

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN
EN DISEÑO MECÁNICO DE TUBERÍAS

MARÍA LUCÍA RESTREPO CARVAJAL
JAIME ESTEBAN BUILES SÁNCHEZ
CAMILO CALDERÓN SUPELANO
JUAN FELIPE ORDÓÑEZ REY

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2012

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN
EN DISEÑO MECÁNICO DE TUBERÍAS

MARÍA LUCÍA RESTREPO CARVAJAL
JAIME ESTEBAN BUILES SÁNCHEZ
CAMILO CALDERÓN SUPELANO
JUAN FELIPE ORDÓÑEZ REY

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director
NÉSTOR RAÚL D'CROZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2012

A mis papás, a Federico y a Santiago, gracias! Porque mi felicidad es compartir con ustedes mis logros

María Lucía

A mi amiga y consejera, quien no ha escatimado ningún esfuerzo por hacerme feliz.
Muchas mujeres hicieron el bien, más tú sobrepasas a todas.

Esteban

A Dios por sus infinitas bendiciones
A mi familia y en especial a mis padres Miguel y Cristina por su esfuerzo, dedicación y sacrificio para
permitirme salir adelante
A mis hermanos Reinaldo y Leonel por su compañía, apoyo, motivación y comprensión
A mis amigos, compañeros de carrera y personas que me permitieron lograr este paso importante de mi
vida

Camilo

A Carlos y Mary, por su incondicional apoyo, sus enseñanzas, consejos, eterna paciencia y amor.
A Aleja, quien me brinda su amor, su cariño y estímulo para alcanzar mis metas.
A Ginna, quien ha estado cerca de mí en estos años con paciencia
y ternura haciéndome pasar momentos inolvidables.

JuanF

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Mecánica por generar las herramientas necesarias para nuestra formación profesional. En especial, estamos agradecidos con el profesor Néstor Raúl D'Cross, quien estuvo interesado en formar no sólo ingenieros, sino personas. Su compromiso con este seminario de investigación tiene frutos que no se pueden consignar en un documento. Le agradecemos por introducirnos al flexible y apacible mundo de las tuberías, por mostrarnos su importancia y aplicabilidad.

Índice general

Introducción	15
1. Generalidades del Seminario de Investigación	16
1.1. Objetivo	16
1.2. Ventajas	17
1.3. Organización	17
1.4. Tema del Seminario	18
1.5. Dirección del Seminario de Investigación	18
1.6. Descripción de los Roles	18
1.7. Metodología	19
2. Planeación	21
2.1. Objetivos Planteados	21
2.2. Estudio Bibliográfico	22
2.3. Selección de los subtemas	22
3. Ejecución	25
3.1. Descripción de los Subtemas	26
3.2. El Acta	28
4. Finalización	30
4.1. Libro de Memorias	30
4.2. Presentaciones	31
4.3. Software de Apoyo	33
5. Conclusiones y Recomendaciones	35
5.1. Conclusiones	35
5.2. Recomendaciones:	36
Bibliografía	37

Índice de figuras

1.1. Integrantes del Seminario	17
1.2. Metodología usada para en el desarrollo del Seminario de Investigación	20
3.1. Primera Parte	25
3.2. Segunda Parte	26
3.3. Acta	29
4.1. Portada libro de memorias	31
4.2. Ejemplo de diapositiva	32
4.3. Contextualización del tema	32
4.4. Interfaz gráfica de inicio	33
4.5. Interfaz gráfica específica	34

RESUMEN

TÍTULO: SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO MECÁNICO DE TUBERÍAS¹.

AUTORES²:

**MARÍA LUCÍA RESTREPO CARVAJAL
JAIME ESTEBAN BUILES SÁNCHEZ
CAMILO CALDERÓN SUPELANO
JUAN FELIPE ORDÓÑEZ REY**

PALABRAS CLAVE: Sistema de tubería, diseño mecánico, flexibilidad, análisis de esfuerzos.

DESCRIPCIÓN:

Todo sistema de transporte y aprovechamiento de fluidos tiene un sistema de tubería asociado que hace posible el movimiento del fluido de un punto a otro. Este sistema resulta ser crítico, pues la falla inesperada de uno de sus componentes puede producir la parada total de la planta.

El diseño mecánico de la tubería busca evitar estas fallas evaluando los esfuerzos producidos en el sistema debido a las cargas presentes y la posterior validación con el esfuerzo permisible del material. Esta tarea ha evolucionado de manera significativa desde la época en que se necesitaban ingenieros muy especializados en el tema, que estudiaban sistemas moderadamente complejos por medio de cálculos que podían tomar varias semanas. Actualmente con los computadores modernos, un análisis complejo puede tardar tan sólo unos minutos. Esto ha generado una incógnita alrededor de los resultados obtenidos de un software. Es por eso que se ha desarrollado este seminario, para proveer los fundamentos ingenieriles del diseño mecánico que permiten al ingeniero comprender los resultados entregados por el computador, hacer los cambios más adecuados para optimizar el sistema y darse cuenta de los resultados no razonables que el programa pudiera entregar.

En este seminario de investigación se dividieron los temas en dos grandes grupos: Fundamentos del sistema de tubería y diseño mecánico. En la primera parte se investigaron las principales definiciones, estándares, materiales, accesorios, válvulas, instrumentos, métodos de unión, hidráulica e integridad de los sistemas de tuberías. En la segunda parte se estudió el diseño mecánico tratando los siguientes temas: Conceptos de resistencia de materiales, expansión térmica y flexibilidad, requerimientos de los códigos de tuberías, soportes, juntas de expansión, conexiones a equipo estático y rotativo, información requerida y generada por el analista de tuberías y casos especiales (tubería enterrada y bajo el agua).

¹Trabajo de Grado

²Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ing. Néstor Raúl D'croz, Universidad Industrial de Santander

ABSTRACT

TITLE: SEMINARY OF INVESTIGATION IN PIPING MECHANICAL DESIGN³.

AUTHORS⁴:

**MARÍA LUCÍA RESTREPO CARVAJAL
JAIME ESTEBAN BUILES SÁNCHEZ
CAMILO CALDERÓN SUPELANO
JUAN FELIPE ORDÓÑEZ REY**

KEY WORDS: Piping system, mechanical design, flexibility, stress analysis.

DESCRIPTION:

Every fluid transport system has an associated piping system, which makes the movement of the fluid between two points possible. This system turns out to be critical, because the unexpected failure of any component can produce the entire shutdown of the plant.

