# TUBERÍA PETROLERA…

## RECURSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES

DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS
WILMAR ARMANDO JIMÉNEZ MARULANDA
ANDERSON SALVADOR BERNAL TELLO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2007

# TUBERÍA PETROLERA…

## RECURSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES

DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS
WILMAR ARMANDO JIMÉNEZ MARULANDA
ANDERSON SALVADOR BERNAL TELLO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Civil

Director temático
Ing. Jorge Mario Cueto Baiz

Asesora metodológica
Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2007

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá D.C., 07 de Diciembre de 2007

## DEDICATORIA

Primero agradezco a Dios por ser quien me ha iluminado durante mi existencia; quien me ha dotado de su inteligencia y sabiduría permitiéndome cumplir una meta más en mi vida.

A mi hijo David  Armando Leal que ha sido y será el motor que me impulsa a crecer destacándome como un gran profesional, a él por ser parte de mi vida, mi aliento y el principal motivo para poder suplir todas y cada una de sus necesidades.

A mis padres Yormari Vargas y Armando Leal, por ser ellos quienes aportaron ese granito de arena  y depositaron en mi toda su confianza, sacrificando una parte de sus vidas para que yo tuviera todo lo necesario luchando aguerridos a una sola meta para no dejar que los altibajos truncaran mi carrera; a ellos les doy especialmente las gracias por haberme formado un hombre con valores y siempre teniéndolos como ejemplo para crecer y luchar antes toda las adversidades.

A mis hermanos Javier Leal y Wilson Freitte por su apoyo incondicional y por que siempre estuvieron ahí guiándome y dándome su amor y comprensión en los momentos difíciles de mi vida.

DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS

## DEDICATORIA

Cuando una de las infinitas metas que uno se propone en la vida llega a su fin, nace el deseo profundo de tener en cuenta a las personas que de una u otra forma han aportado al desarrollo integral que se adquiere durante un largo caminar.

Por lo anterior y por muchas cosas más, hoy me permito darle gracias a Dios por darme la vida y por brindarme la salud necesaria para culminar este extenso recorrido.

Mi padre Lino Armando Jiménez, mi madre Ana leída Marulanda y mis hermanos Habith, Yully y Constanza, son la razón de mi vida, por ende, el triunfo alcanzado y además plasmado en este texto, es por ellos y para ellos, para las personas que día a día me brindan el apoyo incondicional para salir adelante, ya sea en la alegría o en la tristeza, ahí están animándome o compartiendo los triunfos de su hijo y hermano.

A la familia Castillo Jiménez, por haberme brindado el calor y el apoyo de una familia, a mi tía Blanca por haberse convertido en una segunda madre para mi, aconsejándome día a día a siempre andar por el camino del bien.

Finalmente, al municipio de Guadalupe Huila, en cabeza del alcalde Francisco Javier Sierra, quien me abrió las puertas para emprender mis primeros pasos como ingeniero. Al ingeniero Carlos Arturo Martínez, pues sus consejos me ayudaron a afianzar y a comprender muchos de los conocimientos que rigen el entorno de la ingeniería.

Wilmar Armando Jiménez Marulanda

## DEDICATORIA

Primero es a Dios por darme la vida, mi familia y a mi gran amor ANGEL DAVID mi hijo.

A mi señor padre por su enseñanza y respaldo. Por su herencia: mi educación

A mi madre por su apoyo todos estos años por su infinito amor compresión y por ayudarme a que este momento llegara. Gracias mamá.

A mi esposa, motor de mi vida a quien amo y protegeré siempre.

A mis hermanos Alexander, Arley, Arvey por su apoyo.

A la gente de Orocué Casanare por darme respaldo y oportunidades.

Anderson Salvador Bernal Tello

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento.

Al ingeniero JORGE MARIO CUETO BAIZ, asesor temático del trabajo de grado, por la colaboración que brindo, por la confianza que depositó en nosotros y por el acompañamiento a lo largo de la investigación, pues sus conocimientos fueron de gran importancia en el desarrollo del proyecto debido a que nos mostro las pautas y orientación necesaria no solo para el trabajo, sino también para nuestra vida profesional.

Al magíster ROSA AMPARO RUIZ SARAY, asesora metodológica. Por la disposición que tubo para con nosotros, por los concejos y por los conocimientos brindados para terminar exitosamente todas las etapas de la investigación.

A la Escuela Colombiana de ingeniería, por permitir el ingreso hasta sus laboratorios, por toda la colaboración y orientación prestada.

**CONTENIDO**


| | Pág. |
|---|---|
| **INTRODUCCIÓN** | **17** |
| **1. EL PROBLEMA** | **19** |
| 1.1 LÍNEA | 19 |
| 1.2 TÍTULO | 19 |
| 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 19 |
| 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN | 20 |
| 1.6 OBJETIVOS | 21 |
| 1.6.1 Objetivo general | 21 |
| 1.6.2 Objetivos específicos | 21 |
| **2. MARCO REFERENCIAL** | **23** |
| 2.1 MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL | 23 |
| 2.1.1 La tubería petrolera, sus características y propiedades | 23 |
| 2.1.2 La tubería petrolera como elemento estructural | 35 |
| 2.1.3 Métodos de diseño para estructuras metálicas | 37 |
| 2.2 MARCO NORMATIVO | 38 |
| 2.3 MARCO CONTEXTUAL | 38 |
| **3. METODOLÓGIA** | **39** |
| 3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 39 |
| 3.2 OBJETO DE ESTUDIO | 40 |
| 3.3 FORMATOS | 40 |
| 3.4 VARIABLES | 41 |
| 3.5 HIPÓTESIS | 41 |
| 3.6 COSTOS | 41 |
| **4. TRABAJO INGENIERIL** | **43** |
| 4.1 DESARROLLO | 43 |
| 4.1.1 Entrevistas y visitas técnicas | 43 |
| 4.1.2 Extracción y caracterización de la tubería petrolera usada | 45 |
| 4.1.3 Ensayo a tracción para la tubería petrolera usada | 47 |
| 4.1.4 Resultados del ensayo a tracción para la tubería petrolera usada | 51 |
| 4.1.5 Análisis de resultados | 56 |
| 4.1.6 Análisis de la tubería petrolera como elemento estructural | 58 |

**5. CONCLUSIONES** **63**

**6. RECOMENDACIONES** **65**

**BIBLIOGRAFÍA** **66**

**ANEXOS** **67**

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**


Tabla 1. Características geométricas y mecánicas de la tubería de revestimiento y la tubería de producción 25

Tabla 2. Relación de grados API para tubería petrolera 33

Tabla 3. Reporte de ensayo para tubería petrolera nueva 35

Tabla 4. Normas Técnicas 38

Tabla 5. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 1) 51

Tabla 6. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 2) 53

Tabla 7. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 3) 54

## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**


Figura 1. Probeta de ensayo 27

Figura 2. Máquina para ensayo de tracción 28

Figura 3. Curva obtenida en una máquina de ensayo de tracción para un acero 29

Figura 4. Forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura. 30

Figura 5. Forma de la probeta en el momento de ruptura 30

Figura 6. Curva para aceros dúctiles y frágiles 31

Figura 7. Curva esfuerzo – deformación para un acero 32

Figura 8. Curva esfuerzo – deformación para tubería petrolera 32

Figura 9. Ubicación laboratorio de ensayos a tracción 39

Figura 10. Registro del estado y configuración estructural de la tubería petrolera en un puente 43

Figura 11. Deposito de la tubería petrolera usada 45

Figura 12. Extracción de rebanadas para caracterización de probetas 46

Figura 13. Probeta para ensayo a tracción de la tubería petrolera 47

Figura 14. Registro de probetas para ensayo a tracción de la tubería petrolera 47

Figura 15. Equipo para ensayos a tracción 48

Figura 16. Probeta en el dispositivo 49

Figura 17. Deformímetro conectado a la probeta 49

Figura 18. Probeta luego de la falla 50

Figura 19. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 1) 52

Figura 20. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 2) 53

Figura 21. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera (muestra 3) 55

Figura 22. Puente Alemania 58

Figura 23. Detalle estructural de la cercha 59

Figura 24. Configuración estructural de la cercha 59

Figura 26. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 1 61

Figura 27. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 2 61

Figura 28. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 3 62

Figura 29. Elementos a Tensión máxima 62

## LISTA DE CUADROS

**Pág.**

Cuadro 1. Variables objeto de estudio 42

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**


Anexo A. Costos totales 65

Anexo B. Formato de registro para ensayos a tracción 67

Anexo C. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva esfuerzo – deformación unitaria del material (muestra 1) 68

Anexo D. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva de carga – deformación total entre mordazas (muestra 1) 69

Anexo E. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva esfuerzo – deformación unitaria del material (muestra 2) 70

Anexo F. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva de carga – deformación total entre mordazas (muestra 2) 71

Anexo G. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva esfuerzo – deformación unitaria del material (muestra 3) 72

Anexo H. Registro de ensayo a tracción para la tubería petrolera usada. Curva de carga – deformación total entre mordazas (muestra 3) 73

Anexo I. Archivo magnético. (Contiene análisis en SAP 2000) 74

# INTRODUCCIÓN

Dentro del desarrollo de la industria petrolera, se maneja un desperdicio apreciable de tubería, lo cual llevó a implementar dicho material en la extensión de la red vial en el departamento del Casanare, construyendo puentes peatonales y vehiculares utilizando la tubería en el sistema estructural.

Debido a la ausencia de una base teórica que sustente la construcción de puentes en tubería petrolera, se ha pensado en realizar diversos ensayos y estudios que permitan identificar las propiedades de la tubería petrolera como elemento estructural utilizado en la construcción de puentes y, con base en ello definir y mostrar los parámetros reales del procedimiento de diseño y construcción de este prototipo de puentes.

El estudio de los componentes estructurales de un puente, y más que todo de este tipo de puentes, es un aspecto importante que debe ser tratado muy detalladamente. Temas como el acero, la soldadura y puentes analizados como conjunto estructural muestran la complejidad para abordar esta investigación, puesto que las especificaciones y normas existentes para la utilización del acero, la soldadura y los puentes como un solo conjunto, no están aplicadas a la construcción de puentes en tubería petrolera. Por ello, la importancia de la investigación.

En el desarrollo de la investigación, se tocarán temas como las propiedades a tensión y a corte del acero donde se encontrará el máximo esfuerzo al cual se puede someter la tubería; posteriormente se realizarán los estudios donde se caracterizará la tubería y luego se propondrán alternativas de uso para este tipo de acero como elemento estructural de un puente.

Finalmente, se estudió el conjunto estructural como tal, para así caracterizar, diseñar y evaluar el comportamiento del conjunto actuando estructuralmente en un puente.

# 1 EL PROBLEMA

## 1.1 LÍNEA

GRUPO INDETEC – línea COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES.

La investigación encaja perfectamente en esta línea gracias a que el objetivo de ésta se refiere a investigar la implementación de nuevos materiales en estructuras especiales, y el proyecto está basado en investigar la tubería petrolera usada como material novedoso para la construcción de puentes.

## 1.2 TÍTULO

TUBERÍA PETROLERA…

RECURSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES

## 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La tubería utilizada en la construcción de puentes vehiculares y peatonales, requiere de la caracterización para dicha utilidad, debido a que está sometida a cargas móviles de gran magnitud y además de ello, carece de un estricto control que en un futuro podría provocar que las construcciones con dicho tipo de acero y con un sistema obsoleto de soldadura sufrirían corrosión y en consecuencia un debilitamiento el cual causaría un pronto colapso.

En el Departamento del Casanare, se están fabricando construyendo y montando puentes tubulares soldados, sin dejar plasmada una base teórica donde se muestren los procedimientos constructivos, análisis de la tubería petrolera y la soldadura, utilizados como conjunto estructural en la construcción de puentes. En consecuencia la fiscalización de la construcción de puentes en tubería petrolera, no contaría con un soporte teórico de diseño y construcción.

## 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La tubería petrolera como material y elemento estructural de un puente garantiza la seguridad para el transito vehicular y peatonal?

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación es de gran importancia, debido a que el sistema de construcción de puentes en tubería petrolera, se está utilizando como solución para el desarrollo vial de Colombia y el mundo, por ello se hace indispensable una base teórica que genere seguridad en la fiscalización de su construcción y en el transito tanto vehicular como peatonal.

La investigación aportará con base a ensayos y análisis especializados resultados óptimos y veraces que muestren dicha teoría ausente.

Los beneficios que se tendrán con la construcción de este tipo de puentes son:
La reducción de costos en el proceso de construcción, mejoramiento del transito y comunicación tanto vehicular como peatonal en las vías intermunicipales de Colombia, propiciar seguridad y servicio a los grandes medianos y pequeños transportadores de carga, pasajeros y particulares, ayudar al transporte de maquinaria pesada para la explotación de pozos petroleros.

Otro de los factores que influyen para la realización de la investigación, es que en este momento hay cantidad de proyectos nuevos que requieren de un estudio detallado que sustente lo que ya se ha hecho, para que los proyectos similares, cuenten con una base la cual sea un punto de partida para éstos. Por ende, es un gusto contribuir al avance del conocimiento humano.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo general

Determinar las características y comportamiento de la tubería petrolera como parte estructural en la construcción de puentes.

### 1.6.2 Objetivos específicos

- Establecer las condiciones físicas en que se encuentra la tubería petrolera usada.

- Determinar la propiedad mecánica (resistencia) de la tubería petrolera a partir de ensayos de tracción.
- Identificar el comportamiento de la tubería petrolera como elemento estructural de un puente.

# 2. MARCO REFERENCIAL

## 2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

### 2.1.1 La tubería petrolera, sus características y propiedades

Las bases de datos de todo proceso de ingeniería recaen en los fundamentos técnicos. Sin embargo, se requiere observar sistemáticamente la disminución de los costos asociados en cada proceso, por ende en la construcción de puentes en tubería petrolera, se debe definir, analizar y optimizar los materiales tubulares que se usan en dicha actividad; ya que éste material ha sido utilizado en el ejercicio de la explotación petrolera.

