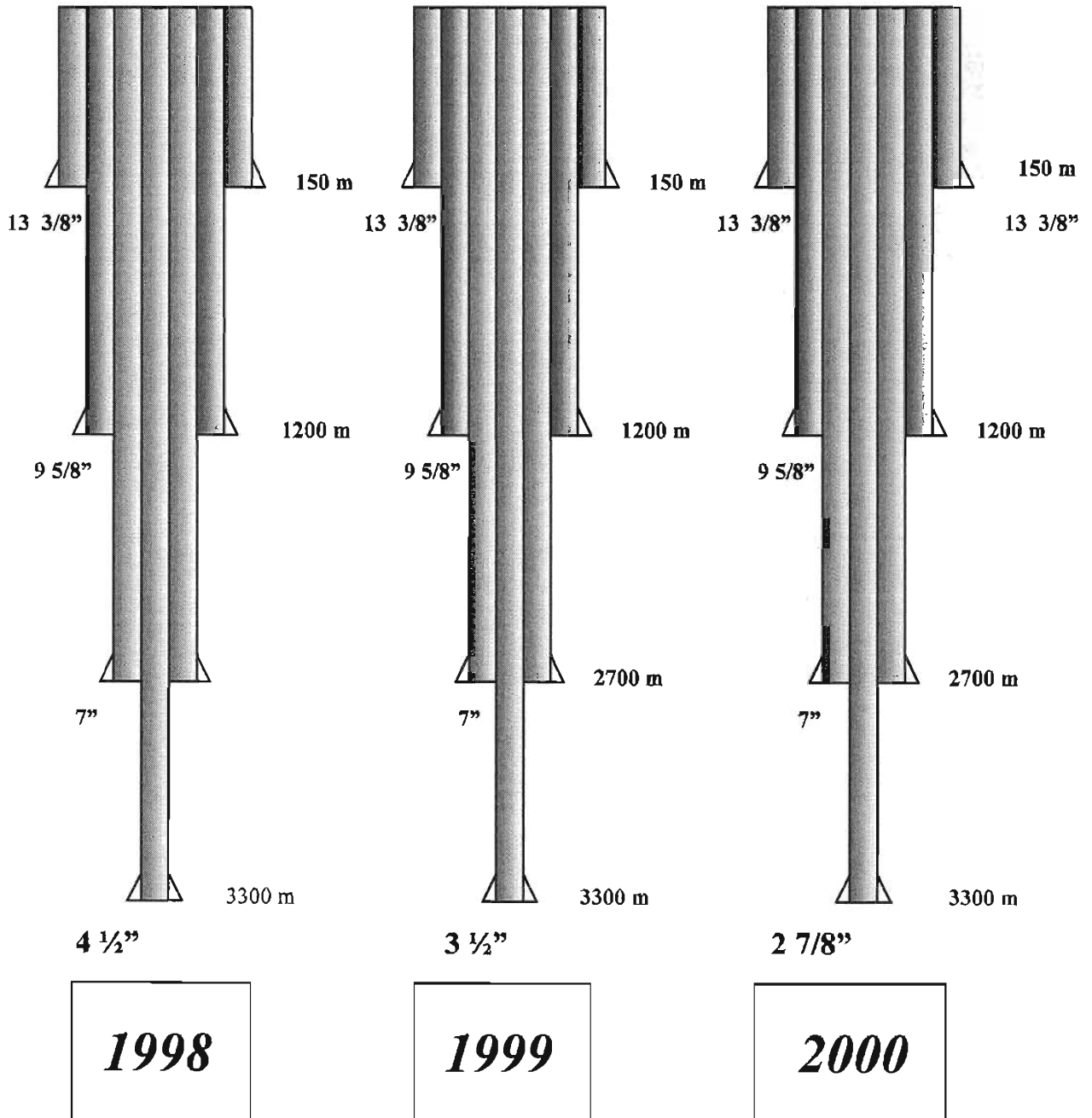


Fig. 23 Geometría promedio utilizada en el campo Arcos de 1998 al 2000

## CAMPO ARCABUZ-CULEBRA-PEÑA BLANCA

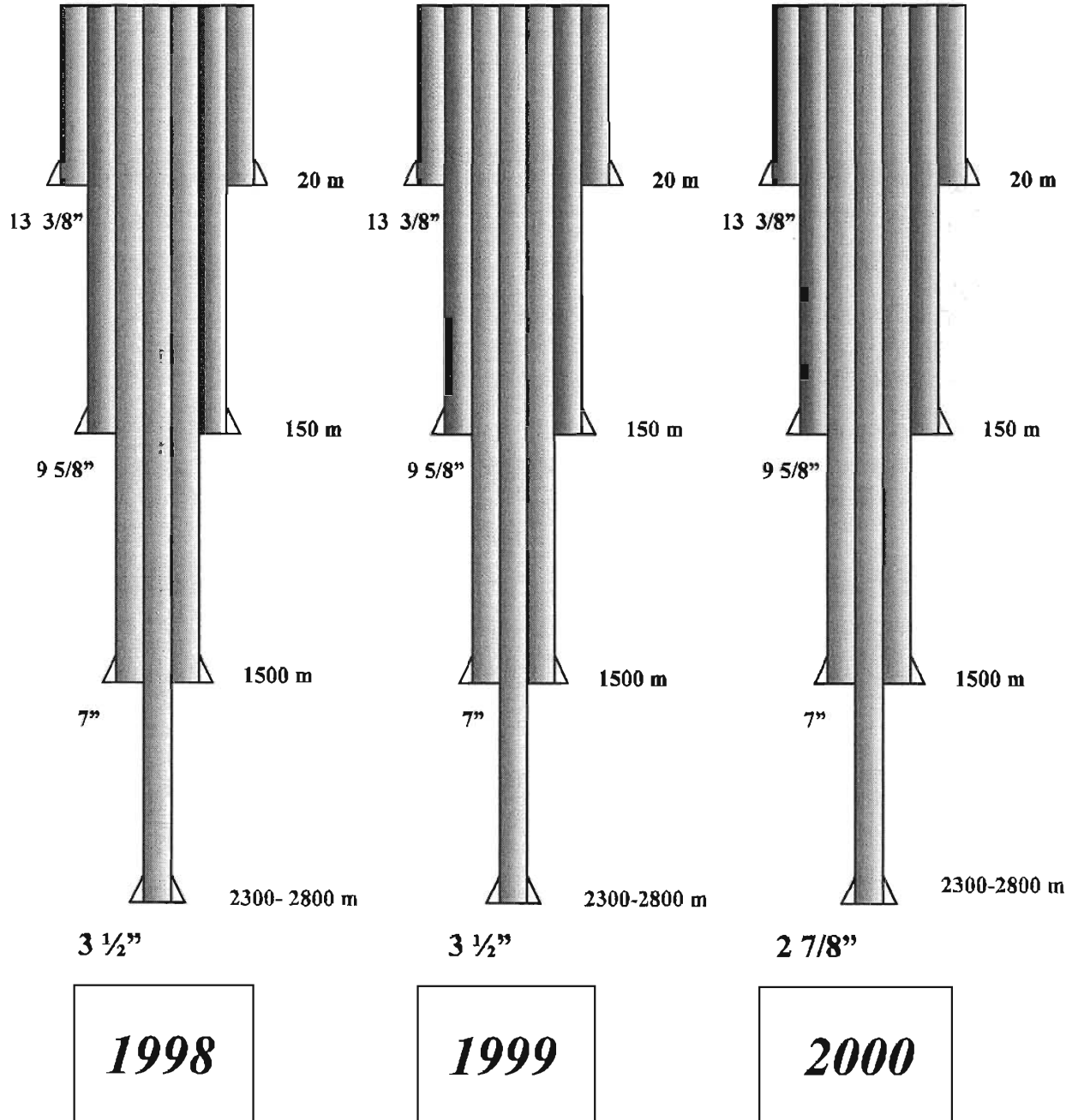


Fig. 24  
