

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Edgar Ferney
Apellido (s):	Ramírez Zorro
Código:	20111275033
E-mail:	Ferney19_87@hotmail.com
Teléfono fijo:	(031) 7223279
Celular:	311 8688165



Ejecutor 2

Nombre (s):	Diana Marcela
Apellido (s):	Ortiz Peña
Código:	20111275026
E-mail:	Dianaortiz2@hotmail.com
Teléfono fijo:	
Celular:	3123437485



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Análisis computacional de la deformación sufrida por fuerzas cortantes en un tramo de oleoducto de 200 metros en tubería de 12"	
Duración (estimada):	5 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de Procesos	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales, Mecánica de materiales, diseño óptimo.	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Formulación de Proyectos, Control computacional, mecánica de materiales.	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

**ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE LA DEFORMACIÓN SUFRIDA POR
FUERZAS CORTANTES EN UN TRAMO DE OLEODUCTO DE 200 METROS
EN TUBERÍA DE 12" BAJO LA NORMA ASME 31.4**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSE DE CALDAS**

EDGAR FERNEY RÁMIREZ ZORRO

DIANA MARCELA ORTIZ PEÑA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ, D.C.

2012

**ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE LA DEFORMACIÓN SUFRIDA POR
FUERZAS CORTANTES EN UN TRAMO DE OLEODUCTO DE 200 METROS
EN TUBERÍA DE 12" BAJO LA NORMA ASME 31.4**

**EDGAR FERNEY RAMIREZ ZORRO
COD: 20111275033**

**DIANA MARCELA ORTIZ PEÑA
COD: 20111275026**

DIRIGIDO POR:

ING. HERNANDO VÉLEZ

**TRABAJO DE MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.
2012**

Nota de Aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Noviembre de 2012.

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.1 GENERALIDADES.....	6
1.2 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA.....	7
2. ESTADO DEL ARTE.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVOS.....	12
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1 GENERALIDADES DE LAS TUBERIAS.....	13
5.2 CONCEPTOS DE HIDRAULICA.....	13
5.3 DISEÑO DE TUBERIAS.....	14
5.4 NORMAS DE DISEÑO.....	16
5.5 SOFTWARE ANSYS.....	21
6. METODOLOGÍA.....	25
6.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERISTICAS GENERALES DEL OLEDUCTO.....	25
6.2 PRE-PROCESO.....	25
6.3 PROCESO.....	26
6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DEL INFORME.....	26
7. RECURSOS Y PRESUPUESTO.....	27
8. BIBLIOGRAFÍA.....	28

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 GENERALIDADES.

El potencial petrolífero (crudo y gas natural) de Colombia se estima en más de 47 mil millones de barriles de petróleo equivalente, distribuidos en 18 cuencas sedimentarias que abarcan un área de 1.036.400 km².

Alrededor de 82% de esa área sedimentaria se encuentra disponible para adelantar trabajos de exploración y explotación de petróleo y gas natural, las cuencas de mayor actividad exploratoria son las de los valles Superior y Medio del Magdalena, Catatumbo, La Guajira, cordillera Oriental, Putumayo y Llanos Orientales. Los más importantes descubrimientos hechos en Colombia son los de La Cira-Infantas, en Barrancabermeja; Chuchupa, en La Guajira; Caño Limón, en Arauca; y Cusiana-Cupiagua, en Casanare, los centros de producción petrolera se encuentran en los departamentos del Meta, Casanare, Arauca, Santander, Antioquia, Bolívar, Boyacá, Huila, Tolima, La Guajira, Putumayo y Norte de Santander.

Actualmente se cuenta para el transporte de hidrocarburos con una red de tubería de 4.184 km de oleoductos para transporte de petróleo y 3.952 km de poliductos para transporte de productos refinados. El total de estaciones de bombeo y terminales es de 67, distribuidas en 37 para oleoductos y 30 para poliductos.

Para atender las exportaciones o importaciones de petróleo y refinados se tienen tres puertos de embarque por el mar Caribe, que son: Coveñas, Cartagena y Pozos Colorados (Santa Marta), y dos puertos por el Océano Pacífico: Tumaco y Buenaventura.

1.2 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA.

Los oleoductos son un sistema de tuberías que se encuentra expuesto a varios factores que pueden conducir a la falla del material entre los que podemos encontrar: la corrosión, la temperatura, presión en las paredes de la tubería y, el último es el de cargas mecánicas accidentales o inesperadas sobre la tubería.