The piping mechanical design looks forward to avoid those failures, evaluating the stresses produced by the loads and the subsequent validation with the allowable stress of the material. This task has evolved significantly since the time when specialized engineers in this topic were required for the study of fairly complex systems, through calculations which could take several weeks. Nowadays, with the modern computers, complex analysis can take just some minutes. This has generated a mystery around the final results from software. This is why this German Seminar was developed, to provide the engineering mechanical design fundamentals to allow the engineer understand the results given by the computer, make the suitable changes to optimize the system, and realize the possible unreasonable results given by the software.

The topics treated in this Seminar were divided in two main groups: Piping Fundamentals and Mechanical Design. The first part deals with principal definitions, standards, materials, fittings, valves, instruments, flanges, welding, threads, piping hydraulics and integrity of the piping systems. The second part studied the mechanical design, following the next topics: Strength of materials, thermal expansion and flexibility, code requirements, supports, expansion joints, connections to static and rotating equipment, required and generated information by the piping analyst and special cases (buried and subsea piping).

³Graduate Work

⁴Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineer School, Director: Eng. Néstor Raúl D´Croz, Universidad Industrial de Santander

Introducción

Todo sistema de transporte o aprovechamiento de fluidos cuenta con un sistema de tubería asociado que de manera eficiente hace posible el movimiento del fluido de un punto a otro. Este sistema resulta ser crítico, ya que la falla inesperada de uno de sus componentes puede producir la parada total de la planta, con todos los problemas que esto conlleva.

El diseño mecánico de la tubería busca evitar estas fallas por medio de una evaluación de los esfuerzos producidos en el sistema debido a las cargas que están presentes (peso, presión, temperatura, viento, terremoto, etc.) y la posterior validación con el esfuerzo permisible del material de la tubería. Este estudio involucra además el efecto que existe en la interacción del sistema con los equipos estáticos y rotativos a los que está conectado. La respuesta del ingeniero encargado del diseño mecánico es una ubicación apropiada de soportes y restricciones, así como el uso, cuando es necesario, de elementos para proveer flexibilidad al sistema como lazos o juntas de expansión.

Esta tarea ha evolucionado de manera significativa desde la época en que se necesitaban ingenieros muy especializados en el tema, que estudiaban sistemas moderadamente complejos por medio de cálculos que podían tomar varias semanas. Su alcance estaba limitado al cálculo de los esfuerzos producidos y la flexibilidad del sistema. Actualmente con los computadores modernos, un análisis complejo puede tardar tan sólo unos minutos. Esto ha hecho que el campo haya dado un giro impresionante, generando una incógnita alrededor de los resultados obtenidos de un software. Es por eso que se ha desarrollado este seminario, para proveer los fundamentos ingenieriles del diseño mecánico que permiten al ingeniero comprender los resultados entregados por el computador, hacer los cambios más adecuados para optimizar el sistema y darse cuenta de los resultados no razonables que el programa pudiera entregar.

Debido a lo profundo y significativo que es el diseño mecánico de tuberías, las universidades normalmente no ofrecen un curso de formación profesional a sus estudiantes de ingeniería mecánica. El amplio alcance que este campo supone así como la escasez de profesionales de alto nivel, capacitados en el área, hacen que la academia se interese poco en este tema, dejando que el ingeniero aprenda en la práctica y por su estudio personal. En lo que a Colombia refiere, ninguna universidad brinda dentro de sus materias electivas profesionales un curso de este tipo. Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo de grado es hacer que la Universidad Industrial de Santander sea pionera en la formación de profesionales especializados en Diseño Mecánico de Tuberías en nuestro país. Con la información aquí generada, estructurada y con la visión general que provee este seminario, la Escuela de Ingeniería Mecánica está en capacidad de desarrollar un programa de capacitación sólido en este tema, de vital importancia para nuestra región y para el país.

Capítulo 1

Generalidades del Seminario de Investigación

El Seminario de Investigación es una herramienta que nace en la Alemania del siglo XVIII como contrapropuesta a la metodología de aprendizaje poco funcional de la universidad medieval del siglo XII. Este proceso de investigación busca una formación integral de sus participantes que combina docencia e investigación para obtener mejores resultados.

El seminario consiste en un aprendizaje grupal, en el cual se recopila información, luego se estudia, se discute y se genera una retroalimentación que se plasma en un documento. El trabajo es complementario. Cada uno de los participantes investiga, pero uno de ellos se encarga de exponer el tema (el relator), otro lo complementa y lo evalúa (el correlator), entre todos se aportan ideas y se plantean nuevos interrogantes y un último participante (el protocolante) se encarga de sacar las conclusiones, las cuales se agrupan en el acta de la reunión.

La realización del seminario está guiada por un director, quien con su conocimiento y experiencia en el tema, guía a los participantes en todo lo que comprende el desarrollo de la actividad.

1.1. Objetivo

El objetivo de un Seminario de Investigación es formar a los participantes para la investigación científica mediante el desarrollo de habilidades específicas aplicadas al asumir los diferentes roles dentro del seminario. Dichas habilidades están orientadas a:

1. Desarrollar la capacidad de lector crítico de resultados de investigación en cualquiera de las áreas del conocimiento.
2. Fortalecer la capacidad de observar e identificar los problemas presentes en tópicos bajo análisis.
3. Buscar respuestas a preguntas claves y sustentarlas teórica y metodológicamente en forma verbal y por escrito.
4. Identificar las relaciones del problema objeto de estudio con el contexto económico, político o social, a fin de enriquecer con una mirada integral, el conocimiento para el grupo de estudiantes.

El objetivo se logra desde un trabajo personal hacia uno grupal, en la cual cada participante aporta de acuerdo a sus temas de interés y su estilo de aprendizaje. Esta participación activa está acompañada del diálogo y la colaboración mutua y es especialmente útil para aprender a escuchar ideas de forma interpretativa.

1.2. Ventajas

- Contar con un director, que guía el desarrollo del seminario y está atento a resolver inquietudes y orientar sobre el tema de investigación.
- Fortalecer el hábito de documentación acerca del tema de estudio. Esto permite apropiarse del conocimiento encontrado en cada texto, mejorando las competencias interpretativas.
- Variar los roles dentro de un equipo de trabajo, lo cual permite que cada uno desarrolle habilidades de comunicación, relaciones interpersonales y manejo del escenario, las cuales son necesarias para la formación personal y profesional.
- Experimentar el trabajo en equipo, sin ningún tipo de hegemonía ni jerarquía, lo cual le da eficiencia al trabajo. Cuando el equipo es multidisciplinario, la ganancia es doble.
- Desarrollar y usar herramientas didácticas durante las sesiones, así como planificar con detalle cada una de estas. Esta actividad es parte de la formación de futuros docentes en el área de especialización.
- Familiarizar al estudiante con metodologías de estudio e investigación, las cuales serán útiles a lo largo de toda su vida de aprendizaje en todas las áreas del conocimiento.
- Desarrollar en cada participante un alto sentido de responsabilidad, la cual es muy necesaria para la correcta realización de cada sesión.