Geometría promedio utilizada en el campo Arcabuz-Culebra-Peña Blanca de 1998 al 2000

## CAMPO CORINDON-PANDURA

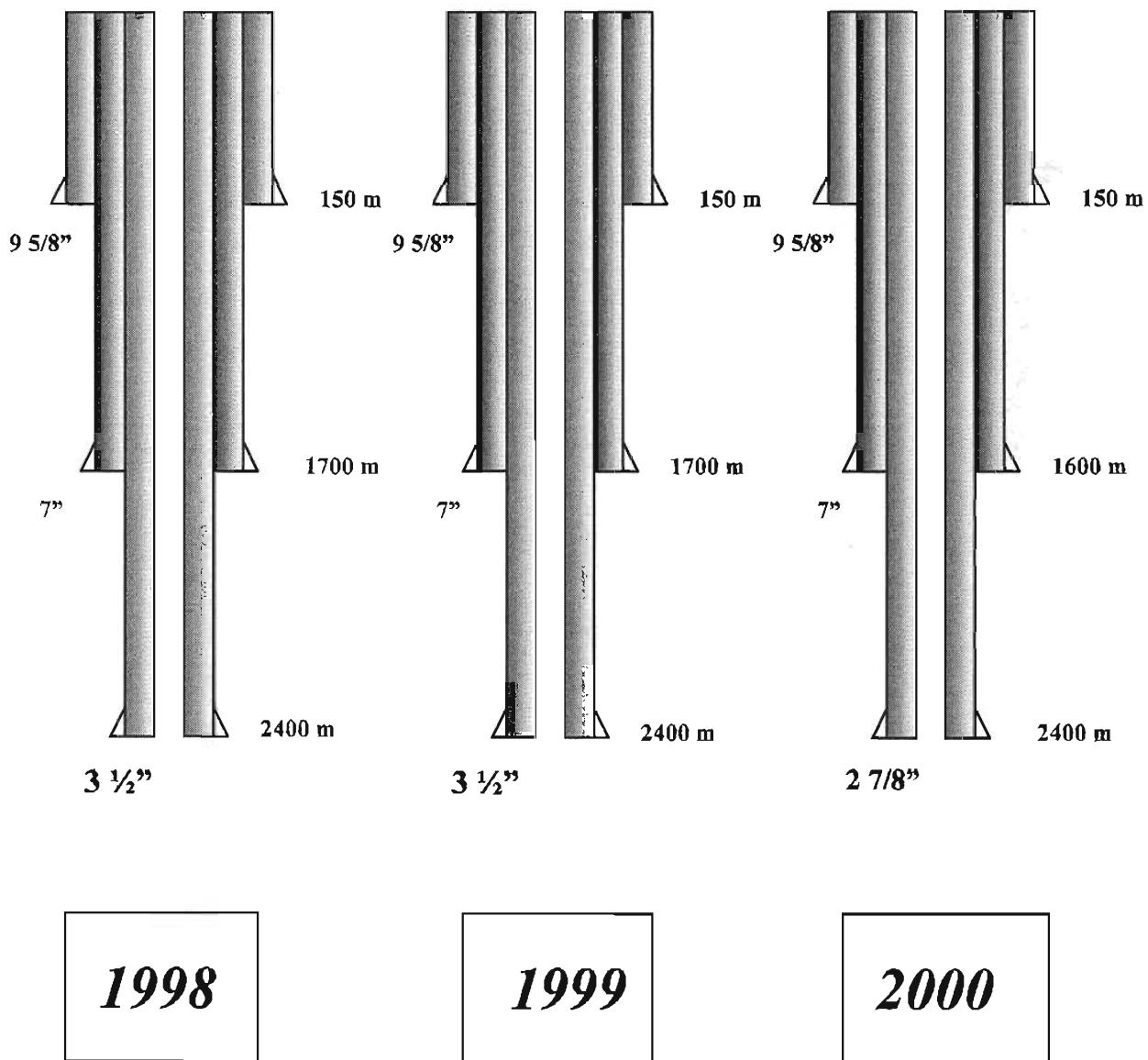


Fig. 25  
Geometría promedio utilizada en el campo Corindón-Pandura de 1998 al 2000.