Estas Cargas provocan que en algunos tramos del oleoducto se presente deflexión que puede conllevar a una falla mecánica y, por consiguiente, la ruptura de la tubería y el derramamiento del hidrocarburo. De acuerdo con Marco Tulio Restrepo, coordinador de seguridad de Ecopetrol citado en el informe de gestión ambiental del año 2010, de cada 100 barriles de crudo derramado como consecuencia de Ruptura de los oleoductos que si bien en gran parte es por voladura de infraestructura generada por actos delictivos, hay un proporción a la que se conoce como accidental o por falla mecánica que han llevado a que hayan regados “aproximadamente 1.000.000 de barriles que están contaminando terrenos, ríos, ciénagas y humedales”¹.

El no estimar los factores externos y accidentales que pueden afectar al material en un oleoducto junto que la carencia de procesos de optimización a través de simulación que permitan observar el comportamiento de un sistema de tuberías aumenta el riesgo de falla en conjunto de transporte que a su vez genera un impacto negativo para el medio ambiente en la medida que contamina el ecosistema y pérdidas millonarias para la empresa transportadora de hidrocarburos.

Las situaciones anteriormente señales permiten encasillar nuestro problema en resolver la pregunta de ¿Cuál debe ser la deflexión máxima que debe soportar un tramo de un tubería que transporta hidrocarburos para soportar las cargas externas a las que se puede ver sometidas sin sufrir ninguna falla mecánica o fisura?

¹EL TIEMPO, publicación 5 de mayo de 2012
Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-555907>

2. ESTADO DEL ARTE

El análisis de tuberías es un tema coyuntural y de suma importancia al realizar el diseño de un sistema de tuberías, el mercado ofrece una gran cantidad de software que permiten hacer un modelamiento y una simulación del comportamiento de los materiales sometidos a cargas mecánicas y dinámicas, pero ANSYS software especializado en el modelamiento de sistemas mecánicos y su análisis mediante elementos finitos se ha consolidado como el programa líder en el modelamiento de estructuras lo que ha permitido que se hayan desarrollado los siguientes avances y escritos:

- El ingeniero Carlos Salazar quien desarrolló un trabajo de grado con el título: "EVALUACIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS DEL PROYECTO CAMISEA Y SOLUCIONES A LARGO PLAZO." Donde se examinan las razones de fondo por las cuales se presentan cuatro fallas comunes en tubería de transporte (piping) de GLP que se asimila al transporte de hidrocarburos, este proyecto se desarrolla con análisis empíricos de un oleoducto que ha presentado algunas fallas notorias en los quince primeros meses de operación y en el desarrollo de su investigación señala cuáles son las características de estas fallas, y dónde se prevén fallas futuras. Concluyendo que existieron una serie de omisiones e irregularidades en la ejecución que se evidencian en diversas violaciones de procedimientos, estándares internos y regulaciones oficiales a la hora de diseñar, seleccionar y realizar el montaje de la tubería, puesto que está no cumple con las especificaciones técnicas necesarias para este tipo de trabajo y la tubería se ve sometida a cargas que no está en capacidad de soportar presentándose una deformación plástica e incluso ruptura de las piezas.
- El documento "informe sobre el análisis de sistemas de tuberías con ANSYS" disponible en <http://documentos.arq.com.mx/Detalles/5418.html> hace un barrido sobre todas las aplicaciones que tiene el software y cómo se pueden usar para un modelamiento y un diseño óptimo en el montaje de tuberías sometidas a cargas.

- El ingeniero Héctor Hernández profesor de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional desarrolla un documento titulado “Análisis de falla en tuberías dedicadas a la conducción de petróleo.” Donde hace un desarrollo conceptual de las fallas que presentan en las paredes de las tuberías debido a la inestabilidad plástica que se genera ante la presencia de cargas externas que permiten que se sobrepase el esfuerzo de deformación del material y el material se deforme plásticamente, además de ello estima cuales serán los parámetros de montaje que aumentarían el factor de seguridad de la estructura evitando que falle.
- El ingeniero Cristian José Urrieta elaboró un trabajo para optar al título de Maestría en Ingeniería Mecánica de la universidad de Oriente en el que se realiza un análisis estático de la flexibilidad de un poliducto en la refinería Puerto de la Cruz, en el trabajo hace el modelaje de la tubería y el análisis posterior se realiza con el software de flexibilidad en tuberías CAESAR en este trabajo además se analizaron los esfuerzos en el sistema, producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, además se compararon las cargas en las boquillas de los diferentes equipos conectados a la línea, con su norma correspondiente.