La idea de analizar la tubería petrolera utilizada en la construcción de puentes, es mejorar, consolidar y además de ello proporcionar una seguridad estructural de manera tal, que cuente con una base teórica fundamental y específica en dichos procesos constructivos.

Es de gran importancia y a la vez necesario, dar a conocer aspectos importantes como lo son la fabricación y utilización de la tubería antes de ser sometida como elemento estructural en la construcción de puentes. Como primer factor, el concepto de tubería proporciona una visión clara de lo que es en si el material utilizado en la investigación, puesto que al ser un elemento cilíndrico hueco compuesto de acero, con una geometría definida por el diámetro y el espesor del

cuerpo que lo conforma, brinda una serie de características importantes de manejo las cuales serán definidas posteriormente.

Por otra parte la tubería utilizada en la explotación del petróleo, hace parte de diferentes fines, como lo son tubería para revestimiento, tubería de producción, tubería de perforación y tubería de línea. Para efectos de la investigación, el estudio se realizó, con tubería utilizada para tubería de revestimiento y producción quien por clasificación según sus características, es grado S – 135 para el caso en particular corresponde a un diámetro nominal de 5½" y diámetro interior de 4.892".

La tubería de revestimiento, constituye el medio con el cual se reviste el agujero que se va perforando en la actividad de extracción del petróleo; su objetivo es proteger las zonas perforadas y aislar las zonas problemáticas que se presentan durante la perforación.

La tubería de producción, es el elemento tubular a través del cual se conducen los fluidos producidos en el pozo hasta la superficie.

La nomenclatura recomendada por el API para identificar los diferentes tipos de acero se define por una letra seguida por un número. La letra simboliza el tipo de acero, y el número la magnitud de la fluencia del material en Ksi.

Las características principales de la tubería de revestimiento y producción se pueden observar en la siguiente tabla proporcionada por la American Petroleum Institute (API):

Tabla 1, Características geométricas y mecánicas de la tubería de revestimiento y la tubería de producción.[1]

| Diámetro nominal (pg) | Peso nominal (lbf/ ft) | Grado | Diámetro Drift (pg) | Diámetro Interior (pg) | Resistencia al Colapso (psi) | Tensión (1000 lbf) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 ½ | 9.50 | H-40 | 3.965 | 4.090 | 2760 | 111 |
| | 11.60 | K-55 | 3.875 | 4.052 | 4010 | 165 |
| | 15.10 | P-110 | 3.701 | 3.826 | 14350 | 485 |
| 5 | 11.50 | J-55 | 4.435 | 4.560 | 3060 | 182 |
| | 15.00 | N-80 | 4.283 | 4.408 | 7250 | 350 |
| | 24.10 | P-110 | 3.875 | 4.000 | 19800 | 778 |
| 5 ½ | 14.00 | J-55 | 4.887 | 5.012 | 3120 | 222 |
| | 17.00 | K-55 | 4.767 | 4.892 | 4910 | 273 |
| | 20.00 | P-110 | 4.653 | 4.778 | 11100 | 641 |
| 6 5/8 | 20.00 | H-40 | 5.924 | 6.049 | 2520 | 229 |
| | 24.00 | C-90 | 5.796 | 5.921 | 6140 | 624 |
| | 24.00 | P-110 | 5.796 | 5.921 | 6730 | 763 |
| 7 | 17.00 | H-40 | 6.413 | 6.538 | 1420 | 196 |
| | 23.00 | L-80 | 6.241 | 6.366 | 3830 | 532 |
| | 35.00 | P-110 | 5.879 | 6.004 | 13020 | 1119 |
| 7 5/8 | 47.10 | N-80 | 6.250 | 6.375 | 12040 | 1100 |
| | 26.40 | C-95 | 6.844 | 6.969 | 3710 | 714 |
| | 29.70 | P-110 | 6.750 | 6.875 | 5350 | 940 |
| 8 5/8 | 24.00 | K-55 | 7.972 | 8.097 | 1370 | 381 |
| | 36.00 | L-80 | 7.700 | 7.825 | 4100 | 827 |
| | 49.00 | P-110 | 7.386 | 7.511 | 10750 | 1553 |

Dentro de las propiedades mecánicas más importantes del acero utilizado en la producción de tubería petrolera tenemos la resistencia, modulo de elasticidad, ductilidad, fragilidad y resiliencia del acero, las cuales describen el comportamiento del material cuando es sometido a cargas.

*Resistencia:* "esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de que ocurra la falla."[2]

[1] [En línea]<http://www.tenaris.com/media/pr/prfiles/1820.pdf. P. 7> (consultado el 25 de agosto de 2007).

*Modulo de elasticidad:* "parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza."[3]

*Ductilidad:* "capacidad que posee un material para soportar grandes deformaciones plásticas antes de la fractura, se asocia con los esfuerzos de tensión."[4]

*Fragilidad: "*se presenta lo opuesto a la ductilidad; un material es frágil cuando se fractura a deformaciones unitarias relativamente bajas, más o menos del 5%."[5]

*Resiliencia: "*capacidad de absorber energía en el intervalo inelástico de esfuerzos."[6]

La importancia de reconocer la capacidad de resistencia de las tuberías ha sido materia de muchas y fuertes discusiones, de extensos estudios y de diversidad de pruebas de laboratorio, que han permitido evolucionar en el conocimiento del comportamiento mecánico de las tuberías. Es por ello, que así como se realizan estos ensayos para verificar las diferentes propiedades de la tubería nueva, es necesario practicar los mismos estudios a la tubería usada, puesto que ésta al ser

[2] Ibid, P. 16
[3] Ibid, P. 16
[4] Ibid, P. 16
[5] Ibid, P. 16
[6] Ibid, P. 16

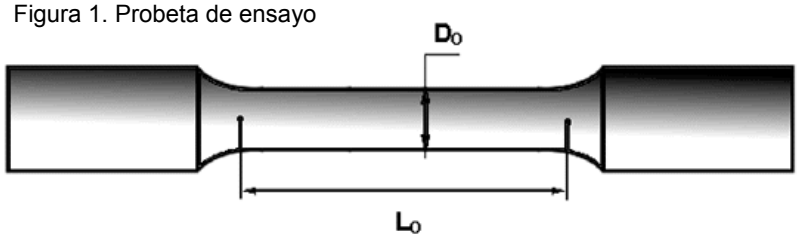
sometida a grandes esfuerzos en el ejercicio de la explotación petrolera pierde y la vez cambia algunas de sus propiedades iniciales.

La resistencia es una de las propiedades que sobresale a la hora de utilizar un material para realizar el diseño de determinado fin de la tubería; Así mismo, se deben evaluar diferentes condiciones de falla que ésta experimenta. Las principales fallas de las tuberías son básicamente el colapso, la tensión, estallido y corrosión.

Existe infinidad de formas para hallar la resistencia de una tubería, una de ellas es determinando la resistencia que opone el material a la deformación ante la exposición de una carga. Para establecer la fluencia de un acero, se recomienda, realizar una prueba de tensión (tracción) sobre un espécimen extraído tanto de la tubería nueva como de la tubería usada para efectos de la investigación.

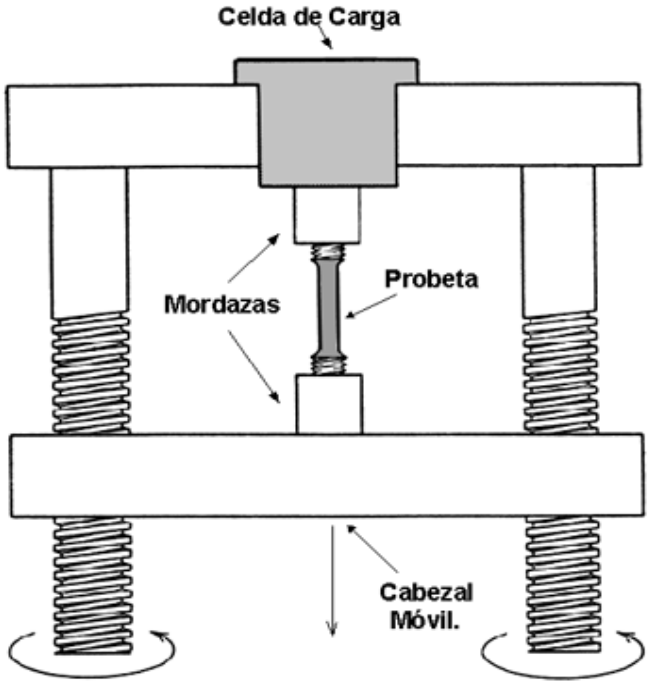
La descripción breve de este ensayo se estructura de la siguiente manera:
La figura ilustra una probeta al inicio del ensayo indicando las medidas iniciales necesarias.

Figura 1. Probeta de ensayo



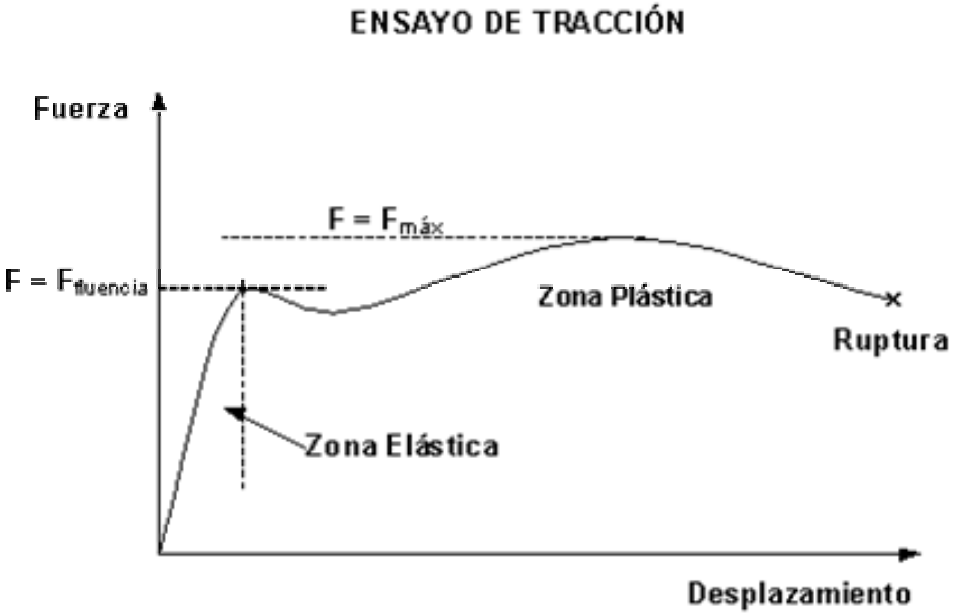
Se coloca una probeta (espécimen) en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

Figura 2. Máquina para ensayo de tracción




La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad constante seleccionada. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, las máquinas poseen un plotter que grafica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

Figura 3. Curva obtenida en una máquina de ensayo de tracción para un acero.




Las curvas tienen una primera parte lineal llamada zona elástica, en donde la probeta se comporta como un resorte: si se quita la carga en esa zona, la probeta regresa a su longitud inicial.

Cuando la curva se desvía de la recta inicial, el material alcanza el punto de fluencia, desde aquí el material comienza a adquirir una deformación permanente.

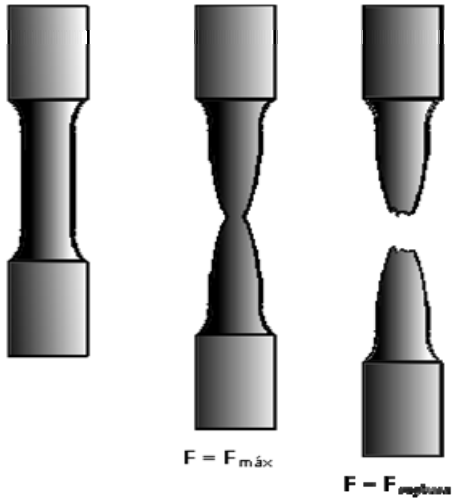
A partir de este punto, si se quita la carga la probeta quedaría más larga que al principio. El valor límite entre la zona elástica y la zona plástica es el punto de fluencia.

Luego de la fluencia sigue una parte inestable, que depende de cada acero, para llegar a un máximo esfuerzo. Entre el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo,

la probeta se alarga en forma permanente y repartida, a lo largo de toda su longitud. En el esfuerzo máximo la probeta muestra su punto débil, concentrando la deformación en una zona en la cual se forma un cuello.

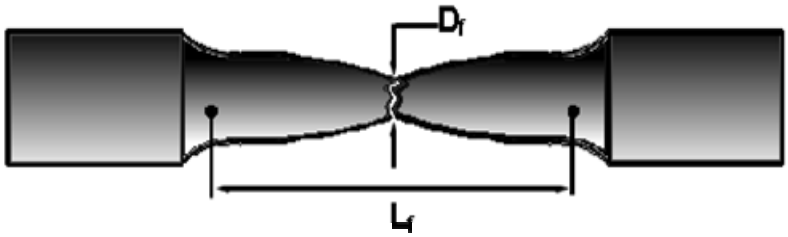
La deformación se concentra en la zona del cuello, provocando que la carga deje de subir. Al adelgazarse la probeta la carga queda aplicada en menor área, provocando la ruptura.

Figura 4. Forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura.