## CAMPO CUITLAHUAC SOMERO

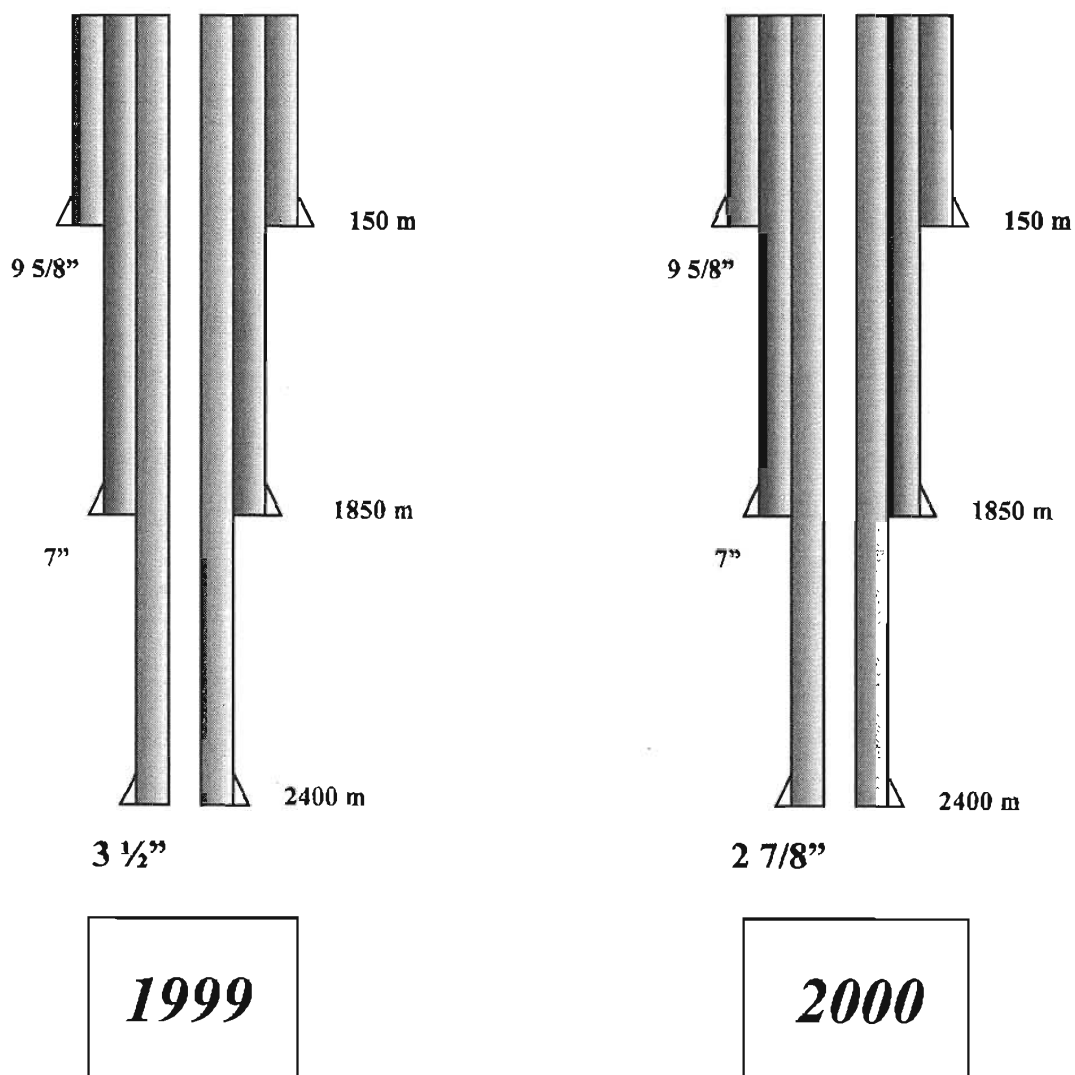


Fig. 26  
Geometría promedio utilizada en el campo Cuitlahuac Somero de 1999 y 2000.

## Criterios de selección de Tuberías de Revestimiento (ERW) en el Campo Burgos .

Con la finalidad de visualizar algunas ponderaciones que deben considerarse para la fabricación de tubería de revestimiento con costura, se describen algunos criterios idénticos que se utilizan para tubería sin costura.

### Geometría Estándar

Tabla 19 Criterios de selección de Tuberías de Revestimiento (ERW) en el Campo Burgos .

Descripción (Unidad)	Superior	Intermedia	Intermedia	Producción
Diámetro (pg)	13 3/8"	9 5/8"	7"	3 1/2"
Profundidad (m)	150	1300-1600	2900	3300*
Peso (lb/ft)	48	36	23 o 26	9.3
Espesor (pg)	0.330	0.352	0.317 o 0.362	0.254
Esfuerzo de Tensión Mínimo (psi)	75,000	75,000	95,000	100,000
Resistencia al Colapso (psi)	740	2,020	3,270-4,320	10,530
Presión de Prueba Hidrostática (psi)	2,200	3000	3000	8,500
Rosca	BTC	BTC	BTC	HD-533
Presión del Pozo	200	1300	2000-2500	2500-3000
Temperatura °C	107	120	130	141

### Geometría Tipo

Tabla 20 Criterios de selección de Tuberías de Revestimiento (ERW) en el Campo Burgos .