Como resultado de su investigación se encontraron diferencias entre los isométricos de la empresa con respecto a las características actuales que posee la línea de crudo en planta. Los esfuerzos de las tuberías se compararon con los permisibles por la norma ASME B31.4, las cargas en la boquilla de la bomba se compararon con las fundamentadas por la API 610, las de los intercambiadores con la WRC 107 y por último las cargas en las boquillas o pases del horno con la API 560. Los esfuerzos obtenidos en el sistema de la línea de crudo sobrepasan a los permisibles por cada uno de los códigos.

- En una investigación realizada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica a cargo de José Serapio León hace el análisis de la

flexibilidad de las tuberías y la evaluación de cargas en las boquillas de un equipo rotatorio, el trabajo como tal aborda los temas de Análisis de flexibilidad y cálculo de esfuerzos en tuberías, en cálculo del espesor de pared de tuberías que están sometidas a presiones internas, la evaluación de cargas aplicadas en las boquillas y por último la determinación de los componentes que constituyen todo el sistema, estos procedimientos se realizan a través de un software de diseño mecánico haciendo el modelaje del sistema y sus componentes los cuales son sometidos a cargas mecánicas y estáticas.

- En equipo de proyectos a cargo del Ingeniero Vicente López Díaz adscrito al departamento de Ingeniería Mecánica y Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid, desarrolla un proyecto en el que se hace un análisis por elementos finitos haciendo uso del software ANSYS a una grúa Pluma en una planta de montaje automotor, estableciendo una metodología clara y concreta de los procedimientos que se deben llevar a cabo para hacer un modelaje y análisis de manera optima haciendo uso del software, define los parámetros, aplicativos y entornos gráficos idóneos que ofrece el software y por ultimo hace el importe de los resultados y nos muestra el paso a paso de cómo se construye un informe de las cargas dinámicas y estáticas a las cuales está sometido un sistema.

3. JUSTIFICACIÓN

El diseño y evaluación de criterios de diseño son elementos vitales a la hora de realizar un montaje de un oleoducto debido a que para el óptimo desempeño de la tubería se demandan recursos de alta calidad y costo que al no ser idóneos ponen en alto riesgo la integridad de las comunidades aledañas y del medio ambiente, debido principalmente a fallas u fisuras en las tuberías que provocan el derramamiento del hidrocarburo que es altamente contaminante para los terrenos y en especial cuando tiene contacto con el agua.

Aunque el cálculo y diseño de tuberías expuestas a factores ambientales enterradas se realiza normalmente mediante formulas aproximadas o métodos semi empíricos, es decir a través de una inspección y unos cálculos matemáticos, esta metodología tiene una gran falencia debido a que no permite explicarlas fallas observadas en numerosas tuberías o tramos muy largos, puesto que el costo de inspección en el que se incurriría sería demasiado elevado, Tampoco es posible tener en cuenta el efecto de la pérdida de confinamiento lateral que ocurre cuando se satura o inunda el terreno natural, que para el caso particular de Colombia es lo que ocurre debido a las características de los suelos en los que se realiza el montaje del sistema de tuberías los cuales se ven expuestos a la corrosión, al sepultamiento por deslizamientos y a la fatiga por fallas geológicas. El uso de un software computacional permite refinar el modelo de montaje y selección de equipo en las tuberías puesto que permite insertar los componentes a los que se ve expuesto el sistema simulando las cargas, y presiones que sufren los equipos durante su rango normal de operación, aproximándose de forma muy precisa a lo ocurrido en la realidad bajo los parámetros de operación definidos, debido a lo que se ha señalado anteriormente se hace importante el uso de un herramienta computacional que permita realizar el diseño y modelaje de una tubería con características físicas y mecánicas similares a las de una tubería convencional en condiciones habituales de operación teniendo en cuenta las cargas externas que pueden sufrir, la corrosión, fatiga, calentamiento y presiones internas generadas por el transporte del hidrocarburo.

4. OBJETIVOS.

4.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar un análisis computacional de la deflexión sufrida en un tramo de tubería al ser sometido a fuerzas cortantes generadas en las paredes de la tubería según los criterios definidos en la norma ASME 31.4 y otros parámetros generales establecidos en la norma ISO 2531:2009, API 1104, ANSI B16.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Modelar matemáticamente el fenómeno de deflexión en el tramo a evaluar.
- Determinar el grado de deformación máximo experimental sufrido en las tuberías usadas en oleoductos.
- Establecer los criterios de falla de tensión de acuerdo a las normas señaladas para el análisis de tuberías.
- Simular el desempeño de la tensión en diferentes condiciones de deformación causadas por la temperatura, posición de los apoyos y materiales de tubo api 5xl, incluyendo factores externos como sismos y tipos de soldadura.
- Comparar los resultados obtenidos en las diferentes disposiciones a través del criterio de falla