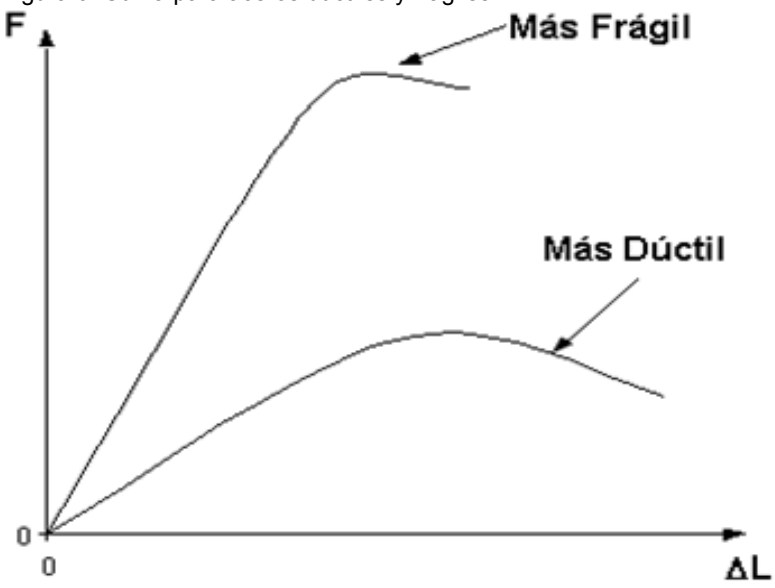

Analizando las probetas después de rotas, es posible medir dos parámetros: El alargamiento final Lf y el diámetro final Df , que nos dará el área final Af .

Figura 5. Forma de la probeta en el momento de ruptura



Ambos parámetros son las medidas normalizadas que definen la ductilidad del material, que es la capacidad para fluir, es decir, la capacidad para alcanzar grandes deformaciones sin romperse. La fragilidad se define como la negación de la ductilidad. Un material poco dúctil es frágil. La Figura  permite visualizar estos dos conceptos gráficamente.

Figura 6. Curva para aceros dúctiles y frágiles




El área bajo la curva fuerza - desplazamiento (F versus $\Delta$L) representa la energía disipada durante el ensayo, es decir la cantidad de energía que la probeta alcanzó a resistir. A mayor energía, el material es más tenaz.

A partir de los valores obtenidos en el gráfico Fuerza-Desplazamiento, se puede obtener la curva Esfuerzo-Deformación. El esfuerzo, que tiene unidades de fuerza partido por área, ha sido definido anteriormente, la deformación unidimensional:

$$\varepsilon = \frac{\mathbf{L} - \mathbf{L_o}}{\mathbf{L_o}}$$

Figura 7. Curva esfuerzo – deformación para un acero

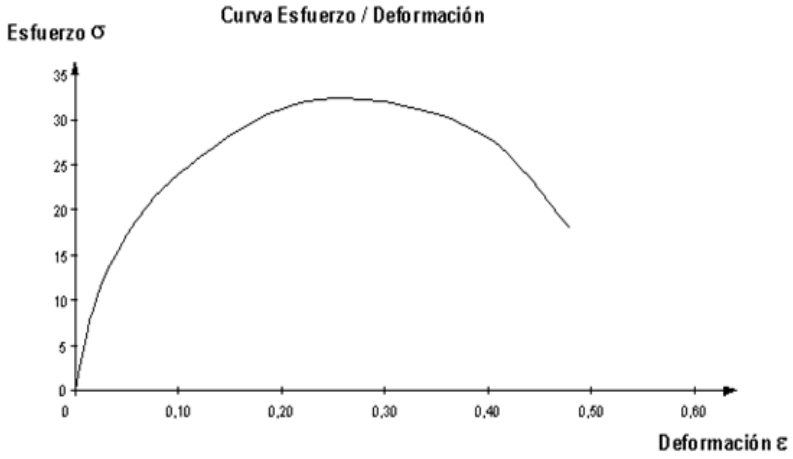
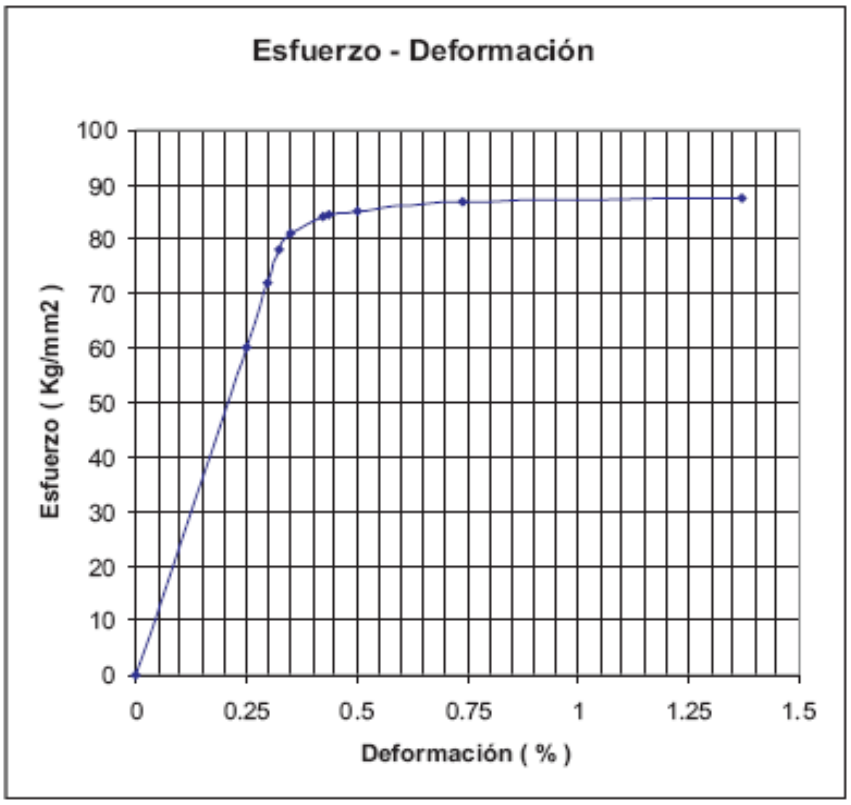



Figura 8. Curva esfuerzo – deformación para tubería petrolera



La determinación del límite de fluencia, consiste en trazar una línea recta desde el origen a lo largo de la parte inicial de la curva tensión/deformación, comportamiento elástico, hasta encontrar un punto en el cual la línea se desvía, lo que corresponde a la deformación plástica. Este punto podría ser considerado como el límite de fluencia o más correctamente, el comienzo de la deformación plástica. Lo anterior es válido solo para aceros con fluencia repentina.

La siguiente tabla muestra un resumen de los diferentes aceros grado API, que han sido ensayados antes de ser sometidos al ejercicio de la explotación petrolera, con sus respectivos valores de fluencia y resistencia en unidades de PSI.

Tabla 2. Relación de grados API para tubería petrolera[7]

| Grado | Cedencia Mínima | Ultima Resistencia | Grado | Ultima Resistencia |
|---|---|---|---|---|
| H-40 | 40000 | 60000 | C-95 | 105000 |
| J-55 | 55000 | 60000 | Q-125 | 145000 |
| K-55 | 55000 | 65000 | E-75 | 95000 |
| N-80 | 80000 | 95000 | X-95 | 115000 |
| L-80 | 80000 | 90000 | S-135 | 155000 |
| P-110 | 110000 | 125000 | C-95 | 105000 |
| C-75 | 75000 | 95000 | P-105 | 120000 |
| T-95 | 95000 | 105000 | G-105 | 120000 |

[7] Ibid. P. 34

Dentro de la explotación petrolera, las condiciones bajo las cuales trabaja una tubería en el interior de un pozo, son variadas y de magnitud considerada. Las cargas principales que se presentan en un pozo y que actúan sobre la tubería son: Cargas axiales, cargas de presión, cargas torsionales, cargas no axiales, corrosión y flexión.

- "Las cargas axiales se producen inicialmente por la acción natural de los efectos gravitacionales, es decir el peso propio de los tubos."[8]
- "Las cargas por presión que se presentan en las tuberías son generadas por el efecto de la presión hidrostática de los fluidos, actuando tanto en el interior como en el exterior del tubo."[9]
- "Las cargas torsionales son aquellas generadas por efecto del torque o par de apriete que experimentan las conexiones al momento de conectar en superficie cada tubería."[10]
- "Las cargas no asimétricas son aquellas cargas presentes en un pozo que se manifiestan por la variabilidad de su impacto sobre el cuerpo de la tubería."[11]
- "La carga de flexión es una carga axial de doble acción, debido a que se manifiesta como una carga de tensión en las caras exteriores de la tubería, y en una carga axial compresiva sobre la cara interna de la tubería"[12]

[8] Ibid. P. 55
[9] Ibid. P. 56
[10] Ibid. P. 56
[11] Ibid. P. 56
[12] Ibid. P. 56

Conociendo ya las cargas a las que se expone la tubería en la explotación petrolera, se puede tener una visión más clara al momento de reutilizar dicha tubería en un sistema estructural, pues cada una de las cargas a las que fue sometida, debe ser altamente evaluada, para así poder adquirir y brindar una mayor seguridad en la utilización de dichos elementos.

El estudio y evaluación de resistencia de la tubería petrolera utilizada, se presentará en el capítulo ingenieril del texto utilizando el método de ensayo a tracción.

El formato utilizado para un reporte de ensayo sobre tubería petrolera nueva, es el siguiente:

Tabla 3. Reporte de ensayo para tubería petrolera nueva

**INSPECTION CERTIFICATE**

(DIN 50049-3.1B - EN 10204-3.1B - ISO 10474-3.1B)

| Cliente / Customer | | Expediente/ Manufacturing Order | Número / Number | Fecha / Date | Pág./Page |
|---|---|---|---|---|---|
| VINCENT METALS | | 5/6900.01 | 135578 | 07/07/2001 | 1 / 7 |
| Producto / Product | | Orden de Compra/ Purchase Order | Item | Referencia del Cliente / Customer Reference | |
| HFS MECHANICAL TUBES | | 372598 | | 0909-1438 | |
| Norma / Standard | | Grado / Grade | | Extremo / Ends | |
| ASTM A519 + SPEC. VINCENT VS-709 REV.C/96. | | 4140-RY80 | | PLAIN END DEBURRED | |
| Dimensiones / Dimensions | Schedule | Peso Nominal / Nominal Weight | Longitud / Length | Superficie Externa / External Surface | Cantidades / Quantities |
| 95.25 x 12.70 mm<br>3 3/4 x 0.500 inches | | 17.36 LB/FT<br>25.85 KG/MT | MF 9449 mm | VARNISHED | 18 Pz 170.58 m 4301 Kg<br>18 Pcs 559.65 Ft 9658 Lb |

**ENSAYOS DE TRACCION / TENSILE TEST**

| Colada | N° de Ensayo | Condición de la probeta | | | | | | Temp. de Ens. | Dimensiones | Sección | Fluencia / Yield Strength | | | | | | Rotura/U.T.S | | | Relación F/R | Alargamiento Elongation | | | Red. de area | | Dureza / Hardness Tipo / type: HRC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Specimen condition | | | | | | Test Temp | Size | Area | Offset Method | | EUL Method | | | | | | | YS/UTS Ratio | | | | Area Red. | | | | | |
| Heat | Test N° | Zona Zone | Estado | Ext. | N° P/T | Tipo Type | Ori | °F | Inches | Inches2 | Req. Min 0.2% | V. obt. | EUL | Req. Min | V. obt | Req. Max | Req. Min | V. obt. | Req. Max | Req. Max | Obt | Lo 2" | Req. Min | V. obt | Req. Min | % | Req. Min | V. Obt. | | Req. Max |
| | | | | | | | | | | | Ksi | | % | Ksi | | | Ksi | | | | | mm | % | | | | | | | |
| 45445 | 291032 | C/B | PRO | | | ST | L | TA/RT | 0.772 X 0.500 | 0.380 | 80 | 94.7 | 0.5 | 80 | 91.3 | 95 | 100 | 108.3 | | | | 50.8 | 20.2 | 31.1 | 40 | 61 | 16 | 26 | 20 | 20 | 22 |
| 45445 | 291033 | C/B | PRO | | | ST | L | TA/RT | 0.772 X 0.520 | 0.405 | 80 | 92.8 | 0.5 | 80 | 89.1 | 95 | 100 | 107.3 | | | | 50.8 | 20.2 | 31.1 | 40 | 62 | 16 | 26 | 20 | 20 | 22 |

| TEST TECNOLOGICO / TECHNOLOGICAL TEST | | | | | | NOTA / NOTE: |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aplastamiento Flattening Test | Curvado Bend test | Abocardado Flaring Test | Pestañado Flange Test | Ens. De anillo expandido Ring expanding Test | Ens. De Tracción de anillo Ring tensile Test | |
| N.A | N.A | N.A | N.A | N.A | N.A | |

Pro = Proceso/ Process
N = Normalizada/ Normalized
DIST = Distensionada / Stress Relief
Q & T = Templado y Revenido/ Quenched & Tempered
TA/RT = Temp. Ambiente/ Room Temperature

RE = Rectangular
CI = Cilíndrica/ Cylindrical
ST = Segmento Tubular / Tubular segmen
TU = Transversal

C/B = Cuerpo / body
R/U = Recalque/ Upset
P / A = Promedio / Average
Min = Mínimo / minimum
Max = Máximo / Maximum

L = Longitudinal
T = Transversal
P/T = Tubo/ Pipe
EXT = Extremo/ End
M = Medio/ Middle

V.Obt. = Valor Obtenido / Obtained value
E = Comienzo de marcación/ Starting starting
O = Extremo opuesto al E/ Opposite extreme to E

**2.1.2 La tubería petrolera, como elemento estructural.** La construcción de "estructuras destinadas a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías"[13] cuyo "sistema estructural comprendido de miembros lineales que forman patrones triangulares"[14] y construido con "elementos de acero utilizado en la actividad de explotación de yacimientos petroleros"[15] es un novedoso sistema que se emplea en la extensión de las redes viales.

La tubería petrolera tiene como función principal, transportar crudo en la succión de pozos profundos. Por ello, en su fabricación se hace énfasis en caracterizarla, de tal manera que soporte los esfuerzos generados por la presión que ejerce el fluido que va desde el centro (en la línea de diámetro) hacia fuera.