Descripción (Unidad)	Intermedia	Intermedia	Producción
<b>Diámetro (pg)</b>	<b>9 5/8"</b>	<b>7"</b>	<b>3 1/2"</b>
<b>Profundidad (m)</b>	<b>150-2750</b>	<b>1300-1600</b>	<b>2900</b>
Peso (lb/ft)	36	23 o 26	9.3
Espesor (pg)	0.352	0.352 o 0.362	0.254
Esfuerzo de Tensión Mínimo (psi)	75,000	95,000	100,000
Resistencia al Colapso (psi)	2020	3,270-4,320	10,530
Presión de Prueba Hidrostática (psi)	3000	3000	8,500
Rosca	BTC	BTC	HD-533
Presión del Pozo	200	1300	2000-2500
Temperatura °C	107	120	130

**Propuesta de Geometría para el Campo de Burgos de acuerdo a los datos de fabricación que proporcionaron algunas compañías.**

*Con esta propuesta no existe necesidad alguna de hacer un cambio sustancial en equipo o en la geometría tipo de los pozos, respetando los asentamientos y diseños de Ingeniería, además no se tiene el apuro de pensar en herramientas especiales.* Las compañías dependiendo de la oferta y la demanda pueden proporcionar los mismos diámetros, grados y librajes que actualmente se están usando.

### CAMPO SOMERO

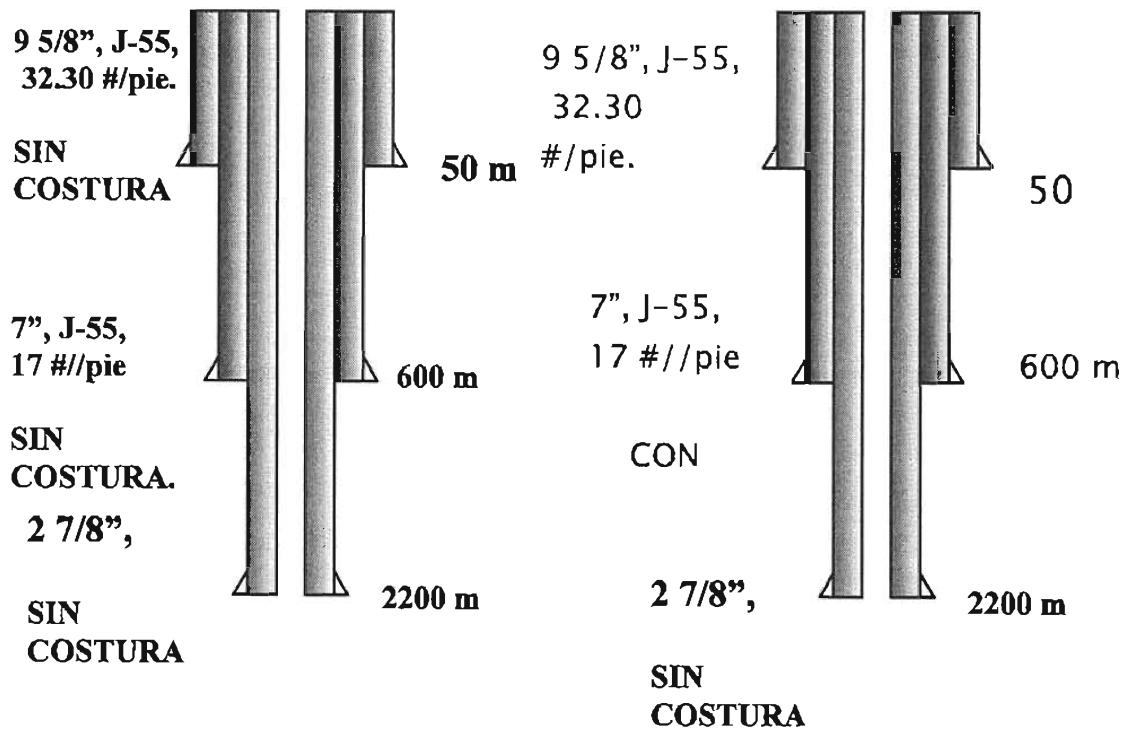


Fig. 27 Geometría propuesta en la Cuenca de Burgos para pozos someros. (Ejemplo. El Campo Sta. Rosalía)