1.3. Organización

El Seminario de Investigación se compone de las siguientes actividades: la Relatoría, la Correlatoría, la Discusión y el Protocolo, las cuales deben girar en torno a un tema, del que se desprenden los subtemas a tratar durante las sesiones. Dichas actividades son responsabilidad de los integrantes del grupo, por lo cual a cada uno de ellos es asignado un rol, de carácter rotativo.

El seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías está compuesto por:

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO MECÁNICO DE TUBERÍAS	
Director	Prof. Néstor Raúl D’Croz
Participantes	María Lucía Restrepo Carvajal
	Jaime Esteban Builes Sánchez
	Camilo Calderón Supelano
	Juan Felipe Ordóñez Rey

Figura 1.1: Integrantes del Seminario

1.4. Tema del Seminario

Todo sistema de transporte o aprovechamiento de fluidos cuenta con un sistema de tubería asociado que de manera eficiente hace posible el movimiento del fluido de un punto a otro. Este sistema resulta ser crítico, ya que la falla inesperada de uno de sus componentes puede producir la parada total de la planta, con todos los problemas que esto conlleva.

El diseño mecánico de la tubería busca evitar estas fallas por medio de una evaluación de los esfuerzos producidos en el sistema debido a las cargas que están presentes (peso, presión, temperatura, viento, terremoto, etc.) y la posterior validación con el esfuerzo permisible del material de la tubería. Este estudio involucra además el efecto que existe en la interacción del sistema con los equipos estáticos y rotativos a los que está conectado. La respuesta del ingeniero encargado del diseño mecánico es una ubicación apropiada de soportes y restricciones, así como el uso, cuando es necesario, de elementos para proveer flexibilidad al sistema como lazos o juntas de expansión.

Esta tarea ha evolucionado de manera significativa desde la época en que se necesitaban ingenieros muy especializados en el tema, que estudiaban sistemas moderadamente complejos por medio de cálculos que podían tomar varias semanas. Su alcance estaba limitado al cálculo de los esfuerzos producidos y la flexibilidad del sistema. Actualmente con los computadores modernos, un análisis complejo puede tardar tan sólo unos minutos. Esto ha hecho que el campo haya dado un giro impresionante, generando una incógnita alrededor de los resultados obtenidos de un software.

Es por eso que se ha desarrollado este seminario, para proveer los fundamentos ingenieriles del diseño mecánico que permiten al ingeniero comprender los resultados entregados por el computador, hacer los cambios más adecuados para optimizar el sistema y darse cuenta de los resultados no razonables que el programa pudiera entregar.

1.5. Dirección del Seminario de Investigación

La dirección del Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías está a cargo del profesor Néstor Raúl D’Croz, quien de una manera especial ha vertido sus conocimientos durante la realización de cada sesión, interesado en la formación profesional de alta calidad de cada uno de los participantes.

1.6. Descripción de los Roles

El rol de cada participante del seminario es el siguiente:

Las tareas del director son:

- Orientar a los participantes en su investigación.
- Brindar la asesoría que se requiere para encaminar el trabajo y conseguir los propósitos establecidos.
- Resolver las dudas e inquietudes que se presentan.
- Orientar sobre las fuentes de consulta a los miembros del grupo.
- Velar por mantener la cohesión del grupo y un adecuado ambiente de trabajo.
- Intervenir durante las sesiones corrigiendo y complementando las opiniones de los participantes, propiciando así el debate, mediante el cual se muestre la capacidad e decisión de cada miembro del grupo, así como su expresión oral y argumentación durante el seminario.

Las tareas del relator son:

- Identificar, seleccionar y organizar materiales, textos y contenidos.
- Ser un buen expositor, aprender a expresarse y argumentar en público.
- Sintetizar ideas y sacar conclusiones propias.
- Someterse a la crítica y al juicio colectivo, lo que genera madurez psíquica e intelectual para su vida académica, profesional y personal.
- Identificar las preguntas claves contextualizadas.

Las tareas del correlator son:

- Saber escuchar y potenciar la habilidad de concentración.
- Realizar aportes de manera valorativa y crítica.
- Ejercitar la capacidad de evaluar, mediante la apreciación y valoración del dominio argumental del tema, de la claridad de la exposición y de la capacidad de motivar y convencer al grupo.
- Identificar las preguntas claves contextualizadas.

Las tareas del protocolante son:

- Percibir y captar lo fundamental de lo tratado en la sesión.
- Identificar los momentos más significativos y plasmarlo por escrito.
- Generar fuentes de producción intelectual a través de las memorias que son fruto del seminario.

Se busca que los participantes logren:

- Autoevaluar su nivel de preparación en cuanto al tema.
- Desarrollar habilidades para dialogar, confrontar ideas, trabajar en grupo y respetar la opinión de los demás.
- Aprender a participar cuando es pertinente y necesario, registrando, anotando y organizando las ideas y argumentos cuando se desea intervenir, respetando y demostrando interés por apreciar y evaluar los argumentos contrarios.

1.7. Metodología

La metodología usada en el Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías sigue los lineamientos para esta modalidad de trabajo de grado, establecidos por la vicerrectoría académica de la Universidad Industrial de Santander. La metodología propuesta está expresada en la figura 20 y fue la base para el desarrollo de la actividad de forma fluida, con el propósito de cumplir los objetivos propuestos para el seminario.