Por otra parte, los puentes están diseñados para soportar "fuerzas que actúan o pueden actuar sobre una estructura; carga muerta y carga viva incluyendo todos sus componentes"[16], las cuales generan que sus "elementos estructurales pierdan su forma regular o natural"[17] y estos no lleguen a "fallar por iniciación y propagación de grietas en sus miembros estructurales sometidos a cargas

[13] (En línea)<http://www.construaprende.com/tesis02/2006/09/12-definicion-de-puente.html (consultado el 18 de septiembre de 2007)
[14] ROGER L. BROCKEN B. FREDERICK S. Manual de diseño de estructuras de acero. 2a. ed. México: Mcgraw Hill, 1998. Tomo III. Pág. 165
[15] Ibid, tomo III. P. 167
[16] McCORMAC, Jack C. Diseño en estructuras de acero con el método LRFD. 2a. ed. México: Alfaomega, 2002. P. 35
[17] Ibid, P. 36

cíclicas; y puede ocurrir a niveles de esfuerzo muy por debajo del esfuerzo de sedencia"[18].

Es por ello, que se deben utilizar unos filtros específicos en el diseño utilizado tanto en la selección de la tubería, que es enviada al sitio de la obra. Allí se realiza la limpieza interna y externa previa a la aplicación de antioxidantes, pintura anticorrosiva y esmalte de color.

**2.1.3 Métodos de diseño para estructuras metálicas.** La conformación estructural de un puente en tubería petrolera, debe ser diseñada muy detalladamente, en especial las vigas longitudinales de éste; pues se sabe que sobre ellas es donde recae la mayor parte de la carga a la cual esta sometida el puente.

Existen tres métodos de diseño importantes, para determinar la conformación optima de un sistema estructural de este tipo.

- *Esfuerzo admisible*

  El método se basa en la teoría de la elasticidad y consiste en limitar los esfuerzos en todos los puntos de la estructura a valores admisibles por debajo del esfuerzo de falla cuando se encuentra sometida a cargas de trabajo. Cabe resaltar, que este método no tiene en cuenta la naturaleza probabilística ni de las cargas ni de los materiales y además la resistencia debe ser mayor o igual que el efecto de las cargas.

[18] Ibid. P. 38

- *Diseño a la rotura*

  Se basa en la reserva de capacidad inelástica, y los elementos se diseñan para su resistencia al colapso.

- *Diseño para estados limites.*

  Se rige en el diseño por factores de carga y resistencia. Su principio es disminuir la probabilidad de falla en todos los puntos de la estructura, cuando esta sometida a ciertos estados limites considerados importantes.

  Debe entenderse por estado límite, el estado mas allá del cual la estructura deja de cumplir la función para la que fue diseñada.

  Existen estados límites de servicio, el cual hace referencia al funcionamiento de las estructuras, es decir, se preocupa por las deflexiones, vibraciones, fatiga, agrietamiento etc.

  Estados limites de resistencia que tienen que ver con la capacidad de carga, fluencia, pandeo e inestabilidad.

Los anteriores métodos de diseño, se encuentran específicamente detallados en el texto diseño de estructuras metálicas, método LRFD.[19]

## 2.2 MARCO NORMATIVO

Tabla 4. Normas Técnicas

| NOMBRE | NORMA | CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|---|
| Ensayo de tensión de barras y alambres de acero | I.N.V. E - 501 | COPANT R2<br>ASTM A 370<br>AASHTO T 244<br>AASHTO T 68<br>ICONTEC 2 | Procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la tensión de las barras y alambres de acero, el ensayo de tensión consiste en someter el espécimen a una carga determinada, suficiente para causar su rompimiento. |

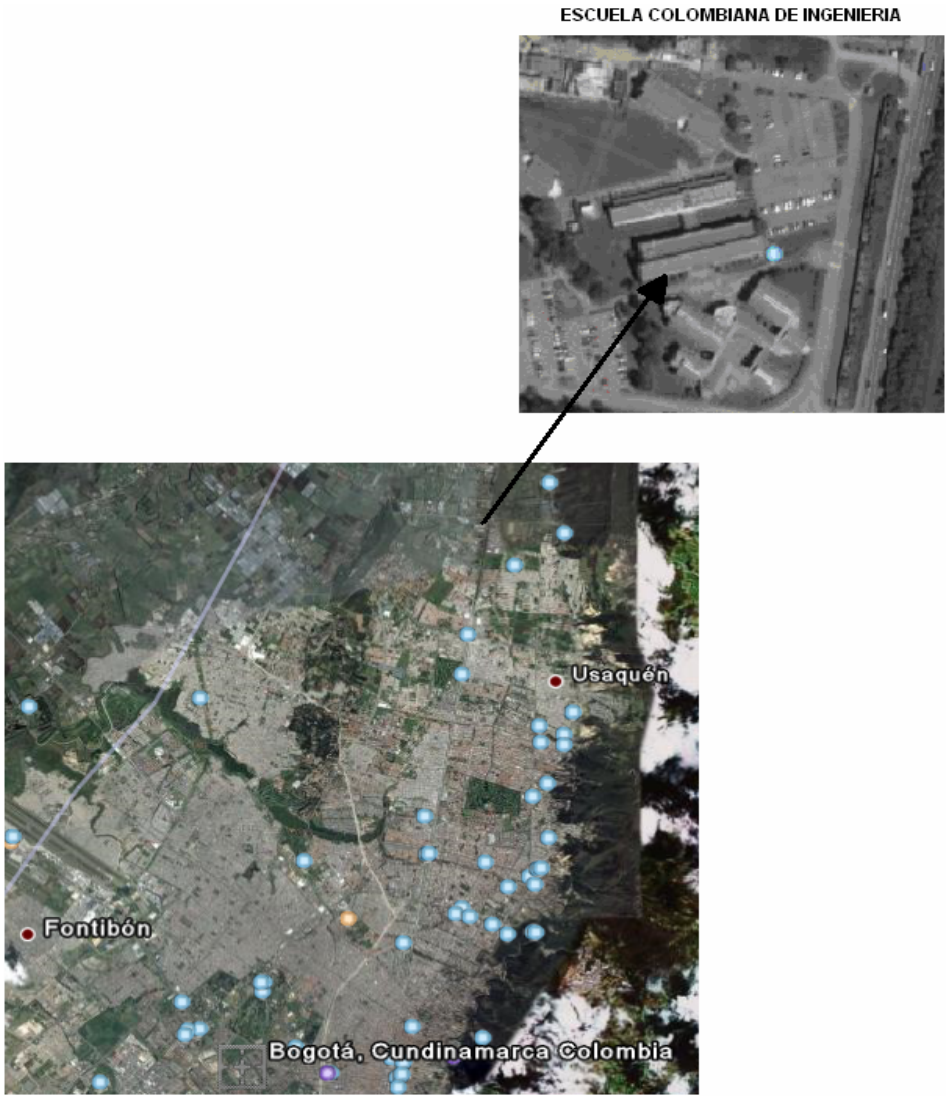
[19] Ibid, P. 55

## 2.3 MARCO CONTEXTUAL

La tubería se tomó por muestreo de depósitos de algunas empresas de explotación petrolera tales como Bp exploration, Perenco Colombia, Halliburton ubicadas en el departamento de Casanare y empresas comerciantes de este tipo de acero ubicadas en la ciudad de Bogotá.

Se ensayó en el laboratorio de la universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito ubicada en la Autopista norte No. 205 – 59 de la ciudad de Bogotá.

Figura 9. Ubicación laboratorio de ensayos a tracción



# 3. METODOLOGÍA

## 3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología desarrollada en la investigación "Tubería petrolera…recurso para la construcción de puentes", fue la experimental, Según HERNANDEZ, Roberto et al[19]. "Los experimentos auténticos o puros manipulan variables independientes para observar sus efectos sobre variables dependientes en una situación de control" ya que se analizaron las relaciones entre variables independientes, como la caracterización de la tubería, utilización de la soldadura, tipología de la conformación estructural y el efecto de estas sobre la seguridad que debe ofrecer el puente como variable dependiente. Todo esto se elaboró a partir de ensayos a tracción en el laboratorio y análisis de software especializado. (SAP 2000).

La investigación se realizó en tres fases.

FASE I. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

- Entrevistas y visitas técnicas.
- Normas referentes a ensayos para materiales en acero.
- Caracterización de la tubería

[19] HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto et al. Metodología de la investigación. 3a. Ed. México: Mc Graw Hill, 2003. P.188

FASE II. DESARROLLO DE ENSAYOS

- Extracción probetas para ensayos.
- 3 ensayos de tracción en el laboratorio

FASE III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Análisis en el programa SAP 2000
- Conclusiones
- Recomendaciones

## 3.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de esta investigación fue determinar las características y comportamiento de la tubería petrolera como parte estructural en la construcción de puentes.

## 3.3 FORMATOS

Se efectuaron los ensayos correspondientes utilizando como instrumento de registro el formato establecido por el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, especificado de la siguiente manera:

- Formato para el ensayo a tracción de barras de acero, ASTM A 370, ISO R 89, AASHTO T 244, AASHTO T 68, ICONTEC 2. Anexo 1.

## 3.4 VARIABLES

Cuadro 1. Variables objeto de estudio

| FACTORES DE ANÁLISIS | VARIABLES | INDICADORES |
|---|---|---|
| Determinación curva esfuerzo – deformación | Especimen de tubería petrolera usada | • Carga.<br>• Deformación. |

## 3.5 HIPÓTESIS

La caracterización de la tubería petrolera usada, establece una mayor seguridad en la parte estructural de los puentes construidos con dicho material.

## 3.6 COSTOS

Los costos totales de la investigación, fueron $ 7.317.605,40.

### 3.6.1 Recursos institucionales

- Universidad de la Salle.
- Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Gobernación del Casanare.
- Sandco Tech
- Selmac Ltda.

# 4. TRABAJO INGENIERIL

## 4.1 DESARROLLO

**4.1.1 Entrevistas y visitas técnicas.** Como se describió en el problema de la investigación, en el departamento del Casanare es donde se implementa la construcción de puentes con tubería petrolera en su sistema estructural, por ende hubo que realizar visitas técnicas al lugar donde se encuentran dichas construcciones.

El objetivo primordial de las visitas, fue tomar registro de todos y cada uno de los elementos estructurales que conforman el puente y específicamente, realizar un análisis detallado del estado en el cual se encuentra la tubería; es decir, si existe corrosión en ella, o si ha sufrido alguna deflexión o deterioro debido a las grandes cargas a las cuales a sido sometido el puente en el tiempo de utilización.

Figura 10. Registro del estado y configuración estructural de la tubería petrolera en un puente

Dentro de los puentes construidos con tubería petrolera, cabe mencionar los más relevantes:

- Puente Los Troncos ubicado vía a al vereda el pretexto en el municipio de Nunchía departamento del Casanare, con una luz de 8.5 mts.
- Puente Alemania ubicado vía a la vereda alemania en el municipio de Yopal departamento del Casanare, con una luz de 12 mts.
- Puente Nocuito ubicado en la vía mate pantano - punto nuevo en el municipio de Yopal departamento del Casanare, con una luz de 14.5 mts.
- Puente el Arenal ubicado vía a la vereda el arenal en el municipio de Yopal departamento del Casanare, con una luz de 24 mts.
- Puente Caño canacavare ubicado vía a la vereda Maremare en el municipio de Orocue departamento del Casanare, con una luz de 32 mts.
- Puente la palmita ubicado vía a la vereda la Palmita en el municipio de Nunchía departamento del Casanare, con una luz de 52 mts.

Ingenieros especializados en el diseño de estructuras metálicas, señalan que la conformación estructural específicamente de la viga de un puente en tubería petrolera, debe ser sometida a varios estudios en su diseño, puesto que se trabaja con un valor supuesto en resistencia, por lo cual no se brinda una seguridad total para el uso de estos puentes en vías donde el transito de vehículos pesados es elevado.

**4.1.2 Extracción y caracterización de la tubería petrolera usada.** La consecución de la tubería petrolera para efectos de ensayo, se realizó a través de las empresas Halliburton y Selmac Ltda. Con sede en Yopal capital del departamento del Casanare.

Actualmente, la tubería petrolera usada se consigue en depósitos ubicados en la zona industrial de Bogotá D.C

Figura 11. Depósitos de tubería petrolera usada

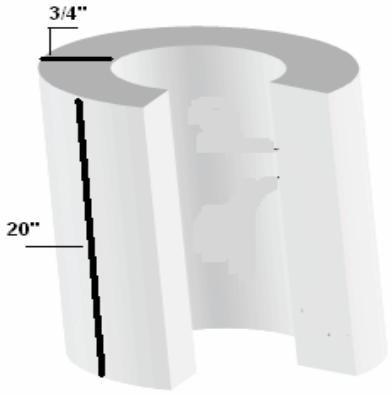
Para la extracción de las muestras de la tubería petrolera, se presentaron varias propuestas como:

- Extraer varias fibras con área de 1 $cm^2$ y una longitud determinada, soldarlas utilizando la soldadura que se utiliza en las juntas de la tubería que conforma la parte estructural de los puentes. Dicha propuesta no fue viable, debido a que no se le podía dar una forma adecuada a la probeta para ser fallada en una

máquina a tracción como aconseja la norma; es decir la probeta no se podría fallar a tracción.

- Fundir tubería petrolera, y luego fabricar probetas macizas con dimensiones aptas para realizar el ensayo. Otra propuesta no viable y la menos aconsejable, puesto que al fundir el material cambiaria totalmente y de manera abrupta las propiedades y características de la tubería.
- Como ultima opción, la mas viable y la ejecutada, tenemos:
  - De la tubería escogida por muestreo, se tomo un espécimen que por clasificación grado API, es S-135, (tabla 2), diámetro nominal de 51/2" y ¾" de espesor.
  - Se extrajeron rebanadas con sección transversal de ¾" por ¾" y una longitud de 20" utilizando sistemas de extracción, de manera tal que no se alteraran las propiedades y características de la tubería.

Figura 12. Extracción de rebanadas para caracterización de probetas




a) Cada muestra, fue sometida al moldeo de un torno, el cual con mucha sutileza del tornero, dio forma a cada una de las probetas.

b) Las probetas se dimensionaron siguiendo las especificaciones de la norma 501 del INVE quedando de la siguiente manera.