5. MARCO TEÓRICO.

5.1 GENERALIDADES DE LAS TUBERIAS.

En primer lugar una tubería es un conducto que tiene como objetivo transportar un fluido para nuestro caso particular petróleo a este tipo de sistemas se les conoce como oleductos, las tuberías se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- Sin costura (sin soldadura). La tubería es un lingote cilíndrico el cual es calentado en un horno antes de la extrusión. En la extrusión se hace pasar por un dado cilíndrico y posteriormente se hace el agujero mediante un penetrador. La tubería sin costura es la mejor para la contención de la presión gracias a su homogeneidad en todas sus direcciones. Además es la forma más común de fabricación y por tanto la más comercial.
- Con costura longitudinal. Se parte de una lámina de chapa la cual se dobla dándole la forma a la tubería. La soldadura que une los extremos de la chapa doblada cierra el cilindro. Por tanto es una soldadura recta que sigue toda una generatriz. Variando la separación entre los rodillos se obtienen diferentes curvas y con ello diferentes diámetros de tubería. Esta soldadura será la parte más débil de la tubería y marcará la tensión máxima admisible.
- Con soldadura helicoidal (o en espiral). La metodología es la misma que el punto anterior con la salvedad de que la soldadura no es recta sino que recorre la tubería siguiendo la tubería como si fuese roscada.

5.2 CONCEPTOS DE HIDRAULICA.

Como se señaló anteriormente, una tubería es una cavidad que transporta un fluido y los fluidos generan presiones internas que pueden afectar el conducto y da las especificaciones del espesor de pared, diámetro y geometría del

oleoducto por ende señaláramos algunos aspectos de hidráulica básica que permiten desarrollar conceptualmente nuestro trabajo:

Se recuerda la expresión de Bernoulli, que está dada por:

$$H = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta J_{1-2}^* = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{U_i^2}{2g} + \Delta J_{i-j}^* = \text{cte}$$

La anterior implica que la energía total H, con respecto a un plano de comparación arbitrario, se mantiene constante entre las secciones de una conducción caracterizadas por los subíndices 1,2,...,i, aunque la suma de los términos que la componen resultan variables de sección a sección. Se recuerda también que, la ecuación anterior, sirve para definir las líneas de “energía” y “piezométrica”, a la vez que para interpretar el “Principio de la Conservación de la Energía”, para el caso del escurrimiento de líquidos a presión, puede ser considerada “incompresible” a los efectos de la práctica, en los escurrimientos permanentes (independientes del tiempo).

5.3 DISEÑO DE TUBERIAS

El diseño de un sistema de tuberías consiste en el diseño de sus tuberías, brida y su tortillería, empacaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor, juntas de expansión. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como zapatas, resortes y colgantes, pero no incluye el de estructuras para fijar los soportes, tales como fundaciones, armaduras o pórticos de acero.

Aun en el caso en que los soportes sean diseñados por un ingeniero estructural, el diseñador mecánico de la tubería debe conocer el diseño de los mismos, por la interacción directa entre tuberías y soportes.

Procedimiento de diseño de tuberías

a) Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.

b) Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.

c) Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.

d) Selección de las clases de “rating” de bridas y válvulas.

e) Cálculo del espesor mínimo de pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.

f) Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.

g) Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

Si el sistema no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos:

a) Reubicación de soportes

b) Modificación del tipo de soporte en puntos específicos

- c) Utilización de soportes flexibles
- d) Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas
- e) Utilización de lazos de expansión
- f) Presentado en frío

El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables, en todas las fases de operación normal y anormal, durante toda la vida de la planta.

5.4 NORMAS DE DISEÑO.

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de tuberías son las normas conjuntas del American Institute of Standards and Standards Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME B31.1, B31.3, etc. Cada uno de estos códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas, a saber:

- B31.1. (1989) Power Piping
- B31.3 (1990) Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping
- B31.4 (1989) Liquid Transportation System for Hydrocarbons, Petroleum Gas, Ammonia and Alcohols
- B31.5 (1987) Refrigeration Piping
- B31.8 (1989) Gas Transmission and Distribution Piping System
- B31.9 (1988) Building Services Piping
- B31.11 (1986) Slurry Transportation Piping System

En lo que concierne al diseño todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles.

Cargas de diseño para tuberías

Un sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. A continuación se resumen las posibles cargas típicas que deben considerarse en el diseño de tuberías.

Cargas por la presión de diseño

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

Cargas por peso

- a) Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, aislamiento, etc.
- b) Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso
- c) Efectos locales debido a las reacciones en los soportes

Cargas dinámicas

- a) Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento
- b) Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos
- c) Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos
- d) Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

Este tipo de cargas no será considerado ya que forman parte de análisis dinámicos y en este proyecto sólo se realizarán análisis estáticos.