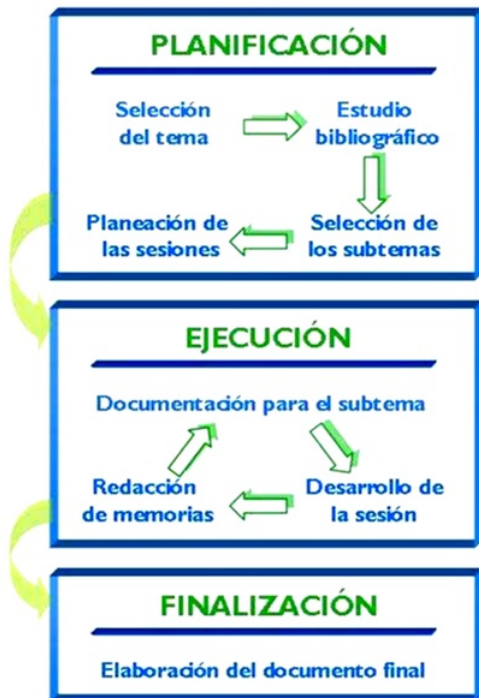


Figura 1.2: Metodología usada para en el desarrollo del Seminario de Investigación

Capítulo 2

Planeación

La labor más importante de esta etapa es la selección del tema. Este tema debe generar en los participantes interés y motivación, ya que de esto depende el éxito del seminario. Después de tener claro este asunto, se plantean las posibilidades para abordarlo y el alcance y resultado que se espera obtener (El alcance depende del grado de formación de los participantes). Si se encuentra que un Seminario de Investigación cumple con las expectativas que el grupo plantea, se establecen los lineamientos bajo los cuales se desarrollará.

2.1. Objetivos Planteados

Los objetivos planteados en esta etapa fueron los siguientes:

Objetivos Generales

- Usar la modalidad de seminario de Investigación para aplicar y difundir herramientas de aprendizaje en el área del diseño mecánico de tuberías, como aporte a la formación integral de estudiantes y profesionales interesados en el campo, lo cual fomenta el desarrollo de la misión de la Universidad Industrial de Santander.
- Iniciar el estudio de nuevos objetos de investigación de interés para la Escuela de Ingeniería Mecánica, como lo establece el acuerdo 4 de 2007 del reglamento estudiantil.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un seminario de investigación para articular los procesos de formación e investigación en el área de diseño mecánico de tuberías siguiendo los lineamientos establecidos por la vicerrectoría académica para los mismos, brindándole así al participante los recursos y materiales que lo apoyen en la construcción de su conocimiento.
- Elaborar un documento final, donde se compilen los resultados de la investigación y la discusión realizada de cada uno de los temas listados anteriormente, a partir de los resúmenes, las relatorías recopiladas y los protocolos de cada sesión.
- Generar un material de respaldo que pueda ser útil para la estructuración de un diplomado en el área del diseño mecánico de tuberías en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

2.2. Estudio Bibliográfico

El desarrollo del Seminario de Investigación inicia con un estudio del material bibliográfico relacionado con la ingeniería de tuberías. Este estudio arrojó como principales fuentes de información los siguientes libros:

- **Piping Handbook**

Editor: Mohinder L. Nayyar. McGraw-Hill, Séptima edición. 2000

Es un muy buen libro que recopila los temas más importantes relacionados con los sistemas de tuberías y los entrega en manos de un experto en el asunto, quien los desarrolla con una profundidad y una exactitud que hace de este handbook un manual de referencia de muy buena categoría.

- **Curso Elemental de Diseño de Tuberías Industriales**

Benjamín Serratos. Edición propia, 2008

Este libro es una guía práctica y sencilla que abarca los fundamentos de los sistemas de tuberías de manera precisa. El primer volumen se encarga de ubicar al lector en el campo, definiendo los conceptos básicos de la tubería y los accesorios relacionados con ella. El segundo volumen es más específico en cuanto al diseño de plantas, ya que se dedica al dimensionamiento, el trazado y la instalación del sistema de tubería.

- **Piping & Pipeline Engineering – Design, Construction, Maintenance, Integrity and Repair.**

George A. Antaki. Marcel Dekker, Inc., 2003

Este libro está escrito en secuencia, incluyendo de forma alternativa teoría y práctica a cerca de los principios fundamentales en materiales, diseño, fabricación, inspección, pruebas, operación, mantenimiento e integridad de sistemas de tuberías. Si se quisiera hacer una división temática del libro, se podría plantear: (1) Preliminares: Normas sobre tuberías, planeación de proyectos y componentes del sistema, (2) Diseño Mecánico: Análisis de esfuerzos bajo cargas estáticas y dinámicas, (3) Casos especiales: Tubería bajo el agua y tubería enterrada y (4) Integridad y Fallas: Corrosión, inspección, mantenimiento y reparación.

- **Design of Piping Systems**

The MW Kellogg Company. Revised Second Edition, 1967

Este libro es uno de los pilares fundamentales del diseño mecánico de tuberías, por el avance científico que representó para la época en que fue escrito. Presenta los métodos manuales que se utilizaron por muchos años para el análisis de flexibilidad: El método general analítico, el método simplificado, el método del cantilíver guiado y el método de prueba de modelos. Hoy día los programas especializados en el cálculo de esfuerzos en el sistema están basados en la información contenida en libros como éste.

- **Facility Piping Systems Handbook**

Editor: Michael Frankel. McGraw-Hill, Second Edition. 2002

Es un manual que abarca muchísimos temas con mediana profundidad. Divide su enfoque de acuerdo a la aplicación que tiene el sistema, bien sea el transporte de gas combustible, gas comprimido, aire, tuberías de drenaje, vapor y condensado, agua potable y no potable, entre otros. Sus primeros capítulos detallan aspectos generales de la tubería, como los códigos y los componentes de las tuberías, así como los materiales y las características físicas, químicas y mecánicas de éstos.

2.3. Selección de los subtemas

Una vez recopilada la información y planteado el alcance del seminario, se plantean los subtemas que se estudiarán, que permitan comprender el tema de forma integral, con el nivel de complejidad planeado.