Figura 13. Probeta para ensayo a tracción de la tubería petrolera

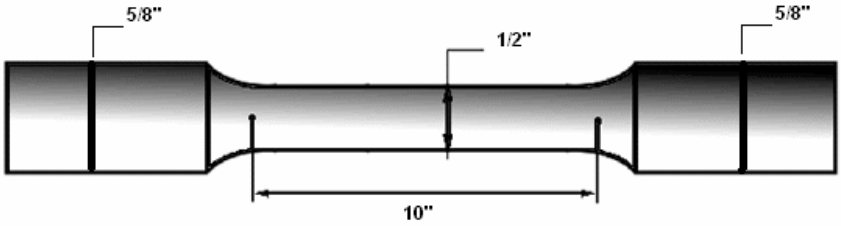



Figura 14. Registro de probetas para ensayo a tracción de la tubería petrolera

**4.1.3 Ensayo a tracción para la tubería petrolera usada**. Como se definió anteriormente, la mejor forma para hallar la resistencia de un material, es determinar su esfuerzo de fluencia por medio de ensayos a tracción. Es decir, someter el material a cargas axiales de tal manera que este sufra una deformación y por medio de conceptos teóricos obtener dicha resistencia.

Lo anterior fue lo que se hizo para determinar la resistencia de la tubería petrolera usada.

Figura 15. Equipo para ensayos a tracción

La ejecución de los ensayos, se llevo a cabo como se enmarco en el capitulo 2 del texto; es decir, siguiendo las especificaciones técnicas demandadas por las normas que conciernen a ensayos para materiales de acero sometidos a tracción.

Las probetas utilizadas para el ensayo fueron tres, cada una con las dimensiones iguales como se especifico en la parte de extracción y caracterización de las muestras.

El procedimiento utilizado para someter cada una de las muestras al ensayo de tracción, fue el siguiente:

a) Se colocó una marca cada 5 cm a lo largo de la probeta.
b) Se llevo la muestra al dispositivo (maquina para ensayos a tracción), colocando las mordazas en la garganta de cada uno de los extremos de la probeta.

Figura 16. Probeta en el dispositivo

c) Se coloco un deformímetro a lo largo de la probeta, para medir el alargamiento de ésta.

Figura 17. Deformimetro conectado a la probeta

d) Se inicio el ensayo aplicando carga y velocidad constante del dispositivo.

e) Se llevo un registro manual de carga vs deformación y, un registro automático de carga vs deformación entre mordazas.

f) Después de que la probeta falló; se tomo un registro de reducción de área y alargamiento total.

Figura 18. Probeta luego de la falla

g) Se procedió de la misma manera para las muestras dos y tres.

h) Con los datos obtenidos se obtuvo la grafica de esfuerzo – deformación unitaria y carga vs deformación.

i) Por medio de la grafica se hallo el esfuerzo de fluencia de cada una de las probetas.

**4.1.4 Resultados del ensayo a tracción para la tubería petrolera usada.** Los datos obtenidos sobre cada una de las probetas, se muestran a continuación:

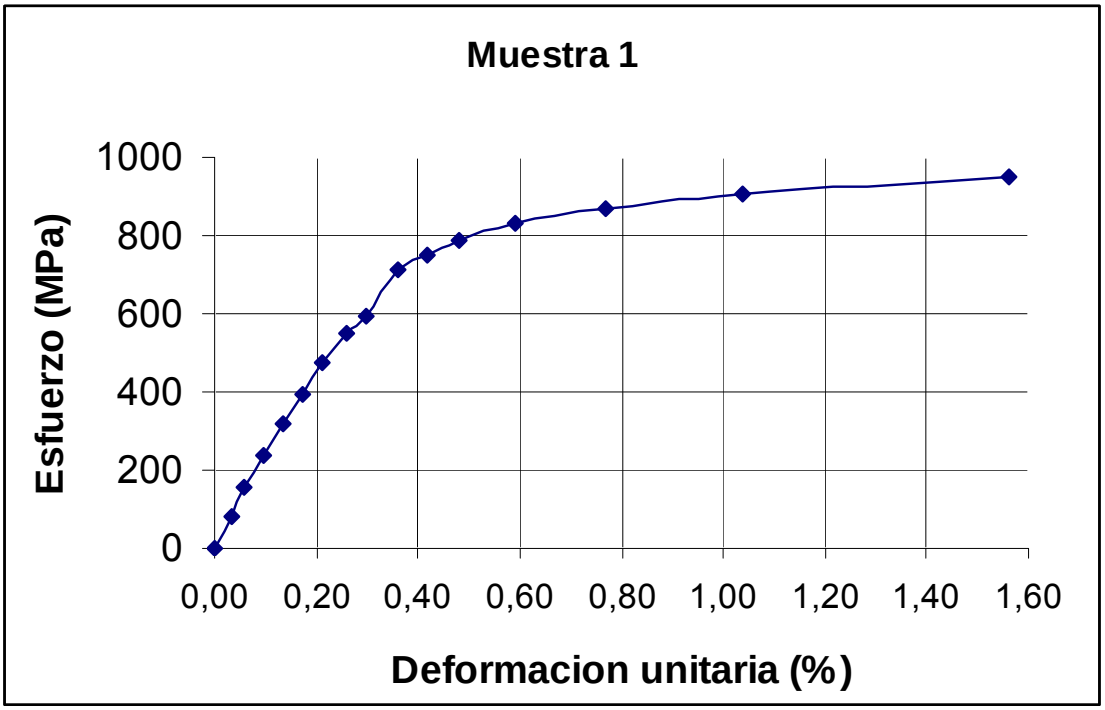
Nota: El formato utilizado para realizar el registro del ensayo es: (anexo B)

- Muestra 1.

Tabla 5. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera

| Carga (Kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (Mpa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0,08 | 79 | 0.032 |
| 2000 | 0,15 | 158 | 0.060 |
| 3000 | 0,24 | 237 | 0.096 |
| 4000 | 0,34 | 316 | 0.136 |
| 5000 | 0,43 | 395 | 0.172 |
| 6000 | 0,53 | 474 | 0.212 |
| 7000 | 0,65 | 553 | 0.260 |
| 7500 | 0,75 | 592 | 0.300 |
| 9000 | 0,90 | 710 | 0.360 |
| 9500 | 1,05 | 750 | 0.420 |
| 10000 | 1,20 | 789 | 0.480 |
| 10500 | 1,48 | 829 | 0.592 |
| 11000 | 1,92 | 868 | 0.768 |
| 11500 | 2,60 | 908 | 1.040 |
| 12000 | 3,90 | 947 | 1.560 |

Figura 19. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera




El esfuerzo de fluencia obtenido en la muestra 1, fue de 113675 psi igual a 794 MPa. Un esfuerzo ultimo de 136410 psi es decir 955 MPa. El modulo elástico es de 232353 $N/mm^2$. La rotura se presento fuera del tercio medio de la probeta.

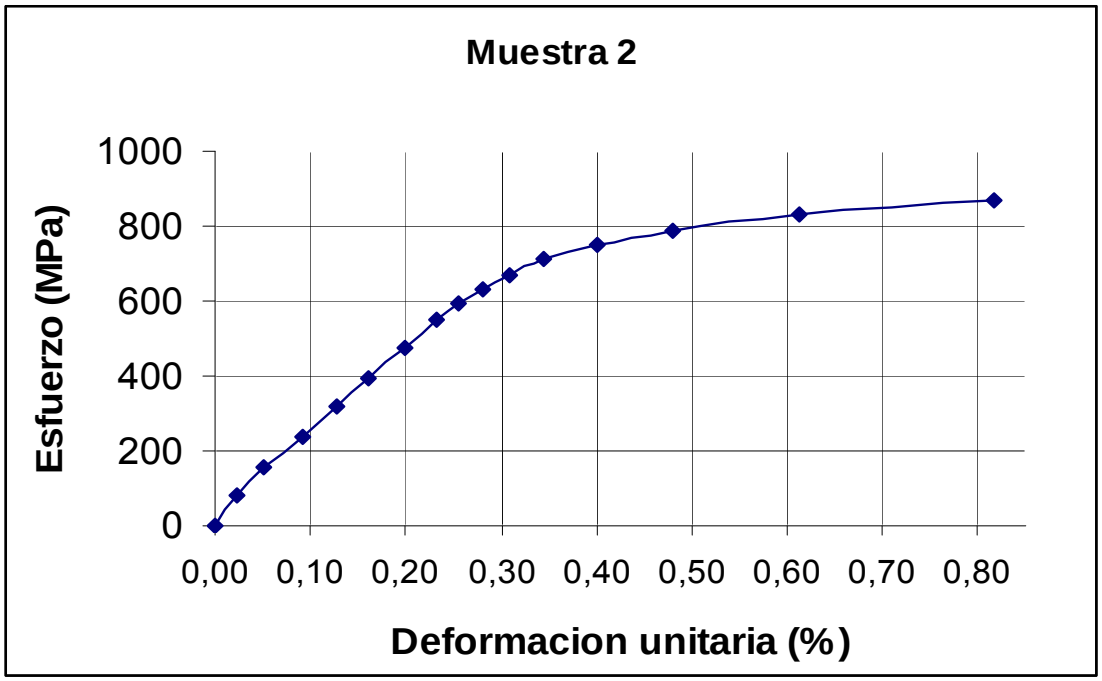
En los anexos, se encuentran los resultados de la muestra 1, emanados por la entidad que realizó los ensayos. Estos contienen, la tabla de resultados, grafica carga – deformación total entre mordazas. (Anexos C y D)

- Muestra 2.

Tabla 6. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera

| Carga (Kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (Mpa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0,06 | 79 | 0.024 |
| 2000 | 0,13 | 158 | 0.052 |
| 3000 | 0,23 | 237 | 0.092 |
| 4000 | 0,32 | 316 | 0.128 |
| 5000 | 0,40 | 395 | 0.160 |
| 6000 | 0,50 | 474 | 0.200 |
| 7000 | 0,58 | 553 | 0.232 |
| 7500 | 0,64 | 592 | 0.256 |
| 8000 | 0,70 | 632 | 0.280 |
| 8500 | 0,77 | 671 | 0.308 |
| 9000 | 0,86 | 710 | 0.344 |
| 9500 | 1,00 | 750 | 0.400 |
| 10000 | 1,20 | 789 | 0.480 |
| 10500 | 1,53 | 829 | 0.612 |
| 11000 | 2,04 | 868 | 0.816 |

Figura 20. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera



El esfuerzo de fluencia obtenido en la muestra 2, fue de 110426 psi igual a 762 MPa. Un esfuerzo ultimo de 137854 psi es decir 965 MPa. El modulo elástico es de 246875 N/mm$^2$. La rotura se presento fuera del tercio medio de la probeta.

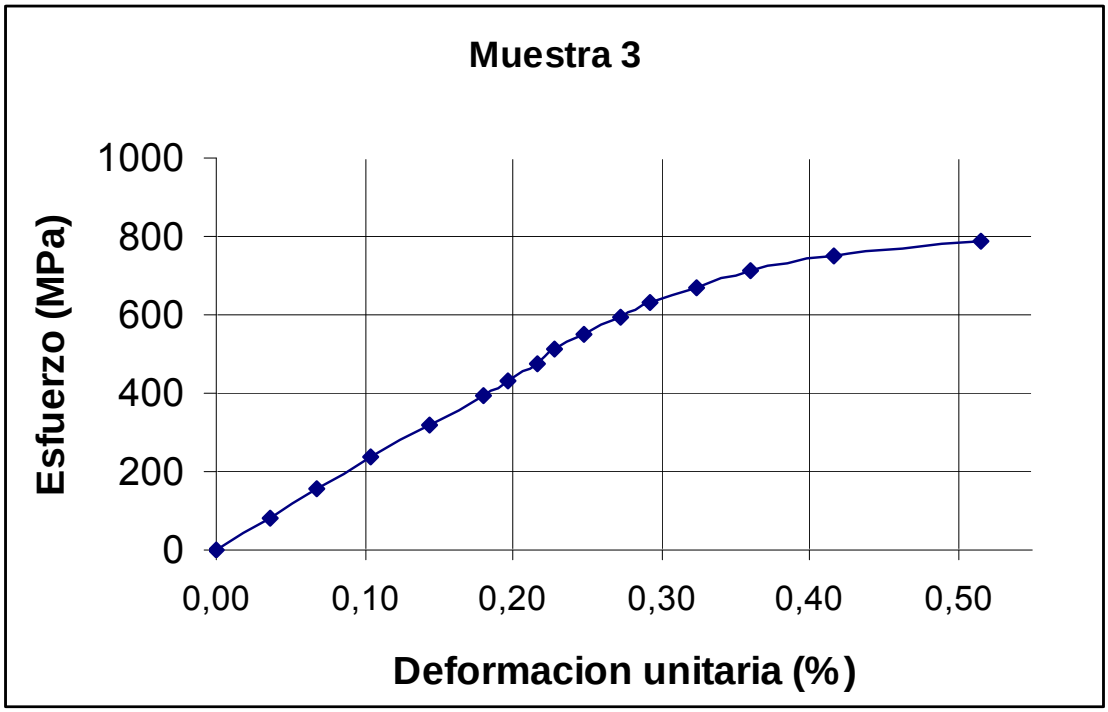
En los anexos, se encuentran los resultados de la muestra 2, emanados por la entidad que realizó los ensayos. Estos contienen, la tabla de resultados, grafica carga – deformación total entre mordazas. (Anexos E y F)

- MUESTRA 3.

Tabla 7. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera

| Carga (Kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (Mpa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0,09 | 79 | 0.036 |
| 2000 | 0,17 | 158 | 0.068 |
| 3000 | 0,26 | 237 | 0.104 |
| 4000 | 0,36 | 316 | 0.144 |
| 5000 | 0,45 | 395 | 0.180 |
| 5500 | 0,49 | 434 | 0.196 |
| 6000 | 0,54 | 474 | 0.216 |
| 6500 | 0,57 | 513 | 0.228 |
| 7000 | 0,62 | 553 | 0.248 |
| 7500 | 0,68 | 592 | 0.272 |
| 8000 | 0,73 | 632 | 0.292 |
| 8500 | 0,81 | 671 | 0.324 |
| 9000 | 0,90 | 710 | 0.360 |
| 9500 | 1,04 | 750 | 0.416 |
| 10000 | 1,29 | 789 | 0.516 |

Figura 21. Curva esfuerzo – Deformación de la tubería petrolera




El esfuerzo de fluencia obtenido en la muestra 3, fue de 98207 psi igual a 678 MPa. Un esfuerzo ultimo de 117194 psi es decir 820 MPa. El modulo elástico es de 246875 $N/mm^2$. La rotura se presento fuera del tercio medio de la probeta.