## CAMPO INTERMEDIO

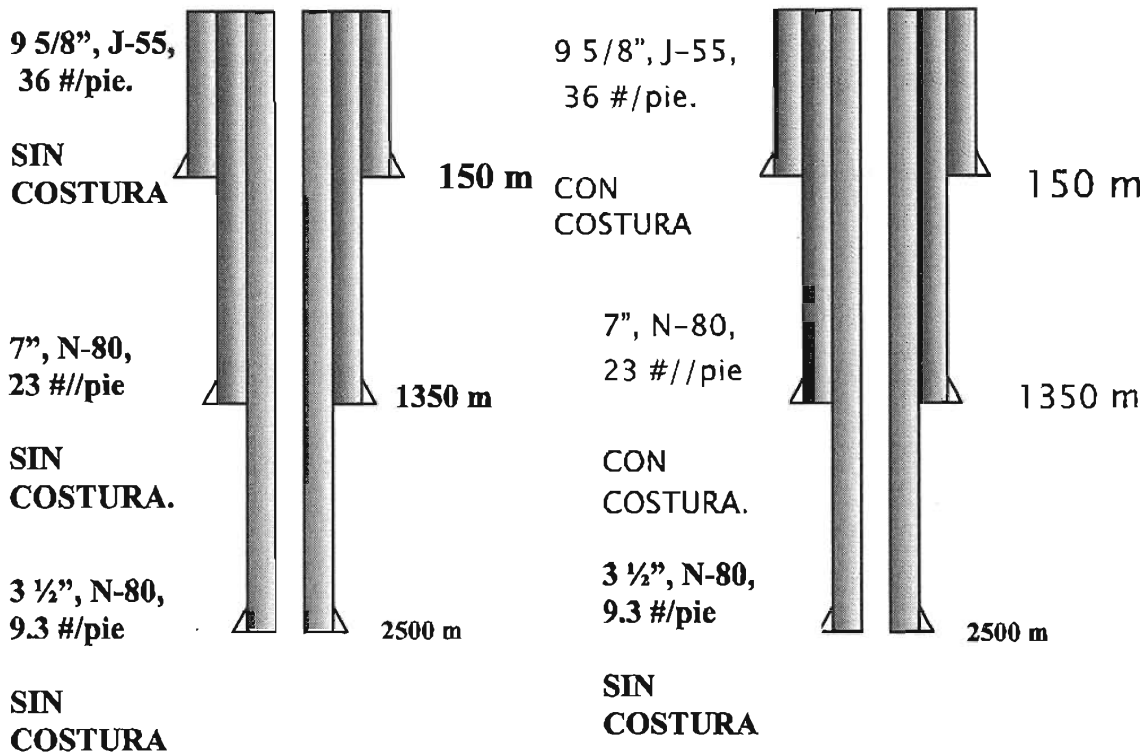


Fig. 28  
Geometría propuesta en la Cuenca de Burgos para pozos intermedios.

## CONCLUSIONES .

La tubería de Revestimiento (ERW) se encuentra perfectamente recomendada por el API 5CT.

***Cumple las especificaciones API 5CT, y puede ser fabricada para cualquier diámetro y libraje que se solicite comercialmente, sin desviar los diseños de ingeniería para su uso en los pozos.***

No existe una variación técnica considerable en la que se tenga que hacer otro tipo de análisis diferente.

Los modelos utilizados para poder evaluar los esfuerzos o cargas que soportara la tubería de revestimiento, están en función de la cedencia (propiedades y calidad del acero) y de la geometría del tubo.

La historia del acero en México demuestra que la industria ha crecido enormemente, su control computarizado de los elementos que integran el acero como materia prima son cada vez mas exactos, dando a cada tubo el grado programado.

Ambas tuberías a condiciones normales de mismos grados no poseen cualidades para ser utilizadas en situaciones fuertes de gas amargo y de acuerdo a la temperatura del pozo, sin embargo en pruebas a la soldadura no presento agrietamiento.

De acuerdo al Preston Pipe Report\* la diferencia en costo entre la tubería de revestimiento sin costura (SMLS) y la tubería con costura (ERW) es del orden del 15.21%, siendo la tubería con costura más económica.

***La diferencia esencial entre la tubería sin costura y con costura es el costo y el proceso de fabricación, técnicamente podemos decir que son iguales.***



## **Recomendaciones.**

Usar tubería (ERW) en algunos pozos de Burgos para dar pie a su uso en México.

Hacer un concurso del mismo nivel volumétrico para cada tipo de tubería y evaluar con mayor precisión el ahorro sustancial para nuestra empresa.

Estudiar la posibilidad de aplicación en otros campos de México.

Revisar las bases del contrato justo a tiempo para no caer en controversias.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **Preston Pipe Report, USA.**

Marzo 97, 99 ,99, 2000, 2001.

### **API SPECIFICATION 5CT**

Sixth Edition, October 1998

April 15, 1999

### **Tubería para Revestimiento y Producción**

**Con costura, experiencia en Venezuela. 1992-1998.**

PDVSA SERVICIOS

Eusebio Zabatti

### **TUBACERO S.A DE C.V**

Productos-Procesos-Calidad

[www.tubacero.com/tubacero\\_productos.htm](http://www.tubacero.com/tubacero_productos.htm)

[www.tubacero.com/tubacero\\_calidad.htm](http://www.tubacero.com/tubacero_calidad.htm)

### **APUNTES DE CLASE.**

Especialidad en Perforación y Mantenimiento de Pozos.

U.N.A.M

Abril-Septiembre 2001

M.I Martín Terrazas Romero.

### **APUNTES DE CLASE.**

Especialidad en Perforación y Mantenimiento de Pozos.

U.N.A.M

Abril-Septiembre 2001

M.I Cesar del Cid Orozco.

### **Un siglo de la Perforación en México.**

TUBERÍAS

Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos

PEMEX.

### **Productos Tubulares de Acero sin Costura.**

Tubos de Acero de México, S.A

1998.

**Applied Drilling Engineering**

Bourgoyne, Millheim, Chenevert, Young.  
Second Printing, Society of Petroleum Engineers,  
Richardson, TX. 1991.

**Optimización del Diseño de Pozos en la Cuenca de Burgos.**

Ingeniería Petrolera, Vol. XXXVIII, núm.1, enero 1998.  
Silva, M.J, Sánchez, M.Léon, J.G