Se decidió hacer una gran división en los temas a tratar. La primera parte del seminario tiene la intención de ver el sentido global del sistema de tubería. Para ello, introduce a los participantes al estudio

de los componentes del sistema y otros aspectos que de una u otra forma pueden llegar a afectar el diseño mecánico; mientras que la segunda parte se dedica de manera extensa a la ingeniería de esfuerzos en tuberías. Los subtemas planteados en cada parte fueron:

Parte I: Fundamentos

1. Definiciones
2. Normativa
3. Materiales
 - a) Materiales Metálicos
 - b) Materiales no Metálicos
4. Accesorios del Sistema
 - a) Elementos de Direccionamiento de Flujo
 - b) Válvulas
 - c) Instrumentación
 - d) Soportes
5. Métodos de Unión
 - a) a. Uniones bridadas
 - b) Uniones soldadas
 - c) Otras uniones
6. Trazado del Sistema
 - a) Formas generales de representación de tuberías
 - b) Tipos de dibujos
 - c) Uso del software CadWorx Plant®
7. Integridad de Tuberías
8. Hidráulica de los Sistemas de Tubería

Parte II: Diseño Mecánico de Tuberías

1. 1. Preliminares
 - a) Conceptos de Resistencia de Materiales
 - b) Propiedades de los Materiales
 - c) Introducción a los Análisis de Flexibilidad
2. Diseño del Sistema bajo carga estática
 - a) Cargas del Sistema
 - b) Cálculo de Esfuerzos
 - c) Análisis de Flexibilidad

- d) Análisis de Resultados
 - 1) Criterios de Diseño
 - 2) Métodos para proveer flexibilidad: Juntas de Expansión
- e) Uso del software CAESAR II ®

3. Cargas Dinámicas

4. Casos Especiales

- a) Tubería bajo el agua
- b) Tubería enterrada

5. Fallas en los análisis de flexibilidad

Durante el desarrollo del seminario, diferentes modificaciones fueron hechas a este plan inicial. Estos cambios se especifican en la etapa de ejecución del seminario (Ver capítulo 3)

Capítulo 3

Ejecución

En la etapa de ejecución se lleva a cabo lo planeado anteriormente. El proceso que se repitió para cada subtema comprende la documentación para cada sesión, la elaboración de las memorias y de la presentación por parte del relator, el desarrollo de la sesión y la posterior retroalimentación. Esta retroalimentación se deja condensada en el acta de la sesión.

Algunas de las ideas planteadas originalmente sufrieron modificaciones por razones de peso que se encontraron a lo largo de la investigación. Estas razones pueden consultarse en la sección 5 de Conclusiones. La nueva visión de este tema, más consistente con el proceso de formación profesional, se desarrolló de la siguiente manera:

PRIMERA PARTE FUNDAMENTOS	
TEMA	Relator
1. Definiciones	Esteban Builes
2. Normativa	
3. Materiales	
4. Accesorios	Edwin Martínez
5. Válvulas	Camilo Calderón
6. Instrumentación	Esteban Builes
7. Métodos de Unión a. Uniones bridadas	María Lucía Restrepo
b. Uniones soldadas c. Otras uniones	Juan Felipe Ordóñez
8. Hidráulica de sistemas de tuberías	Esteban Builes
9. Integridad de Tuberías	Juan Felipe Ordóñez

Figura 3.1: Primera Parte

SEGUNDA PARTE: DISEÑO MECÁNICO	
TEMA	Relator
10. Preliminares a. Propiedades de los materiales b. Tipos de carga y esfuerzos en tuberías	Camilo Calderón
11. Expansión Térmica y Flexibilidad	Esteban Builes
12. Requerimientos del código	
13. Soportes de Tubería	María Lucía Restrepo
14. Juntas de Expansión	
15. Conexiones a equipo estático	Camilo Calderón
16. Conexiones a equipo rotativo	
17. Información requerida y generada por el analista de tuberías	Esteban Builes
18. Casos Especiales a. Tubería enterrada	Esteban Builes
b. Tubería bajo el agua	María Lucía Restrepo

Figura 3.2: Segunda Parte

3.1. Descripción de los Subtemas

Parte I

- 1. Definiciones: La primera parte de este capítulo está basada en los estándares ASME B36.10M y API 5L. Busca enumerar cada una de los parámetros que están relacionados con el tubo, especificando cada uno de ellos. Además, deja clara la diferencia existente entre tubería común (pipe) y tubería calibrada (tube).
- 2. Normativa: Este capítulo clasifica las organizaciones encargadas de producir estándares en general, para luego introducirse específicamente en los estándares para tuberías. Tiene una sección considerable dedicada al código ASME B31, especialmente el B31.3: Tubería de Proceso.
- 3. Materiales: De forma general, este capítulo estudia los diferentes tipos de materiales que pueden ser usados para fabricar las tuberías, mencionando las ventajas, desventajas y principales aplicaciones de cada uno.
- 4. Accesorios: El objetivo de este capítulo es proporcionar al lector una visión general de los componentes del sistema que son útiles para direccionar el flujo (codos, tés, reducciones, etc.). Además, este capítulo incluye una sección acerca de los filtros usados en sistemas de tuberías.

- 5. Válvulas: Este capítulo clasifica los tipos generales de válvulas usados en un sistema de tuberías según su función y expone cada uno de ellos, mencionando sus características y principales aplicaciones.
- 6. Instrumentación: Este capítulo proporciona una visión general de los instrumentos usados para la medición de presión, flujo, nivel y temperatura en el sistema de tubería.
- 7. Métodos de Unión: Este capítulo expone los siguientes métodos de unión:
 - a. Uniones Bridadas: La unión bridada es un método muy común de para el ensamble de sistemas de tuberías. En este capítulo se estudian los aspectos que están relacionados en la selección, diseño y operación de estas uniones.
 - b. Uniones Soldadas: En este capítulo se analizan los procesos de soldadura que intervienen en la fabricación y montaje de sistemas de tubería con un enfoque basado en los códigos aplicables a este tema, a la vez que se analizan las técnicas de inspección y ensayos no destructivos aplicados en la industria para detectar las fallas o discontinuidades en dichos procesos.
 - c. Otras Uniones: Este capítulo trata los requerimientos del código en cuanto a las uniones roscadas. También trata de otros tipos de uniones con campos de aplicación mas específicos y otras de uso moderno.
- 8. Hidráulica de los sistemas de tuberías: Este capítulo expone de manera concisa el amplio tema de la Hidráulica de Flujos Internos, el cual involucra las propiedades de los fluidos y las ecuaciones básicas de la mecánica de fluidos: Continuidad, Bernoulli, Energía, Cantidad de Movimiento y Momento de la Cantidad de Movimiento.
- 9. Integridad de Tuberías: En este capítulo se estudia la operación, mantenimiento, evaluación y fallas en los sistemas de tubería.