Efectos de la expansión y/o contracción térmica

- a) Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería
- b) Cargas inducidas por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales)

Efectos de los Soportes, Anclajes y Movimiento en los Terminales

- a) Expansión térmica de los equipos
- b) Asentamiento de las fundaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías

Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se definen en términos de las propiedades de resistencia mecánica del material, obtenidas en ensayos de tracción para diferentes niveles de temperatura y de un factor de seguridad global.

La norma ASME B31.3 estipula dos criterios para el esfuerzo admisible. Uno es el llamado “esfuerzo básico admisible” en tensión a la temperatura de diseño, con la cual están familiarizados los que se dedican al diseño de equipos sometidos a presión, es menos conocido y se le denomina “rango de esfuerzo admisible”, el cual se deriva del esfuerzo básico admisible y se emplea como base para el cálculo de la expansión térmica y para el análisis de flexibilidad. La aplicación de cada criterio es como se observa a continuación en la siguiente tabla:

Para cargas aplicadas	Esfuerzos Admisibles
Esfuerzos de pared circunferenciales producidos por la presión; no deben exceder	S.E.
Esfuerzos longitudinales combinados, producidos por la presión, peso y otras cargas; no deben exceder	S

Donde:

S = Esfuerzo básico admisible a la temperatura de diseño, para el material seleccionado

E = Eficiencia de la soldadura longitudinal o factor de calidad de la fundición asociada con el diseño específico y los requerimientos de inspección

Estos esfuerzos admisibles básicos, así como el límite de fluencia y la resistencia a la tracción, están listados en el Apéndice A, Tabla A-1 y A-2, del Código B31.3 en función de la temperatura, la siguiente tabla muestra los esfuerzos admisibles en función de la temperatura.

Esfuerzos Admisibles, S		Temperatura, T	
Kpsi	Mpa	°F	°C
20.0	137.90	400	204.44
18.9	130.31	500	260.00
17.3	119.28	600	315.56
17.0	117.21	650	343.33
16.5	113.76	700	371.11
13.0	089.63	750	398.89

Para cargas térmicas	Rango de esfuerzo admisible
Los esfuerzos de expansión no deben exceder	S _A

Donde:

$$S_A = f(1.25S_C + 0.25S_H)$$

S_C = Esfuerzo básico admisible para el material a la mínima temperatura esperada del metal durante el ciclo de desplazamiento

S_H = Esfuerzo básico admisible para el material a la máxima temperatura esperada del metal durante el ciclo de desplazamiento

f = Factor de reducción del rango admisible de esfuerzo para condiciones cíclicas según el número total de ciclos completos de cambios de temperatura sobre la vida esperada.

Presión de diseño

La presión de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente, que se espere en operación normal. La condición más severa de presión y temperatura coincidente, es aquella condición que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación (“rating”) más alta de los componentes del sistema de tuberías.

Se debe excluir la pérdida involuntaria de presión, externa o interna, que cause máxima diferencia de presión.

Espesor de pared

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa es una función de:

- a) El esfuerzo permisible para el material del tubo
- b) Presión de diseño
- c) Diámetro de diseño del tubo
- d) Diámetro de la corrosión y/o erosión

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia al colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

5.5 SOFTWARE ANSYS

ANSYS, Inc. Fue fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.) utilizando aproximadamente 1700 empleados. La mayoría con experiencia en elemento finito y dinámica de fluido computacional. ANSYS desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir como funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo ha adquirido otros software para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos. Además presta soporte a la industria.

ANSYS, Ins. es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.¹ Swanson Analysis Systems, Inc fue incorporada a mediados de los años 1970 en la casa de Swanson por otro lado John continuaba trabajando en STASYS (el software que venía desarrollando para Westinghouse). Con el tiempo él se convirtió en un consultor y no en un empleado y pidió permiso para integrar los avances que había hecho Swanson en STASYS y Westinghouse no tuvo ningún problema debido a que lo que ellos querían era la solución efectiva de sus problemas. De esta forma los avances de Swanson y de John se unieron acelerando el proceso y los avances de ANSYS.