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## LISTA DE TABLAS

- |          |  |
|----------|--|
| Tabla 1  | Procesos de fabricación de tubería de revestimiento recomendados por el API 5CT.   |
| Tabla 2  | Toneladas de tubería de revestimiento utilizadas en Venezuela hasta 1998.  |
| Tabla 3  | Profundidades máximas de Tubería alcanzadas en Venezuela.  |
| Tabla 4  | Química recomendada por el API 5CT para la fabricación de tubería.   |
| Tabla 5  | Relación de grados de tubería API.   |
| Tabla 6  | Grados de acero recomendados por la norma NACE para trabajar en H <sub>2</sub> S de acuerdo a la temperatura de operación. |
| Tabla 7  | Comparativo de las características de tubería con costura (ERW) y sin costura (Seamless).                                  |
| Tabla 8  | Normas API empleadas por Tubacero para su fabricación.   |
| Tabla 9  | Consumo estimado a nivel mundial de tubería (ERW).   |
| Tabla 10 | Aplicación Internacional de tubería ERW en Agosto de 1997.   |
| Tabla 11 | Costo en Dólares/ Tonelada de TR de Enero a Julio de 1999.   |
| Tabla 12 | Costo en Dólares /Tonelada de tubería de línea de Enero a Julio de 1999.   |
| Tabla 13 | Producción de Tubería de Revestimiento (ERW) en Estados Unidos.  |
| Tabla 14 | Diámetros principales que usan otras compañías.  |
| Tabla 15 | Cifras de consumo de tubería con y sin costura en Estados Unidos.  |
| Tabla 16 | Costos de tubería de revestimiento sin costura por parte de la compañía Tamsa.   |
| Tabla 17 | Costos de tubería de revestimiento con costura (ERW) por parte de la Compañía Tubacero.                                    |

Tabla 18	Comparativo en costos para ambas tuberías.
Tabla 19	Criterios de selección de tuberías de revestimiento en el campo Burgos. (Geometría Estándar)
Tabla 20	Criterios de selección de tuberías de revestimiento (ERW) en Burgos. (Geometría tipo).
Tabla 21	Factibilidad de uso en otros pozos de PEMEX , tubería superior.
Tabla 22	Factibilidad de uso en otros pozos de PEMEX, tubería intermedia.
Tabla 23	Factibilidad de uso en otros pozos de PEMEX, tubería de explotación.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Situación y suministro de tubería (ERW) a PDVSA en 1991.
- Figura 2 Fotografía que muestra la entrada de un rollo de acero al proceso de fabricación de tubería con costura.
- Figura 3 Proceso continuo de fabricación de la tubería con costura (ERW).
- Figura 4 Fotografía de rodillos para ir dando forma al tubo.\*\*
- Figura 5 Fotografía soldando por resistencia eléctrica.\*
- Figura 6 Fotografía que muestra el proceso de normalizado.\*
- Figura 7 Fotografía que muestra el retiro de material residual.\*
- Figura 8 Estructura microscópica de un tubo soldado por arco sumergido.\*\*
- Figura 9 Grafica de dureza de soldadura por arco sumergido vs distancia.\*\*
- Figura 10 Estructura microscópica de la soldadura por resistencia eléctrica.\*\*
- Figura 11 Grafica de dureza de soldadura por resistencia eléctrica vs distancia.\*\*
- Figura 12 Conexión del tipo recalada.
- Figura 13 Conexión del tipo formada (suajada).
- Figura 14 Conexión del tipo lisa (Integral).
- Figura 15 Conexión acoplada.
- Figura 16 Diferencias entre tubería (ERW) y (SMLS) en su proceso de fabricación.
- Figura 17 Comportamiento del colapso.
- Figura 18 Gráfica del colapso de cedencia vs Delgadez
- Figura 19 Colapso Elástico vs Delgadez.
- Figura 20 Grafica de cedencia por estallamiento vs Delgadez.

- Figura 21 Geometría promedio de pozos del sur de Texas (Convencional).
- Figura 22 Geometría promedio de pozos del sur de Texas (Tubing Less).
- Figura 23 Geometría promedio utilizados en el campo Arcos de 1998 al 2000.
- Figura 24 Geometría promedio utilizados en el campo Arcabuz-Culebra-Peña Blanca de 1998 al 2000.
- Figura 25 Geometría promedio utilizados en el campo Corindón-Pandura de 1999 al 2000.
- Figura 26 Geometría utilizados en el campo Cuitlahuac-Somero de 1999 y 2000.
- Figura 27 Geometría propuesta en la cuenca de Burgos para pozos someros.
- Figura 28 Geometría propuesta en la cuenca de Burgos para pozos intermedios.
- Figura 29 Fotografía que muestra la prueba de aplastamiento observando el comportamiento de la soldadura.\*
- Figura 30 Dibujo que muestra la colocación de la soldadura en una prueba de aplastamiento.

**\*\* Fotografías proporcionadas por la compañía Tubacero**

**\* Fotografías proporcionadas por la compañía Procarsa.**

## **ANEXOS.**

- Anexo I. Evaluación de la Tubería Revestimiento (ERW).
- Anexo II. Factibilidad de aplicación en otros pozos de PEMEX.



Anexo I

**Evaluación de la Tubería Revestimiento (ERW).**  
(Tubacero- Septiembre 2000)  
**API 5CT J-55**

1.- Datos del Producto.

O.T: 32997  
Dimensiones: 8.625" x 0.312"  
Especificación: API 5CT  
Grado: J-55  
Proveedor de Acero: AHMSA  
Fecha de Fabricación: Septiembre, 2000

2.- Análisis Químico.

Muestra 1  
Tubo No. 1583  
Rollo No. 9028026  
Colada No. 105589

% En peso, Máximo.