Parte II: Diseño Mecánico

- 10. Preliminares: Este capítulo expone los siguientes temas:
 - a. Propiedades de los materiales: Donde se clasifican las propiedades de los materiales y se estudian cada una de ellas. Especial atención tiene el tema de las propiedades mecánicas, así como el tipo de fallas comunes en la tubería, relacionado con las propiedades del material.
 - b. Tipos de Carga y Esfuerzos en Tuberías: Esta sección es una introducción a la mecánica de materiales de las tuberías. Se plantean las cargas que actúan sobre el sistema y luego se estudia en detalle la teoría de los esfuerzos producidos por las cargas sostenidas. Estos temas son ratificados en el capítulo 12: Requerimientos del código.
- 11. Expansión Térmica y Flexibilidad: El objetivo principal de un análisis de esfuerzos es proveer flexibilidad a la tubería (posibilidad de movimiento ante las cargas de expansión térmica). Este capítulo analiza de forma detallada este aspecto fundamental y desarrolla uno de los dos métodos usados para proveer flexibilidad al sistema: Los Lazos de Expansión.
- 12. Requerimientos del Código: Este capítulo estudia los aspectos relevantes del capítulo “Diseño” de los códigos de tubería más importantes, los cuales son: Cargas que deben considerarse en el análisis, Esfuerzos permisibles, Diseño de componentes a presión y Cálculo de Esfuerzos en la Tubería. Cada uno de estos temas es de vital importancia en el análisis de esfuerzos de la tubería.
- 13. Soportes de Tubería: Este capítulo estudia los elementos que constituyen un soporte de tuberías, sus funciones y aplicaciones a las distintas necesidades del sistema, así como la ubicación y diferentes códigos que aplican.

- 14. Juntas de Expansión: En este capítulo se tratan las ventajas y desventajas de utilizar una junta de expansión en un sistema de tubería así como el análisis de movimiento y deformación del elemento de fuelle.
- 15. Conexiones a equipo estático: En este capítulo se trata de encontrar las cargas permisibles en conexiones, boquillas y el equipo, teniendo en cuenta la carga de la tubería y la flexibilidad basándose en los códigos tales como el Boletín WRC 297.
- 16. Conexiones a equipo rotativo: Este capítulo trata de encontrar las cargas permisibles y recomendaciones de montaje entre la tubería y el equipo. Basado en códigos y estándares tales como NEMA SM23, API 617 y API 610.
- 17. Información requerida y generada por el analista de tuberías: Este es un capítulo muy interesante, ya que expone los documentos que debe recibir el analista de esfuerzos en tuberías (condiciones de operación y algunos diagramas) y los documentos que genera a partir de su conocimiento, experiencia y uso de las herramientas computacionales. En cuanto a las herramientas computacionales, se han manejado los programas más usados en la región para la ingeniería de tuberías, los cuales han sido desarrollados por COADE®.
- 18. Casos especiales: En este capítulo se estudian dos temas que tienen un enfoque diferente en el análisis de esfuerzos, debido a la interacción de la tubería con condiciones diferentes del entorno.
 - a. Tubería enterrada: El objetivo de esta sección es introducir al lector en el mundo de la tubería enterrada. Aquí se establecen las nociones que permiten calcular la carga externa que experimenta la tubería por el peso del material de relleno y por las cargas dinámicas debidas al paso vehicular.
 - b. Tubería bajo el agua: En este capítulo se tratan las diferentes cargas que afectan a una tubería estando por debajo del agua.

3.2. El Acta

El acta es el documento generado a partir de la sesión y resume el tema tratado y las conclusiones obtenidas a partir de la discusión. Además, el acta contiene los puntos específicos que el director aporta en relación con el tema expuesto: Los cambios que sugiere, el conocimiento que aporta, la evaluación que realiza de la calidad del expositor y los participantes, los objetivos y metas que plantea, entre otros. En la figura 29 muestra una de las actas desarrolladas durante el desarrollo del seminario.

Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías

Acta No. 29

Fecha: 18 de Noviembre de 2011

Tema: Preliminares - Propiedades de los materiales

Reunión No. 1

Roles:

Relator Camilo Calderón
Correlator María Lucía Restrepo
Protocolante Esteban Builes
Participantes Juan Felipe Ordoñez
Director Néstor Raúl D'Croz



ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA

Desarrollo del tema:

Se trataron los temas relacionados con las generalidades de las tuberías dentro de los cuales están: propiedades y características mecánicas, tipos de fallas comunes, comportamiento de materiales. Y Temática relacionada con los tipos de carga y esfuerzo en tubería dentro de las cuales se encuentran las cargas estáticas y dinámicas, esfuerzos admisibles básicos, esfuerzos sostenidos o primarios y teoría de esfuerzos en los distintos tipos de cargas de tubería.


Anotaciones


- Incluir la fragilidad en la diapositiva que enumera las propiedades mecánicas.
- Los ejemplos usados deben referirse a las tuberías.
- Debe mejorarse la clasificación de las propiedades, ordenándolas de una mejor manera.
- Cambiar el término aplastamiento, traducido de la palabra inglesa "Buckling". Aplastamiento se refiere a una falla por la estabilidad del terreno, mientras que buckling se refiere a otro concepto. Buscar una mejor traducción o referirse al término en inglés.
- Revisar el concepto de Esfuerzo por Corrosión.
- Cuando la corrosión es un factor que se espera, debe proveerse un espesor extra que no afecta al análisis de esfuerzos, pero que es de vital importancia para la vida útil de la tubería.
- EB: El orden que en que se desarrollan los conceptos de esfuerzos debe ser Axial, Flexión, Torsión y esfuerzos por Presión, en lugar de Longitudinal, Circunferencial y Radial.

Conclusiones

- Concluimos que la corrosión es un factor determinante el análisis de esfuerzo.
- Concluimos que la ductilidad es una propiedad importante en el material de las tuberías, que permite le ciertas deformaciones. Si fueran frágiles, colapsarían con cualquier carga de impacto.

Firmas:


Prof. Néstor Raúl D'Croz
Director


Camilo Calderón S.
Relator


María Lucía Restrepo C.
Correlator


Esteban Builes S.
Protocolante


Juan Felipe Ordoñez R.
Participante

Figura 3.3: Acta

Capítulo 4

Finalización

El resultado tangible del Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías es una serie de documentos y conclusiones que se recopilaron a lo largo del desarrollo del mismo. Estos documentos son:

1. Libro de Memorias, en el cual se compila toda la información recopilada y expuesta durante las sesiones del seminario.
2. Presentaciones, que fueron la ayuda visual usada por los relatores durante la exposición del tema.
3. Software de Apoyo, desarrollado para algunas aplicaciones que así lo requerían.

4.1. Libro de Memorias

El libro de memorias, titulado “Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías”, es el resultado físico más importante de este proyecto de grado. Allí se sintetiza la investigación realizada con la misma estructura con que se llevó a cabo el seminario de investigación. En su interior se encuentra plasmado el conocimiento del que cada participante se apropió, el cual fue refinado por medio de la discusión grupal y las sugerencias del director.