5.5.1 Otros Software de análisis de elementos.

Desde finales de los años 1950 y principios de los años 1960 diferentes métodos para el análisis basado en el Método de los elementos finitos han sido implementados, pero casi siempre basados en fuerzas y no en desplazamientos. Los calculadores de elementos finitos comerciales aparecieron en la década de 1970, utilizaban toda la capacidad de cómputo de los grandes computadores centrales o mainframes y estaban dirigidos esencialmente a las industrias aeronáutica, automotriz, de defensa y nuclear. En la actualidad, este tipo de programas corre en computadores de escritorio y realizan al mismo tiempo el análisis de diferentes fenómenos, como por ejemplo,

termo mecánica, electromecánica y mecánica estructural. Algunos de los productos disponibles son ABAQUS de Dassault Systèmes, FLUENT, Comsol Multiphysics y ANSYS. En el mundo del software libre existe Open FEM desarrollado en conjunto por el INRIA y la empresa SDTools y funciona bajo matlab y scilab. El mercado para este tipo de software crece a una tasa de 11% anual y entre los sistemas disponibles, los de Ansys.Inc ocupan en Europa la más grande parte de mercado, específicamente en el dominio de la distribución de software de simulación y de cálculo.

Generalidades y Características del programa.

El programa está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Se caracteriza por la presencia de tres componentes básicos.

Integrado que es aquel que permite la asociación de distintas tecnologías para el desarrollo de un producto sin abandonar una única plataforma. Además su integración permite la asociación con los software más avanzados de CAD. Por último, su sistema de integración permite incluirse sin dificultad en sistemas de documentación propios de cada empresa.

Modular: permite que los clientes instalen una única aplicación para la solución de un problema específico. A medida que el usuario avanza en la solución, este puede necesitar análisis más complejos, hasta llegar al proceso de validación. Los distintos módulos de ANSYS permiten solucionar los problemas por partes.

Extensible: Debido a que propone "aplicaciones verticales" o adaptaciones más específicas según las requiera el cliente. Estas adaptaciones pueden automatizar procesos que realiza normalmente un cliente hasta aplicaciones más complejas que se adaptan a determinados sectores industriales.

Falencias del Software.

La mayoría de los errores y desventajas de ANSYS, más que basarse en el programa mismo, se basan en el elemento finito utilizado por el programa para realizar los análisis, la solución otorgada por el programa es una compleja mezcla de cálculos discretos. Y los esfuerzos, temperaturas y otras propiedades representan parámetros continuos o sea los resultados arrojados por ANSYS son aproximaciones que dependerán del número de elementos utilizados, la geometría del objeto que se deseé analizar, puede generar errores en la solución debido a que si el mallado realizado no mantiene ciertos parámetros en rango predeterminados como son los ángulos de las aristas, así como las relaciones de tamaño en las aristas, el método puede fallar en un punto lo cual afecta la convergencia del sistema.

La densidad de elementos utilizados se debe ingresar de manera manual, es decir el usuario debe hacer corridas de ANSYS aumentando consecutivamente la cantidad de elementos utilizados hasta conseguir una convergencia que varíe menos que el criterio de parada utilizado. Esto genera gran costo computacional y de tiempo por parte del usuario. Debido a la utilización de un rango discreto en cuanto a las propiedades de la materia, se debe aumentar la cantidad de puntos en el mallado del objeto en los puntos en que el gradiente de la propiedad analizada sea muy grande para obtener resultados más precisos, por último el tipo de elemento, así como algunas propiedades son ingresadas de forma manual por el usuario lo cual genera errores de tipo humano en la utilización de ANSYS, que en ocasiones el programa no muestra una alerta sobre los rangos normalmente utilizados.

CAESAR II

Intergraph CAESAR II es un software que evalúa las respuestas estructurales y tensiones de los sistemas de tuberías a los códigos y normas internacionales. CAESAR II es el esfuerzo de análisis tubería estándar contra el cual todos los demás se miden. Además de ello hace que sea fácil la entrada y muestra de manera optima r todos los datos necesarios para definir con precisión un sistema de tuberías modelo de análisis.

La entrada puede ser modificada en elemento por elemento o conjuntos de datos que se pueden seleccionar para realizar cambios globales.

Características Generales de Software.

CAESAR II tiene un módulo de entrada gráfica que facilita el trabajo de desarrollo de modelos de análisis indicando claramente las áreas de interés y proporcionando una excelente idea de la flexibilidad del sistema de tuberías además de ello codifica por colores modelos de estrés y desplazamientos animados para cualquier caso de carga sobre las Herramientas de diseño y asistentes Herramientas posee la creación de lazos de expansión o la visualización de modelos de plantas en el puente de análisis espacial, estas herramientas toman el trabajo de producir un análisis preciso y recomendar cambios prácticos de diseño.