En los anexos, se encuentran los resultados de la muestra 3, emanados por la entidad que realizó los ensayos. Estos contienen, la tabla de resultados, grafica carga – deformación total entre mordazas. (Anexos G y H).

**4.1.5 Análisis de resultados.** Partiendo de una comparación detallada entre la tubería petrolera nueva y la usada, se puede afirmar que dicho material, cambió tanto sus características como sus propiedades, debido al sometimiento de cargas que recibe en el ejercicio de la explotación petrolera; ya su utilización sea en el revestimiento o en la producción.(Capítulo 2). Características y propiedades de la tubería petrolera.

La tubería analizada, corresponde a una clasificación por grado API de S – 135, donde nueva posee un esfuerzo de fluencia de 135000 psi igual a 930 MPa y una resistencia última de 155000 psi es decir 1070 MPa (tabla 2).

Cuando se realiza el ensayo a tensión (tracción) a la tubería petrolera usada, con las mismas características, tenemos que su esfuerzo de fluencia se encuentra alrededor de 112051 psi igual a 775 MPa y una resistencia ultima de 137132 psi es decir 960 MPa.

Por la anterior se puede definir y a la vez afirmar, que cuando la tubería petrolera se ha utilizado en la explotación del petróleo pierde por lo menos un 20 % de su resistencia nominal.

Cabe aclarar, que para establecer la fluencia de una tubería nueva con especificaciones API, este considera que dicha se encuentra a un 0.65% de la deformación total; si se ve la figura 20, que corresponde a la curva esfuerzo – deformación (muestra 2) de la tubería petrolera usada, tenemos que la fluencia del material, se encuentra aproximadamente al 0.35 % de la deformación total lo cual muestra, que el material esta llegando al limite plástico, mas o menos con la

mitad de la deformación que resistía antes de ser sometido a cargas producidas en el ejercicio de la explotación petrolera; El limite elástico de un acero convencional, se encuentra aproximadamente a un 0.2 % de su deformación total. Lo anterior no quiere decir, que la tubería petrolera usada se comporte como un acero convencional.

Para lo que tiene que ver con la capacidad que posee la tubería petrolera para soportar grandes deformaciones plásticas antes de la fractura es decir su ductilidad, la muestra 1 es un claro ejemplo de lo que le sucede a la tubería usada en la explotación petrolera. (Anexo C).

La gráfica de carga – alargamiento, muestra el comportamiento de un acero frágil; entendible, ya que a medida que el material es mas resistente, también es más frágil.

Realizando un estudio detallado de reducción de área y alargamiento de la probeta entre la tubería nueva y la ya utilizada, se puede argumentar que la tubería sufrió un cambio abrupto en una de sus propiedades, pues el material pierde la capacidad de alcanzar grandes deformaciones sin romperse. Es decir se volvió frágil.

La resistencia de un material es el factor más importante que se debe tener en cuenta al momento de diseñar, puesto que esta propiedad es la que le proporciona al diseñador una seguridad con respecto a la carga a la cual va a ser sometido.

Para el caso de la tubería petrolera usada, los resultados obtenidos muestran que dicho material es frágil. Esto no quiere decir que el material no pueda ser utilizado para fines estructurales, sino que al momento de diseñar, se debe tener en cuenta que el material fallará en la zona elástica, es decir que se debe disminuir la probabilidad de falla en todos los puntos de la configuración estructural para la cual se utilice dicho material.

**4.1.6 Análisis de la tubería petrolera como elemento estructural.** Partiendo de los resultados obtenidos al realizar el ensayo de tracción a la tubería petrolera usada (Fy = 775 MPa, Fu = 960 MPa y E = 239614 $N/mm^2$), se analizó la configuración estructural del puente alemania ubicado vía a la vereda alemania en el municipio de Yopal-Casanare, con una longitud de 12 mts y un ancho de carril de 4 mts.

Figura 22. Puente Alemania

Dicha configuración estructural, es una cercha convencional donde todos sus elementos son de la misma tubería ensayada.

Las dimensiones tanto de la cercha como de la tubería petrolera se muestran a continuación:

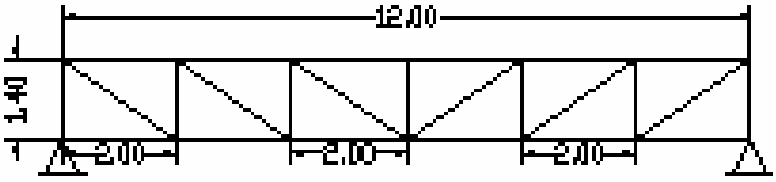
La cercha tiene una longitud de 12 m, una altura de 1.40 m, celosía cada 2 m y posee elementos diagonales de arrostramiento.

Como se mencionó anteriormente, todos los elementos estructurales están constituidos por tubería petrolera, con diámetro exterior de 5-1/2" y un espesor de ¾".

Las siguientes figuras, muestran el diseño y la configuración estructural de la cercha.

Figura 23. Detalle estructural de la cercha

Figura 24. Configuración estructural de la cercha



Para realizar el análisis estructural se utilizo el software Sap 2000 Ver. 11 y las especificaciones del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes-1995, se hallo:

- Carga muerta (D)

Losa (espesor de 10 cm) 2.4 * 0.10 * 2.0 → 0.48 ton/m

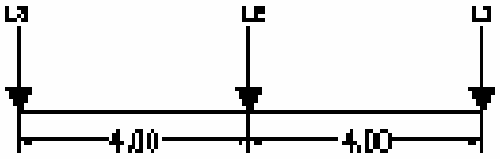
Baranda → 0.15 ton/m

Total 0.63 ton/m

$D = \frac{0.63 * 12}{7} = 1.08$ ton = 10.8 KN en cada nodo

- Carga viva (L) camión C40-95

Figura 25. Distribución de la carga del camión C40-95




$L_1 = 5.0$ ton

$L_2 = 7.5$ ton

$L_3 = 7.5$ ton

- Impacto (I)

$I = \frac{16}{40 + 12m} = 0.31$, se utiliza 0.30 por ser el máximo valor

- Carga viva mas Impacto (L+I)

$L_1$ = 5.0 * 1.30 = 6.5 ton = 65 KN

$L_2$ = 7.5 * 1.30 = 9.75ton = 97.5 KN

$L_3$ = 7.5 * 1.30 = 9.75 ton = 97.5 KN

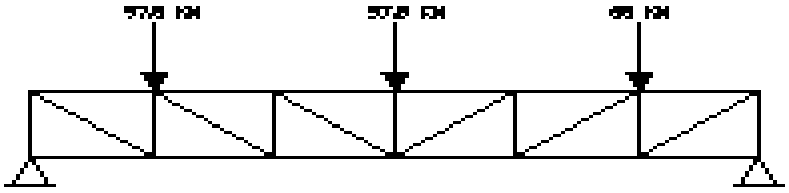
- Combinación

1.3D+2.171(L+I)

- Casos de posición de la carga viva mas impacto (L+I)

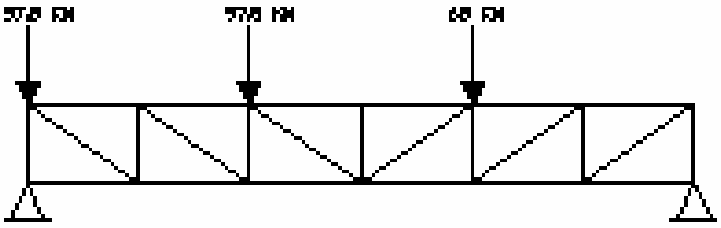
Caso 1

Figura 26. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 1



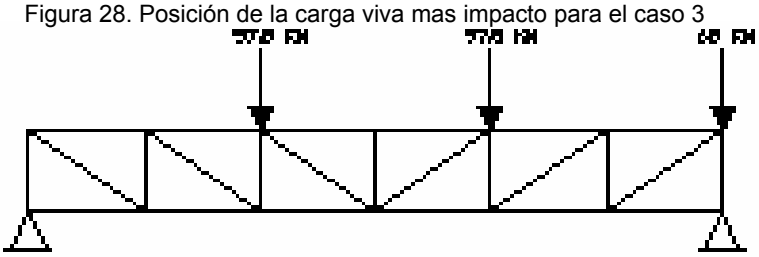
Caso 2

Figura 27. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 2



Caso 3

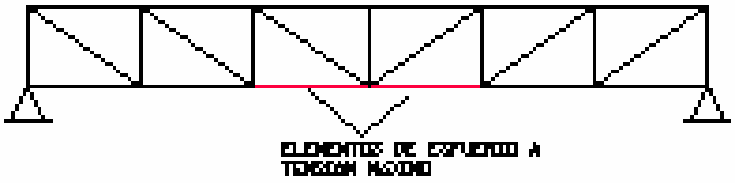
Figura 28. Posición de la carga viva mas impacto para el caso 3



- Resultado

En el anexo I se encuentran los tres archivos del análisis en Sap 2000 de los tres casos de carga viva. El mayor carga a tensión presentado en los elementos de la configuración estructural fue de 713 KN el cual presenta un esfuerzo de 397 MPa que es menor al admisible (Fy = 775 MPa). Dicho esfuerzo, se presento para el caso 3.

Figura 29. Elementos a Tensión máxima



La deflexión máxima esta dada por:

$$\delta_{MAX} = \frac{12m}{800} = 0.015m.$$

La deflexión máxima presentada fue de 0.0148 m en el caso 3.

## 6. CONCLUSIONES

- Se determinó que una de las posibles causas de la perdida de ductilidad de la tubería, tiene que ver con el sometimiento a cargas en el ejercicio de la explotación petrolera. El material pierde la capacidad de alcanzar grandes deformaciones plásticas antes de romperse.
- Se tiene, que el esfuerzo de fluencia se encuentra alrededor de 112051 psi igual a 775 MPa, una resistencia ultima de 137132 psi es decir 960 MPa y un modulo de elasticidad de 239614 $N/mm^2$.
- Se encontró que la resistencia de la tubería petrolera, pierde aproximadamente el 20 % de su resistencia nominal (nueva), cuando es utilizada en la extracción del petróleo.
- La deformación unitaria a la cual la tubería petrolera usada alcanza el esfuerzo de fluencia, esta por el rango del 0.35%, aproximadamente la mitad donde la tubería petrolera nueva alcanza su limite plástico puesto que para ello es del 0.65 %.
- Para efectos de diseño, se debe tener en cuenta que el material fallará en la zona elástica, por lo tanto se debe disminuir la probabilidad de falla en todos los puntos de la configuración estructural para la cual se utilice dicho material.
- Se tiene, que en los resultados obtenidos por resistencia que arrojo la investigación, la tubería petrolera utilizada como elemento estructural en la configuración de un puente, garantiza la seguridad vial siempre y cuando no

haya imperfectos en la soldadura, pues por teoría se sabe, que cuando existe una buena junta soldada, el material no fallaría por ésta, puesto que la soldadura debe tener mas resistencia que el mismo material.

Cabe resaltar, que la presencia de juntas soldadas defectuosas en las uniones tubulares, con el paso del tiempo generan fisuras por fatiga, que podrían hacer factible el colapso del puente.

- Al realizar una comparación teórica entre aceros convencionales como lo son el A 36 y el A 572, tenemos que el comportamiento que tiene la tubería petrolera en un sistema estructural es aceptable, puesto que por ser mas resistente, brinda una mayor seguridad estructural, siempre y cuando se tenga una constitución o configuración estructural optima para este tipo de material.
- A partir de los resultados del análisis de la configuración estructural del puente Alemania, se encontró que proporciona una seguridad vial en el transito de un camión C 40 – 95.
- Facilidad en la consecución de la tubería y reducción de costos.

# 7. RECOMENDACIONES

- Antes de realizar proyectos utilizando tubería petrolera usada, definir el tipo de tubería que se va a usar, y verificar la resistencia, debido a que ésta varía según la clasificación grado API que tenga.
- Al proponer una configuración estructural en tubería petrolera y tener definido el tipo de tubería, diseñar por el método que tiene en cuenta los factores de carga y resistencia.
- Realizar investigaciones futuras, ejecutando ensayos a tracción para cada una de las tuberías según la clasificación de la API y así tener un amplio rango de secciones circulares para escoger al momento de realizar un diseño estructural en tubería petrolera usada utilizando combinaciones de ésta.
- Como en la construcción de puentes en tubería petrolera usada, las juntas se realizan utilizando soldadura, es importante proponer una investigación donde se vean implicados la tubería y la soldadura como conjunto estructural, realizando un análisis detallado a la aplicación de la soldadura en el momento de su construcción y especificando las condiciones de la tubería para poder ser soldada.

## BIBLIOGRAFÍA


- Código Colombiano de diseño sísmico de puentes -1995. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías.

- [En línea]<http://www.tenaris.com/media/pr/prfiles/1820.pdf.P.7> (consultado el 25 de agosto de 2007).

- [En línea]<http://www.construaprende.com/tesis02/2006/09/12-definicion-de-puente.html> (consultado el 25 de agosto de 2007).

- HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto et al. Metodología de la investigación. 3a. Ed. México: McGraw Hill, 2003. 560 p

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y DE CERTIFICACION. Referencias bibliográficas para libros, folletos e informes. 2a. Ed. Bogotá: ICONTEC, 1996. 12 p. (NTC1160)

- -McCORMAC, Jack C. Diseño en estructuras de acero con el método LRFD. 2a. ed. México: Alfaomega, 2002. 468 p

- LEY 400 DE AGOSTO 19 DE 1997DECRETO 33 DE ENERO 9 DE 1998, NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE NSR-98. 4a. Ed. Colombia: 3R Editores Ltda., 2003. Tomo I.