Elemento	Tubo 1583	API 5CT J-55
C	0.0690	-
Mn	1.1600	-
S	0.0100	0.30
Si	0.0050	0.30
Al	0.2050	-
Cu	0.0010	-
Cr	0.0050	-
Ni	0.0016	-
Mo	0.2230	-
Ti	0.0010	-
Nb	0.0225	-
V	0.0020	-
B	0.0002	-
Ca	0.0007	-
Ceq	0.2690	-
Pcm	0.1360	-

### 3.- Prueba de Tensión.

Tubo No: 1583  
 Rollo No: 9028026  
 Colada No: 105589

Probeta	Limite Elástico (psi)	Ultima Tensión (psi)	Alargamiento (%)	Resistencia al Colapso (psi)
Transversal Metal Base	73,230	79,267	38	5,488
Longitudinal Metal Base	73,160	76,173	30	5,484
Transversal Soldadura	-----	82,332	-----	-----
<b>API 5CT</b>	<b>55,000-80,000</b>	<b>75,000</b>	<b>22.</b>	<b>4,123</b>

### 4.- Prueba de Impacto (Charpy)

Tubo No: 1583  
 Rollo No: 9028026  
 Colada No: 105589  
 Probeta: ½  
 Temperatura: 12.77 °C

Dirección	Energía Absorbida Individual (lb/ft)			Promedio (lb/ft)
Transversal	39	39	39	39
Longitudinal	47	44	45	45
<b>API 5CT</b>	-----	-----	-----	<b>10-15 T</b>

## 5.- Propiedades Dimensionales.

Serie	Colada	Longitud	Peso	Espeso	Rectitud	Diam. Min.	Diam. Máx.	Aplastamiento	P. Hid. Kgs/cm	U.T	Mandril Int
1935	105591	13.13	541	0.320"	0.250"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
899	205701	12.56	535	0.312"	0.375"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
1362	105589	12.48	514	0.317"	0.412"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
655	105590	11.32	467	0.319"	0.375"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
1293	205700	10.36	426	0.317"	0.375"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
1383	105590	10.36	430	0.315"	0.412"	8.625	8.640	1" a 90º	211	A	Paso Libre
<b>API 5CT</b>		<b>-10.36 a +14.63</b>	<b>-413 a +645</b>	<b>Min 0.273</b>	<b>Max 0.960"</b>	<b>8.585</b>	<b>8.711</b>	<b>Max. 5.606"</b>	<b>Max. 211</b>	<b>Ranura V10</b>	<b>7.876" 6"</b>

## 6.- Pruebas de Agrietamiento inducido por Hidrógeno (HIC)

Tubo No: 1583  
 Rollo No: 9028026  
 Colada No: 105589

SECCION	PROMEDIO DE AGRIETAMIENTO POR SECCIÓN Y LOCALIZACIÓN		
	CLR (%)	CTR (%)	CSR (%)
Metal Base 90º	9.53	1.96	0.27
Metal Base 180º	6.66	0.82	0.03
Soldadura	0	0	0
<b>ESPECIFICACIÓN NRF-001-PEMEX-2000</b>	<b>8.0 Máximo</b>	<b>1.0 Máximo</b>	<b>1.0 Máximo</b>

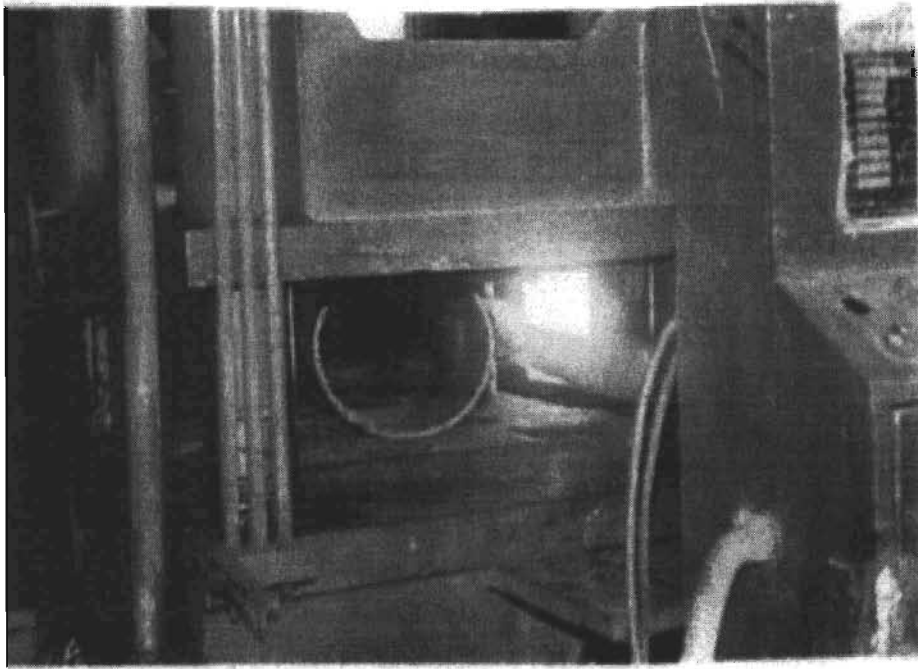


Fig. 29 Fotografía que muestra una prueba de aplastamiento.

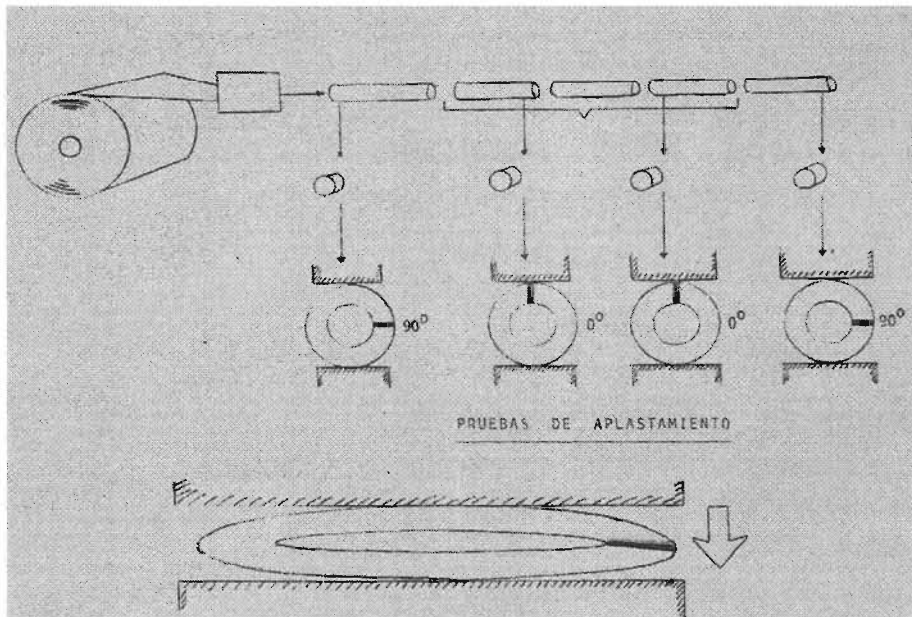


Fig.30 Muestra la colocación de la soldadura en una prueba de aplastamiento.