Además de la evaluación de la respuesta de un sistema de tuberías para peso muerto, térmica y cargas de presión, CAESAR II analiza los efectos del viento, la solución de soporte, cargas sísmicas y cargas de onda. Efectos no lineales, tales como la elevación del apoyo apagado, reducción de distancias y la fricción, El software también selecciona los resortes adecuados para soportar sistemas con grandes deflexiones verticales, capacidades dinámicas de análisis incluyen modal, el espectro armónico, respuesta, incluye un corrector de errores integrado, este analiza la entrada del usuario y los controles de consistencia, tanto desde el punto de vista del "elemento finito" y las "tuberías".

CAESAR II incorpora una tabla de búsqueda de empresas de materiales de tuberías y componentes, además de juntas de dilatación, perfiles estructurales de acero, ganchos de resorte y propiedades de los materiales, como el estrés admisible. Esto asegura que los conjuntos de datos correctos son usados para cada análisis, se complementa con los principales códigos de tuberías internacionales, establece un vínculo entre el diseño de la planta de CAD y análisis de ingeniería. Este vínculo con Intergraph CADWorx ® Plant permite el paso de los datos de diseño y análisis entre estos paquetes sin pérdida de datos.

6. METODOLOGÍA.

6.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL OLEDUCTO.

Esta fase se caracteriza en la que se identifican las principales características peculiares de los problemas de flexibilidad en tuberías con respecto a los problemas usuales de análisis estructural.

- Diámetro de la tubería: esta determinado por las condiciones del flujo a si como el espesor de pared por la presión, corrosión, erosión, temperatura y tipo de material, donde el material a su vez se selecciona de acuerdo a la temperatura, esto de alguna manera indica que disminuir el diámetro o el espesor del tubo no incrementara la flexibilidad de la tubería.
- Sobre esfuerzo: Característica que no es mejorada aumentando la pared del tubo por el contrario la tubería se rigidice, haciendo mas critico el problema.
- Flujo plástico: Fenómeno que se caracteriza por una cedencia local y una redistribución de reacciones, fuerzas internas, esfuerzos .
- Fatiga y presión: muchos de estas fallas ocurren durante el funcionamiento normal de la tubería, este es un factor muy importante porque además de ello viene desencadenado por la corrosión, presión y temperatura del fluido.

6.2 PRE-PROCESO

En esta etapa se procede a hacer el establecimiento del modelo, se construye la geometría del problema, creando líneas, áreas o volúmenes del segmento de la tubería que se va a analizar. Sobre este modelo se establecerá la malla de elementos.

Esta parte del pre-proceso se hace vital en la medida que se debe hacer la ubicación de los elementos de la maya que puede provenir de otras aplicaciones de diseño, en nuestro caso Solid Works, además de ello se definen los materiales a ser usados en base a sus constantes en la medida que todo elemento debe tener asignado un material particular cuyas propiedades mecánicas pueden afectar el sistema completo. Cuando se hace la generación de la malla, se realiza una aproximación discreta del problema en base a

puntos o nodos. Estos nodos se conectan para formar elementos finitos que juntos forman el volumen del material. La maya puede generarse a mano o usando las herramientas de generación automática o controlada de mallas que aparece como un aplicativo del software.

6.3 PROCESO

Después de haber hecho la selección y caracterización de las cargas se hace la aplicación de cargas a las mismas, estas condiciones son aplicadas al borde en los nodos y elementos, donde se pueden hacer las modificaciones en los valores de fuerza, tracción, desplazamiento, momento o rotación de manera que se modele mejor el sistema.

Después de haber este modelaje en el software se procede al importe de los resultados, luego de ello se debe hacer la iteración de este proceso haciendo la modificación de carga y condiciones que demanden situación extremas a fin de obtener el límite máximo de fluencia y flexibilidad.

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DEL INFORME

El software con los procedimientos exporta una gran cantidad de datos a los cuales se les debe realizar un filtrado con base en los criterios de selección, pertinencia y modelaje de cargas, luego de esto se construyen las visualizaciones del análisis en forma de graficas donde se obtiene la geometría deformada del problema, las curvas de esfuerzo a las cuales se somete el material, y por último se listan los resultados, igualmente como datos en una tabla.