- ROGER L. BROCKEN B. FREDERICK S. Manual de diseño de estructuras de acero. 2a. ed. México: Mcgraw Hill, 1998. Tomo I, II y III

- RUIZ SARAY, Rosa Amparo. Estructura para la presentación escrita de los informes del proyecto integrador. En: ASESORIA METODOLÓGICA (1º: 2003: Bogotá) memorias de la primera asesoría metodológica para la presentación de informes del proyecto integrador. Bogotá: USB. 2003. 15 p

# Anexo A

- Presupuesto de recursos materiales

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Papel bond tamaño carta | Global | 1 | $ 30.000,00 | $ 30.000,00 |
| Impresiones | Global | 1 | $ 200.000,00 | $ 200.000,00 |
| Discos compactos | Global | 1 | $ 10.000,00 | $ 10.000,00 |
| Libros | Global | 1 | $ 320.000,00 | $ 320.000,00 |
| Fotocopias | Global | 1 | $ 30.000,00 | $ 30.000,00 |
| Tubería petrolera | ml | 5 | $ 250.000,00 | $ 1.250.000,00 |
| TOTAL RECURSOS MATERIALES | | | | $ 1.840.000,00 |

- Presupuesto de recursos tecnológicos

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Cámara digital | Global | 1 | $ 450.000,00 | $ 450.000,00 |
| Digitación | Global | 1 | $ 300.000,00 | $ 300.000,00 |
| Impresora | Global | 1 | $ 300.000,00 | $ 300.000,00 |
| Internet | Global | 1 | $ 100.000,00 | $ 100.000,00 |
| SAP 2000 | Global | 1 | $ 100.000,00 | $ 100.000,00 |
| Fax | Global | 1 | $ 50.000,00 | $ 50.000,00 |
| Scanner | Global | 1 | $ 50.000,00 | $ 50.000,00 |
| Ensayos a tracción en Maquina universal | UND. | 3 | $ 200.000,00 | $ 600.000,00 |
| TOTAL RECURSOS TECNOLÓGICOS | | | | $ 1.950.000,00 |

- Presupuesto de recursos viáticos

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | Valor Unitario | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Transporte | DÍA | 8 | 150.000 | $ 1.200.000,00 |
| Alimentación | DÍA | 8 | 45.000 | $ 360.000,00 |
| Hospedaje | NOCHE | 7 | 50.000 | $ 350.000,00 |
| TOTAL VIATICOS | | | | $ 1.910.000,00 |

- Presupuesto de recursos humanos

| CARGO | ENCARGADO | # de Semanas | TOTAL |
|---|---|---|---|
| Investigador principal | WLMAR ARMANDO JIMENEZ MARULANDA. | 32 | -------- |
| | ANDERSON SALVADOR BERNAL TELLO. | 32 | -------- |
| | DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS. | 32 | -------- |
| Coinvestigador | ING. JORGE MARIO CUETO BAIZ.[1] | 28 | $ 121.000,00 |
| | Mag. ROSA AMPARO RUIZ SARAY.[2] | 32 | $ 148.148,00 |
| Colaboradores | ING. MARCOTULIO MARTINEZ | 2 | $ 200.000,00 |
| | ING. JAIME ACUÑA | 1 | $ 100.000,00 |
| | ING. JAVIER VIDAL | 1 | $ 100.000,00 |
| | ING. LUIS FELIPE CANCHALA | 5 | $ 500.000,00 |
| | ING. MARIO ENRIQUE CUETO | 1 | $ 100.000,00 |
| TOTAL RECURSOS HUMANOS | | | $ 1.269.148,00 |

- Presupuesto de recursos financieros

| RUBROS | FUENTES DE FINANCIACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INSTITUCIONES | | | | UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL | ESTUDIANTES | TOTAL |
| | Sandco Tech | Escuela Colombiana de Ingeniería | Gobernación del Casanare | Selmac Ltda | | | |
| **Recursos humanos** | 500.000,00 | | 200.000,00 | 100.000,00 | 269.148,00 | 200.000,00 | 1.269.148,00 |
| **Recursos materiales** | | | | | | 1.840.000,00 | 1.840.000,00 |
| **Recursos tecnológicos** | | 60.000,00 | | | | 1.890.000,00 | 1.950.000,00 |
| **Presupuesto de viáticos** | | | | | | 1.910.000,00 | 1.910.000,00 |
| **Subtotal** | 500.000,00 | 60.000,00 | 200.000,00 | 100.000,00 | 269.148,00 | 5.840.000,00 | 6.969.148,00 |
| **Imprevistos (5%)** | 25.000,00 | 3.000,00 | 10.000,00 | 5.000,00 | 13.457,40 | 292.000,00 | 348.457,40 |
| **TOTAL RECURSOS FINANCIEROS** | | | | | | | **7.317.605,40** |

[1] Valor asumido por la Universidad de la Salle, según acuerdo 129 de noviembre 24 de 2006
[2] Valor asumido por la universidad de la Salle, según contrato laboral.

Anexo B

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO**

**LABORATORIO DE MATERIALES**

| | | | |
|---|---|---|---|
| MUESTRA | | MUESTRA | |
| LONG. PROBETA | | LONG. PROBETA | |
| DIAMETRO PROBETA | | DIAMETRO PROBETA | |
| LONGITUD DE ENSAYO | | LONGITUD DE ENSAYO | |

| CARGA | DEFORMACION | CARGA | DEFORMACION |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION SOBRE PROBETA CILINDRICA

Informe No. 1174
hoja 1 de 3

Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**Obra: DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS**

Recepción muestra: 14-Nov-2007
Fecha de informe: 22-Nov-2007

MUESTRA No. 1

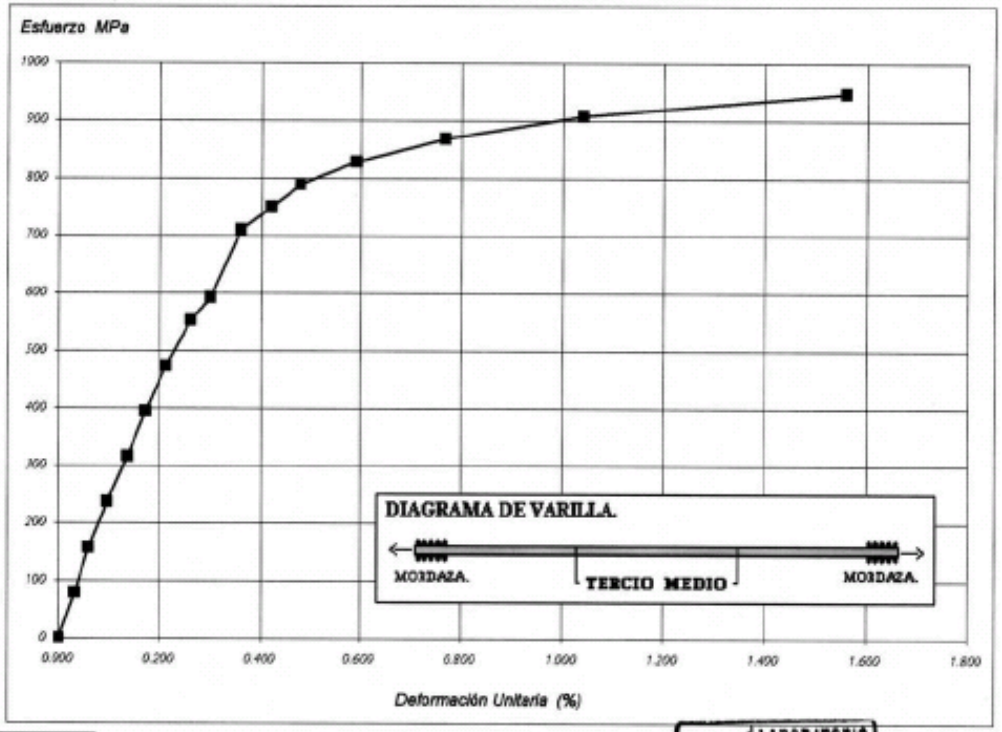
Procedencia: DESCONOCIDA

Detalle: Lisa

Diámetro nominal (mm): 12.7

Resistencia nominal:

| Carga (kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (MPa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0.08 | 79 | 0.032 |
| 2000 | 0.15 | 158 | 0.060 |
| 3000 | 0.24 | 237 | 0.096 |
| 4000 | 0.34 | 316 | 0.136 |
| 5000 | 0.43 | 395 | 0.172 |
| 6000 | 0.53 | 474 | 0.212 |
| 7000 | 0.65 | 553 | 0.260 |
| 7500 | 0.75 | 592 | 0.300 |
| 9000 | 0.90 | 710 | 0.360 |
| 9500 | 1.05 | 750 | 0.420 |
| 10000 | 1.20 | 789 | 0.480 |
| 10500 | 1.48 | 829 | 0.592 |
| 11000 | 1.92 | 868 | 0.768 |
| 11500 | 2.60 | 908 | 1.040 |
| 12000 | 3.90 | 947 | 1.560 |




| Alargamiento en 20 cm | |
|---|---|
| Obtenido | 3.5% |

Fy = Esfuerzo de fluencia
Fu = Esfuerzo máximo

| | ESFUERZOS OBTENIDOS | |
|---|---|---|
| | psi | MPa |
| Fy | 113675 | 784 |
| Fu | 136410 | 955 |

Rotura en el tercio medio: *FUERA*

LABORATORIO DE MATERIALES
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

ING. NANCY TORRES CASTELLANOS
Laboratorio de Materiales y Estructuras

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION DE PROBETA CILÍNDRICA DE ACERO

Informe No. 1174
Hoja 1 de 3

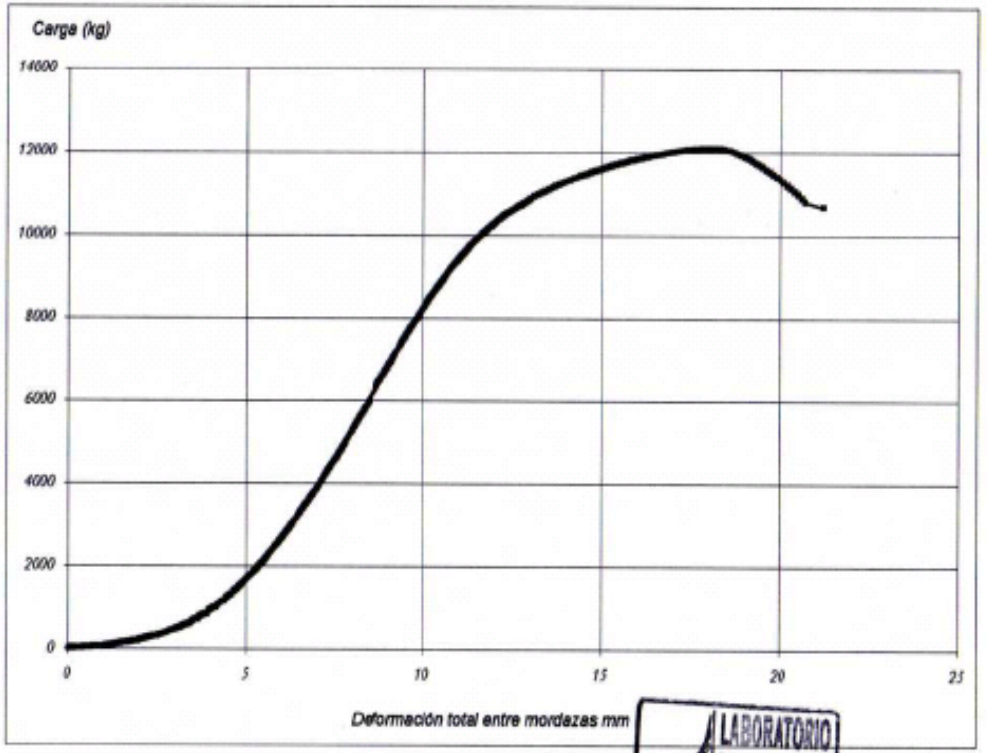
Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**
MUESTRA No. 1

Recepción muestra: 20 de Noviembre de 2007
Fecha de informe: 22 de Noviembre de 2007

**DIÁMETRO NOMINAL 1/2"**

| | N | kg-f |
|---|---|---|
| Carga de Fluencia | 97,373 | 9,936 |
| Carga Máxima | 118,541 | 12,096 |
| | **MPa** | **kg/cm²** |
| Esfuerzo de Fluencia | 784 | 7,844 |
| Esfuerzo Máximo | 955 | 9,549 |

Rotura : **Fuera del tercio Central**




LABORATORIO DE MATERIALES

**Ing. Nancy Torres Castellanos**
**Coordinadora Laboratorio De Materiales**

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION SOBRE PROBETA CILINDRICA

Informe No. 1174
hoja 2 de 3

Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**Obra: DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS**