Anexo II

Factibilidad de aplicación en otros pozos de PEMEX.

Tabla 21 Tubería de Revestimiento Superior

Nombre del Pozo	Tubería de Revestimiento Superior		
	Diámetro	Metros	Factibilidad
<b>Cuenca de Burgos Estándar</b>	<b>13 3/8"</b>	<b>150</b>	<b>SI</b>
<b>Cuenca de Burgos Tipo</b>	<b>9 5/8"</b>	<b>150</b>	<b>SI</b>
<b>JUJO 3</b>	<b>24</b>	<b>50</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE - 2</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE- 4</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>SI</b>
<b>CUNDUACAN -17</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>SI</b>
<b>BALAM-11</b>	<b>30</b>	<b>223</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS 162</b>	<b>20</b>	<b>613</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS- 104</b>	<b>16</b>	<b>1003</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-8</b>	<b>16</b>	<b>960</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-7</b>	<b>13 3/8</b>	<b>300</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-7</b>	<b>9 5/8</b>	<b>1233</b>	<b>SI</b>
<b>J. COLOMO - 402</b>	<b>9 5/8</b>	<b>354</b>	<b>SI</b>
<b>COSACO 1</b>	<b>13 3/8</b>	<b>3348</b>	<b>SI</b>
<b>EL GOLPE-92</b>	<b>16</b>	<b>200</b>	<b>SI</b>
<b>CAPARROSO- 75</b>	<b>20</b>	<b>600</b>	<b>SI</b>
	<b>30</b>	<b>59</b>	<b>SI</b>

Tabla 22 Tubería de Revestimiento Intermedia.

Nombre del Pozo	<i>Tubería de Revestimiento Intermedia.</i>		
	<b>Diámetro</b>	<b>Metros</b>	<b>Factibilidad</b>
<b>Cuenca de Burgos Estándar</b>	<b>9 5/8</b>	<b>1600</b>	<b>SI</b>
<b>Cuenca de Burgos Tipo</b>	<b>7</b>	<b>1600</b>	<b>SI</b>
<b>JUJO 3</b>	<b>16</b> <b>10 ¾</b>	<b>987</b> <b>2950</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE – 2</b>	<b>16</b> <b>10 ¾</b>	<b>496</b> <b>2260</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE-4</b>	<b>16</b> <b>10 3/4</b>	<b>500</b> <b>2260</b>	<b>SI</b>
<b>CUNDUACAN –17</b>	<b>16</b> <b>10 ¾</b>	<b>310</b> <b>2030</b>	<b>SI</b>
<b>BALAM-11</b>	<b>13 3/8</b> <b>9 5/8</b>	<b>1578</b> <b>3011</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS 162</b>	<b>10 ¾</b>	<b>3050</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS-104</b>	<b>10 ¾</b>	<b>3150</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-8</b>	<b>9 5/8</b>	<b>1248</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-7</b>			<b>SI</b>
<b>J. COLOMO - 402</b>			<b>SI</b>
<b>COSACO 1</b>	<b>9 5/8</b> <b>7</b>	<b>5535</b> <b>6191</b>	<b>SI</b>
<b>EL GOLPE-92</b>	<b>10 ¾</b>	<b>1204</b>	<b>SI</b>
<b>CAPARROSO-75</b>	<b>13 3/8</b> <b>9 5/8</b>	<b>1900</b> <b>5007</b>	<b>SI</b> <b>SI</b>

Tabla 23. Tubería Intermedia o de Producción

Nombre del Pozo	<i><b>Tubería Intermedia o de Producción</b></i>		
	<b>Diámetro</b>	<b>Metros</b>	<b>Factibilidad</b>
<b>Cuenca de Burgos Estándar</b>	<b>7</b>	<b>2900</b>	<b>SI</b>
<b>Cuenca de Burgos Tipo</b>	<b>3 ½</b>	<b>2900</b>	<b>SI</b>
<b>JUJO 3</b>	<b>7 5/8</b>	<b>5705</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE – 2</b>	<b>7 5/8</b>	<b>3143</b>	<b>SI</b>
<b>OXIACAQUE-4</b>	<b>7 5/8</b>	<b>3193</b>	<b>SI</b>
<b>CUNDUACAN –17</b>	<b>7 5/8</b>	<b>3264</b>	<b>SI</b>
<b>BALAM-11</b>	<b>7</b>	<b>4048</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS 162</b>	<b>7 5/8</b>	<b>4980</b>	<b>SI</b>
<b>CARDENAS-104</b>	<b>7 5/8</b>	<b>5311</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-8</b>	<b>7</b>	<b>1448</b>	<b>SI</b>
<b>XICALANGO-7</b>	<b>7</b>	<b>1450</b>	<b>SI</b>
<b>J. COLOMO - 402</b>	<b>6 5/8</b>	<b>1448</b>	<b>SI</b>
<b>COSACO 1</b>	<b>5</b>	<b>6580</b>	<b>SI</b>
<b>EL GOLPE-92</b>	<b>7 5/8</b>	<b>1524</b>	<b>SI</b>
<b>CAPARROSO-75</b>	<b>7</b>	<b>5614</b>	<b>SI</b>