7. RECURSOS Y PRESUPUESTO.

Presupuesto General Proyecto		
Duración estimada en meses	5	
Semanas	21	
Descripción	Costo asociado	Fuentes de financiación
Software o equipo de apoyo	\$ 1.600.000	Personal
Gastos Generales	\$ 757.500	Empresarial
Diseño muestra	\$ 646.500	Personal
Condiciones especificas	-	Empresarial
Subtotal	\$ 3.184.000	
5% Imprevistos	\$ 160.000	
Total presupuestado	\$ 3.164.000	

Generales	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	Total
Fotocopias		hoja	250	\$ 50	\$ 12.500
Libros	Diseño asistido	unidad	1	\$ 85.000	\$ 85.000
Planos	motores	juego	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Impresión documentos	trabajo y anillado	hoja	300	\$ 150	\$ 45.000
Suministros de oficina		global	3	\$ 35.000	\$ 105.000
Transportes		unidad	100	\$ 1.600	\$ 160.000
Gastos Generales asociados al estudio					\$ 757.500

Software	Detalle	Costo referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Computador	sony vaio	\$ 1.600.000	100%	\$ 1.600.000	\$1.600.000
Internet	Epm	\$ 36.000	100%	\$ 36.000	\$ -
Costos de licencias, conexión y computador					\$ 1.600.000

Condiciones especificas	Detalle	Referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Equipos especiales	maquina de ensayo	2500000	35%	\$ 875.000	\$ 875.000
Depreciacion equipos			25%	\$ 218.750	\$ 218.750
Otros especiales	Estudio interno empresarial	350000	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Costos especiales al proyecto					\$ 1.443.750

8. CRONOGRAMA

ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE LA DEFORMACIÓN SUFRIDA POR FUERZAS CORTANTES EN UN TRAMO DE OLEODUCTO DE 200 METROS EN TUBERÍA DE 12" BAJO LA NORMA ASME 31.4

FASE	ACTIVIDAD	DURACION (MESES / SEMANAS)																							
		NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE CARÁCTERÍSTICAS	ESTUDIOS PREVIOS			■	■																				
	GEOMETRIA Y ESTRUCTURA			■	■																				
	ESFUERZOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN				■	■	■																		
PRE - PROCESO	ESTABLECIMIENTO DEL MODELO					■	■	■																	
	DEFINICION DE MATERIALES Y CONSTANTES						■	■																	
	GENERACION DE MALLAS							■	■	■	■														
PROCESAMIENTO	APLICACIÓN DE CARGAS											■													
	ITERACION Y OPTIMIZACIÓN											■	■	■	■										
	OBTENCIÓN DE SOLUCIÓN													■	■	■	■								
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PREPARACIÓN DE INFORME	VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS															■	■	■	■						
	LISTADO DE RESULTADOS																■	■							
	CONSTRUCCION DE GRÁFICAS																	■	■						
	CONCLUSIONES Y ANÁLISIS																			■	■	■			

9. BIBLIOGRAFÍA

API, "API Specification Line Pipe, API, 1983

API, "Welding of Pipelines and Related Facilities", API, 1988

CARNICER, Enrique R; "Oleohidráulica: conceptos básicos". Ed. Paraninfo. 1998

DÍAZ, Guillermo; "Elementos de Diseño para el Cálculo de Flexibilidad en Tuberías"; Octubre 2008

DÍAZ, Vicente L; "Análisis de un grúa por elementos finitos (ANSYS)"; Universidad de Madrid; Febrero 2010.

FRANCO, M Francisca; "Análisis de Tuberías y los efectos del suelo"; Universidad Nacional de Córdoba; 2007 Argentina.

GÓMEZ, Esteban M; "Análisis de Flexibilidad en sistemas de tuberías"; Universidad Carlos III de Madrid; 2011.

HERNANDEZ, Héctor A, "Análisis de falla en tuberías de conducción de petróleo, Universidad Nacional de Colombia; 2006.

ICONTEC, Instituto Colombiano De Normas Técnicas, ISO 9004:2000, "Recomendaciones para la mejora del desempeño", 2000.

KANNAPPAN, S; "Introduction to Pipe Stress Analysis". ABI Enterprises, Inc, Febrero 2008.

PÉREZ, Luis E.; “Criterios de Diseño, Calculo y Selección de tuberías” Marzo 2007

SALAZAR, Carlos T., “Evaluación de Fallas en Tuberías y Soluciones a Largo Plazo”; E- Tech International, Febrero 2006

SALCEDO, Javier; “Fundamentos de Oleoductos”; Agosto de 2006

SERAPIO, José, “Análisis de tuberías en boquillas de Equipos Rotarios”; junio 2009. México D.F.

UNPRG; “Guía especializada para el diseño de tuberías”; Enero 2006, Madrid España.

URRIETA, Christian; “Análisis estático de flexibilidad de línea de crudo en la refinería de Puerto de la Cruz”; Enero 2009.

<http://www.monografias.com>

<http://www.engineeringtoolbox.com>

<http://flexilatina.info>

<http://www.pipesupports.com>

<http://www.pihasa.com>

<http://www.wikipedia.com>