Este libro está dividido en dos partes: Fundamentos y Diseño Mecánico de Tuberías, las cuales a su vez se dividen en nueve capítulos cada una, que corresponden con los temas mostrados en el capítulo 3, los cuales se resumen brevemente en la sección 3.1. El software usado para la edición del documento fue Lyx, un procesador de texto que ofrece ventajas notorias frente a los editores de texto convencionales, tales como la correcta estructuración, la interconexión entre los elementos del documento (texto con imágenes, tablas, bibliografía, etc.), el control sobre las citas bibliográficas y la edición de las ecuaciones, por mencionar algunas.

Este documento esta disponible en la escuela de Ingeniería mecánica. En la figura 4.1 puede verse una imagen de su apariencia exterior.

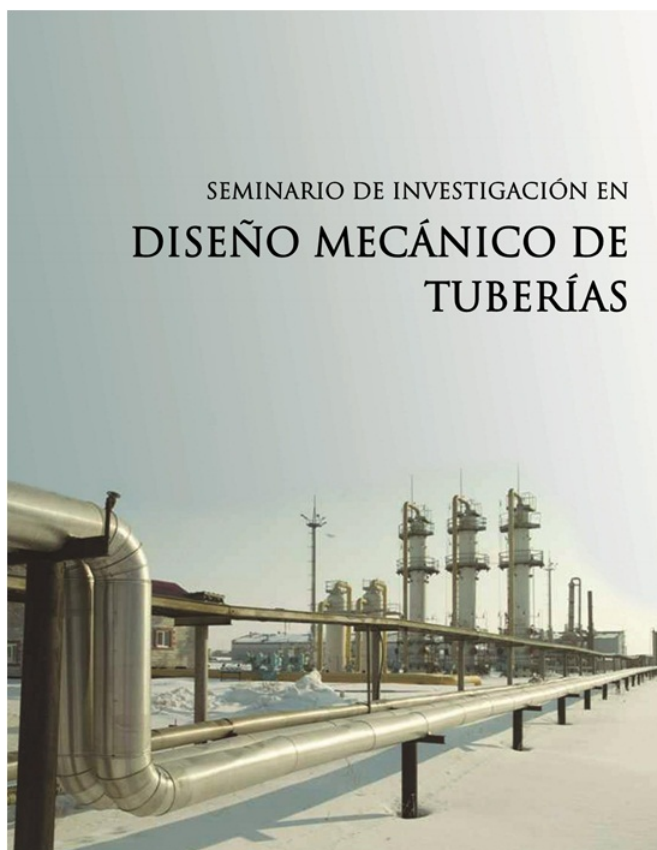


Figura 4.1: Portada libro de memorias

4.2. Presentaciones

Las presentaciones constituyen el apoyo didáctico usado durante las sesiones para desarrollar el tema de manera fluida, cautivando la atención de todos los participantes. Estas presentaciones se caracterizan por la importancia especial que se le da a las imágenes y tablas, dejando el uso de texto como complemento a ellas. La figura 4.2 es un ejemplo de una de las diapositivas usadas durante el desarrollo del seminario.

Este material fue elaborado en el software Microsoft Office Power Point y está estructurado de la siguiente manera:

1. Información básica del seminario de investigación
2. Contextualización del tema (Ver figura 4.3)
3. Roles de cada miembro del equipo
4. Contenido de la sesión
5. Desarrollo del tema
6. Bibliografía

Procedimiento General para el Análisis de Flexibilidad de la Tubería

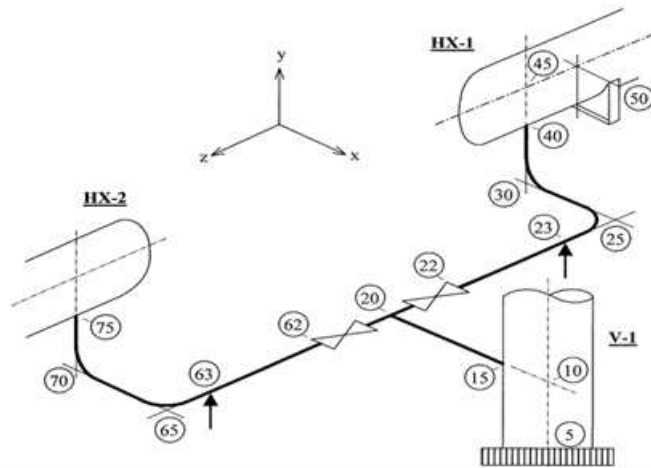
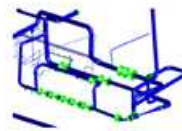


Figura 4.2: Ejemplo de diapositiva



Fundamentos

- Definiciones
- Normativa
- Materiales
- Accesorios del Sistema
 - Elementos de Direccionamiento de flujo
 - Válvulas
- Instrumentación
- Métodos de Unión
 - Uniones bridadas
 - Uniones Soldadas
 - Otras uniones
- Hidráulica de Tuberías



Diseño Mecánico

- Preliminares
 - Conceptos de Resistencia de Materiales
 - Propiedades de los Materiales
- Flexibilidad y Expansión Térmica
 - **Requerimientos del Código**
- Soportes de Tubería
- Juntas de Expansión
- Conexiones con Equipos estáticos y rotativos
- Trazado de la Tubería
- Casos Especiales
- Integridad y Fallas

Figura 4.3: Contextualización del tema

4.3. Software de Apoyo

Durante la sesión de Hidráulica de los Sistemas de Tuberías, resultó evidente la necesidad de usar un programa computacional que simplificara los cálculos requeridos para obtener las fuerzas que se generan debido al cambio de la cantidad de movimiento del fluido a su paso por los elementos de direccionamiento del flujo. Nuestra investigación arrojó pocos resultados en cuanto a programas existentes, los cuales calculan sólo las fuerzas generadas en los codos, algunas veces de manera muy particular. Por lo tanto, decidimos crear un programa que fuera lo más general posible, el cual involucrara el cálculo de esas mismas fuerzas en tubería recta, codos, tes, reducciones y válvulas.

El software utilizado para la programación fue Matlab® 7.1, el cual es una poderosa herramienta que permite desarrollar múltiples aplicaciones para el cálculo, representación y programación de los problemas a los que se enfrentan diversas áreas del saber.