Recepción muestra: 14-Nov-2007
Fecha de informe: 22-Nov-2007

MUESTRA No. 2

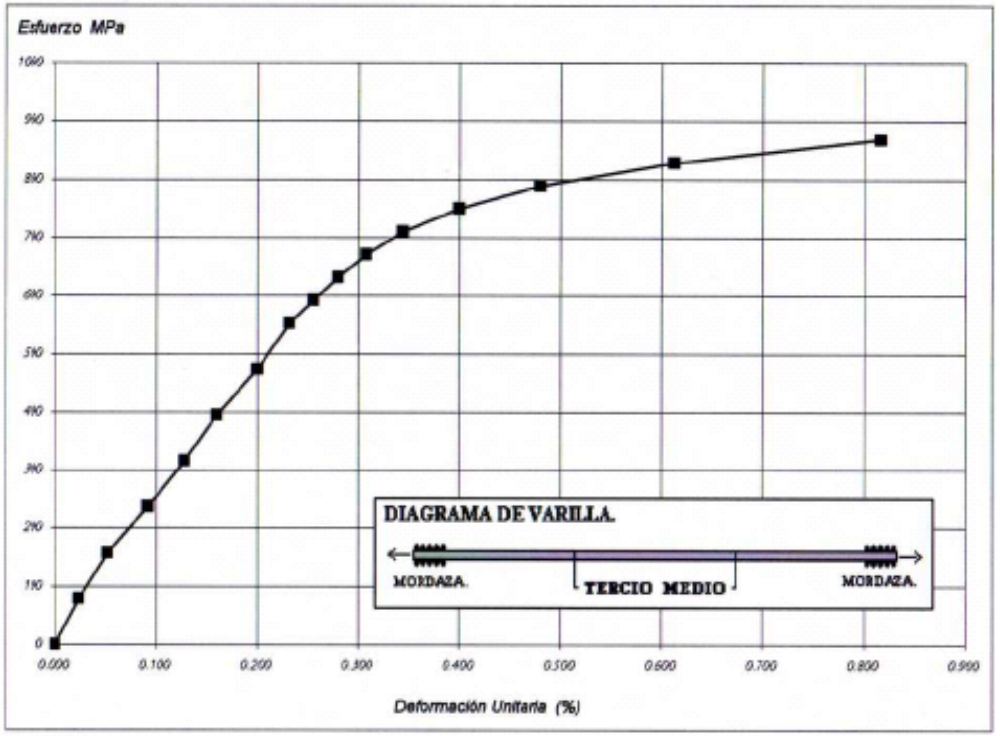
Procedencia: DESCONOCIDA

Detalle: Lisa

Diámetro nominal (mm): 12.7

Resistencia nominal:

| Carga (kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (MPa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0.06 | 79 | 0.024 |
| 2000 | 0.13 | 158 | 0.052 |
| 3000 | 0.23 | 237 | 0.092 |
| 4000 | 0.32 | 316 | 0.128 |
| 5000 | 0.40 | 395 | 0.160 |
| 6000 | 0.50 | 474 | 0.200 |
| 7000 | 0.58 | 553 | 0.232 |
| 7500 | 0.64 | 592 | 0.256 |
| 8000 | 0.70 | 632 | 0.280 |
| 8500 | 0.77 | 671 | 0.308 |
| 9000 | 0.86 | 710 | 0.344 |
| 9500 | 1.00 | 750 | 0.400 |
| 10000 | 1.20 | 789 | 0.480 |
| 10500 | 1.53 | 829 | 0.612 |
| 11000 | 2.04 | 868 | 0.816 |




| Alargamiento en 20 cm | |
|---|---|
| Obtenido | 4.0% |

Fy = Esfuerzo de fluencia
Fu = Esfuerzo máximo

| | ESFUERZOS OBTENIDOS | |
|---|---|---|
| | psi | MPa |
| Fy | 110426 | 762 |
| Fu | 137854 | 965 |

Rotura en el tercio medio: *FUERA*

LABORATORIO DE MATERIALES

**ING. NANCY TORRES CASTELLANOS**
Laboratorio de Materiales y Estructuras

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION DE PROBETA CILÍNDRICA DE ACERO

Informe No. 1174
Hoja 2 de 3

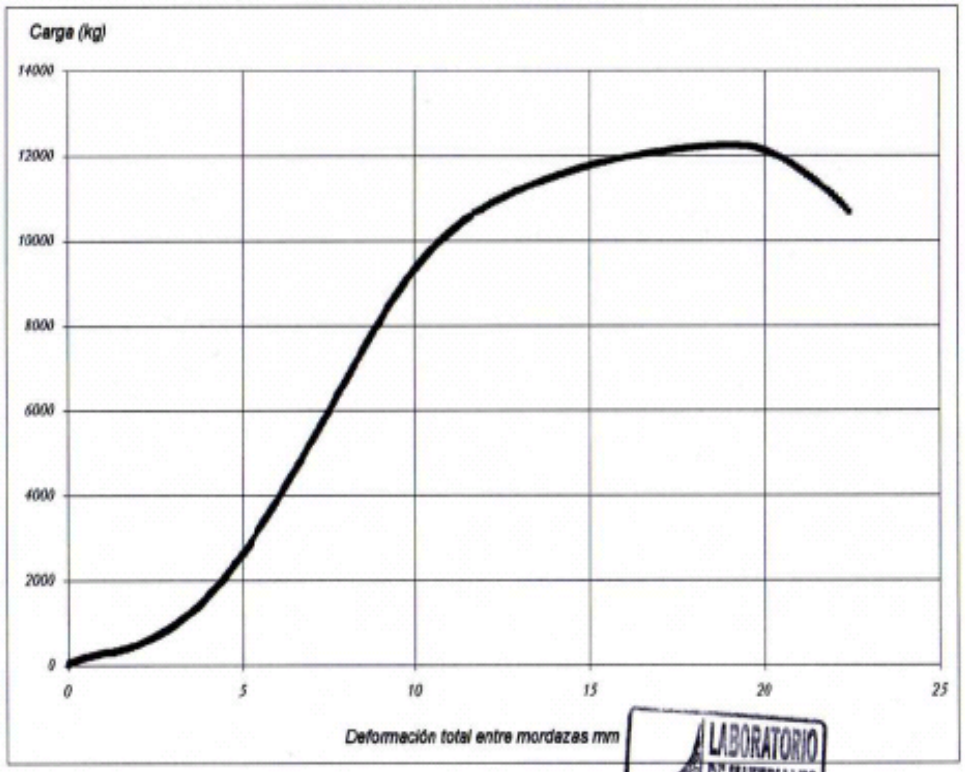
Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**
MUESTRA No. **2**

Recepción muestra: 20 de Noviembre de 2007
Fecha de informe: 22 de Noviembre de 2007

**DIÁMETRO NOMINAL 1/2"**

| | N | kg-f |
|---|---|---|
| Carga de Fluencia | 94,590 | 9,652 |
| Carga Máxima | 119,795 | 12,224 |
| | **MPa** | **kg/cm²** |
| Esfuerzo de Fluencia | 762 | 7,619 |
| Esfuerzo Máximo | 965 | 9,650 |

Rotura : **Fuera del tercio Central**




LABORATORIO DE MATERIALES

Ing. Nancy Torres Castellanos
Coordinadora Laboratorio De Materiales

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION SOBRE PROBETA CILINDRICA

Informe No. 1174
hoja 3 de 3

Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

Obra: **DIEGO ARMANDO LEAL VARGAS**

Recepción muestra: 14-Nov-2007

Fecha de informe: 22-Nov-2007

MUESTRA No. 3

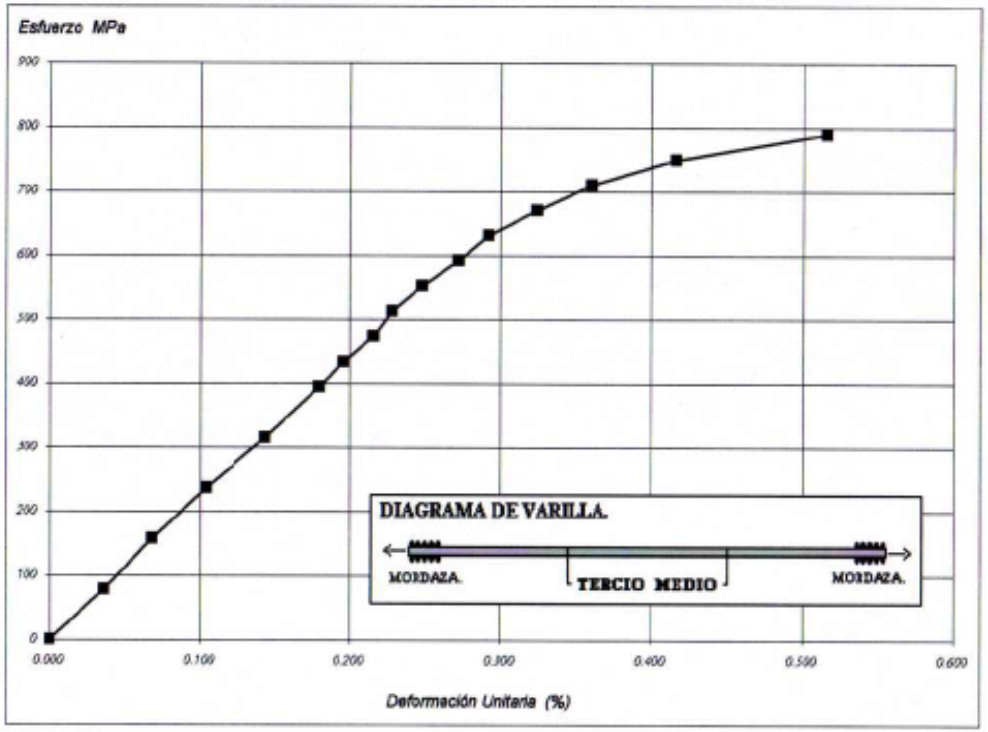
Procedencia: DESCONOCIDA

Detalle: Lisa

Diámetro nominal (mm): 12.7

Resistencia nominal:

| Carga (kg) | Alargamiento (mm) | Esfuerzo (MPa) | Deformación (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.000 |
| 1000 | 0.09 | 79 | 0.036 |
| 2000 | 0.17 | 158 | 0.068 |
| 3000 | 0.26 | 237 | 0.104 |
| 4000 | 0.36 | 316 | 0.144 |
| 5000 | 0.45 | 395 | 0.180 |
| 5500 | 0.49 | 434 | 0.196 |
| 6000 | 0.54 | 474 | 0.216 |
| 6500 | 0.57 | 513 | 0.228 |
| 7000 | 0.62 | 553 | 0.248 |
| 7500 | 0.68 | 592 | 0.272 |
| 8000 | 0.73 | 632 | 0.292 |
| 8500 | 0.81 | 671 | 0.324 |
| 9000 | 0.90 | 710 | 0.360 |
| 9500 | 1.04 | 750 | 0.416 |
| 10000 | 1.29 | 789 | 0.516 |




| Alargamiento en 20 cm | |
|---|---|
| Obtenido | 2.0% |

| | ESFUERZOS OBTENIDOS | |
|---|---|---|
| | psi | MPa |
| Fy | 98207 | 678 |
| Fu | 117194 | 820 |

Fy = Esfuerzo de fluencia
Fu = Esfuerzo máximo

Rotura en el tercio medio: *FUERA*

LABORATORIO DE MATERIALES

**ING. NANCY TORRES CASTELLANOS**
Laboratorio de Materiales y Estructuras

# ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

## ENSAYO DE TENSION DE PROBETA CILÍNDRICA DE ACERO

Informe No. 1174
Hoja 3 de 3

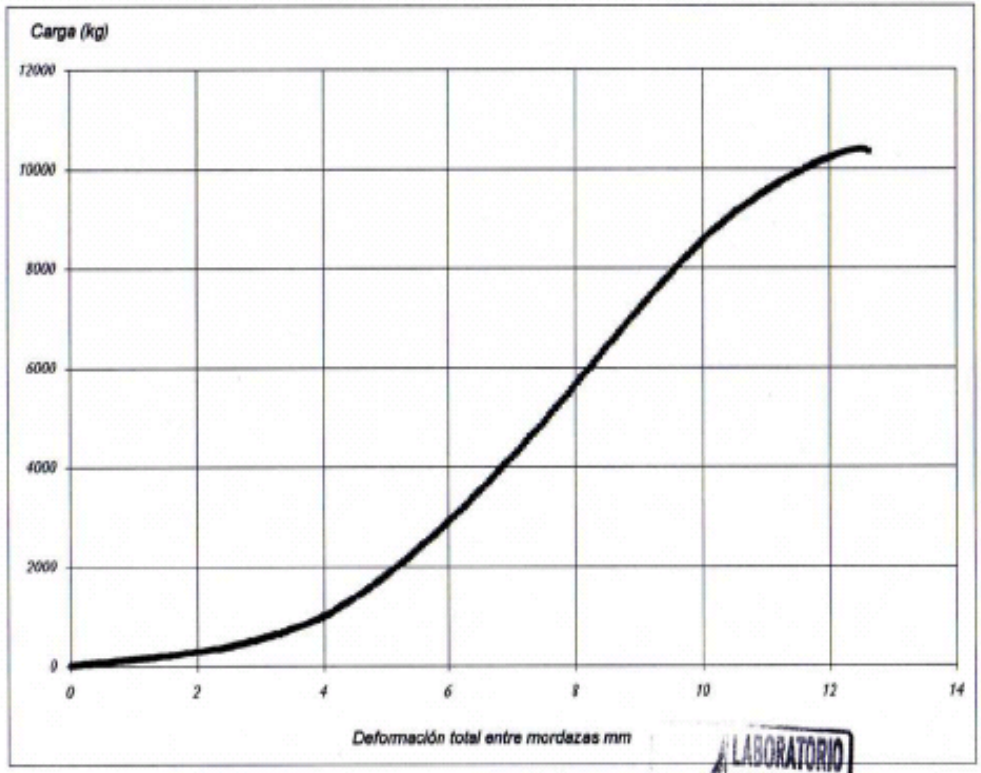
Empresa: **UNIVERSIDAD DE LA SALLE**
MUESTRA No. **3**

Recepción muestra: 20 de Noviembre de 2007
Fecha de informe: 22 de Noviembre de 2007

**DIÁMETRO NOMINAL 1/2"**

| | N | kg-f |
|---|---|---|
| Carga de Fluencia | 84,123 | 8,584 |
| Carga Máxima | 101,842 | 10,392 |
| | **MPa** | **kg/cm²** |
| Esfuerzo de Fluencia | 678 | 6,776 |
| Esfuerzo Máximo | 820 | 8,204 |

Rotura : **Fuera del tercio Central**




LABORATORIO DE MATERIALES

**Ing. Nancy Torres Castellanos**
**Coordinadora Laboratorio De Materiales**

# ANEXO I

- Archivo magnético. (Contiene análisis en SAP 2000 versión 11)

Ni la Universidad, ni el director temático, ni la asesora metodológica, ni el jurado calificador son responsables de las ideas expuestas por el autor.