Figura 4.4: Interfaz gráfica de inicio

La aplicación inicia con la pantalla mostrada en la figura 4.4, donde el usuario define el tipo de accesorio que necesita estudiar. A continuación, se abre una ventana con un gráfico del elemento seleccionado y una serie de cajas de texto que el usuario debe completar, las cuales están agrupadas en: (1) Datos del fluido (gravedad específica), (2) Datos del accesorio (geometría y peso) y (3) Datos de la operación (caudales y presiones relevantes). En la figura 4.5 se muestra la interfaz gráfica del programa, encargada de calcular las fuerzas en los codos.

El resultado obtenido se muestra en una última ventana, la cual contiene las reacciones de la estructura en las direcciones ortogonales del plano de estudio. Estos resultados han sido validados por medio de cálculos manuales, encontrando una precisión del 100 %.

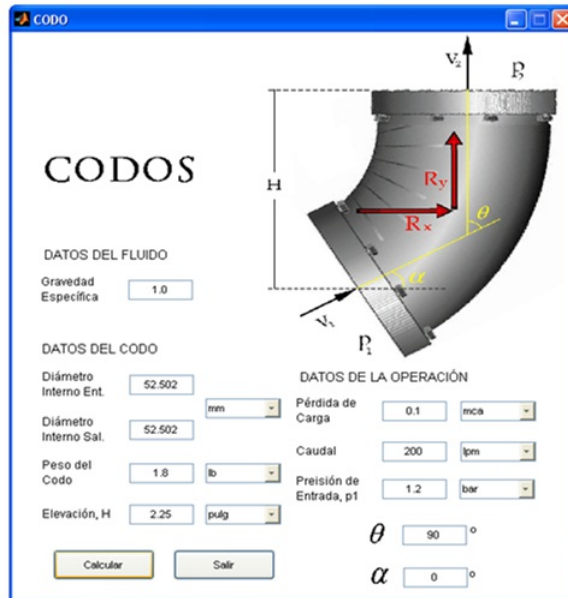


Figura 4.5: Interfaz gráfica específica

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El enfoque que tuvo este seminario de investigación potenció nuestras capacidades como profesionales, desarrollando y perfeccionando capacidades ingenieriles y personales que fortalecen el crecimiento integral de cada uno de nosotros.
- Este seminario nos abrió las puertas a la ingeniería de esfuerzos en tuberías, un campo que es muy práctico, necesario e importante para el crecimiento de nuestra región y del país.
- Con este trabajo de grado, hemos experimentado la eficiencia del trabajo en equipo y hemos potenciado la capacidad de comunicación interpersonal en asuntos profesionales.
- El libro “Seminario de Investigación en Diseño Mecánico de Tuberías”, generado a partir del desarrollo del seminario de investigación, es una fuente valiosísima de información que puede ser usada por estudiantes y profesionales para el estudio del tema de manera práctica, concisa e interesante.
- Junto con el libro de memorias, el seminario también arrojó un amplio compendio bibliográfico, el cual permanecerá en la Escuela de Ingeniería Mecánica como medio de consulta y referencia para las personas interesadas en el tema.
- La estructura aquí generada y perfeccionada puede ser utilizada libremente por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander para la etapa de planeación de un “Diplomado en Diseño Mecánico de Tuberías”, que sea pionero a nivel nacional en la formación de especialistas en el tema, lo cual, sin duda, se verá reflejado en el progreso de nuestra institución.
- El estudio detallado del Diseño Mecánico de Tuberías supuso un nuevo tema de investigación para la Escuela de Ingeniería Mecánica, el cual no está contemplado en sus líneas de investigación.
- Debe replantearse el alcance del tema Instrumentación, ya que tal como fue desarrollado, involucra un estudio que no afecta directamente al objetivo general, relacionado con el Diseño Mecánico de la Tubería.
- Durante el desarrollo del seminario, encontramos que algunos puntos específicos planteados originalmente debían replantearse. Hablamos específicamente de:
 - El capítulo de Soportes, que se había incluido como un Accesorio del Sistema (Capítulo 4 de la Parte I), se trasladó a la Parte II del seminario, para que adquiriera un enfoque más científico que tecnológico, es decir, el análisis que se hace en diseño mecánico incluye aspectos detallados que en el nivel que se había propuesto no eran posible analizar porque los conocimientos que se tenían en ese momento no eran suficientes.

- El capítulo Análisis de Flexibilidad (Parte II, Capítulo 2d), se había planteado desde un enfoque totalmente desactualizado hoy en día, ya que los computadores permiten desarrollar la matemática compleja que estos métodos utilizaban. Por el contrario, se ha modificado la visión general del capítulo, haciéndolo más práctico y aplicable, con temas como el “Procedimiento General para el Análisis de Flexibilidad de Tuberías” (sección 11.8), el cual plantea uno a uno los detalles que se deben tener en cuenta para realizar un análisis de esfuerzos en tuberías, vía software.
- Hemos decidido que la mejor forma de analizar el Trazado del Sistema y el uso de los programas computacionales (CadWorx Plant® y CAESAR II®) es por medio de un capítulo titulado “Información Requerida y Generada por el Analista de Tuberías”. Este enfoque supone una visión más global del asunto, ya que incluye la información generada por el analista, en la que se encuentran las especificaciones más importantes que debe tener el documento de reporte del análisis de esfuerzos de la tubería.
- El alcance que se había planteado de las cargas dinámicas que afectan al sistema se encuentra en la sección 12.2.4 en adelante, donde se hace una introducción general a cada una de ellas de manera concisa y práctica.
- La última sesión del seminario, fallas en los análisis de flexibilidad, se trasladó a la sección 10.2, donde se estudian las propiedades mecánicas de los materiales y sus modos de falla. En realidad, el análisis de flexibilidad falla, porque no se tienen en cuenta los parámetros establecidos por el material.
- El ítem Deformaciones Permisibles: Tablas, que era parte del análisis de resultados del diseño bajo carga estática, se estudió en la sección 11.5, con un enfoque mucho más práctico, ya que involucra la fatiga debida a los desplazamientos cíclicos de la tubería generados por la expansión térmica y los desplazamientos externos.
- El capítulo de diseño bajo carga estática se dividió en seis capítulos (del 11 al 16), para evitar la complejidad de la estructura y darle la importancia que tiene cada uno de los subtemas.

5.2. Recomendaciones:

- Recomendamos a la Escuela de Ingeniería Mecánica llevar a cabo el Diplomado en Diseño Mecánico de Tuberías, como proyecto de extensión, bandera a nivel nacional.
- Recomendamos a la Escuela de Ingeniería Mecánica incluir dentro de sus asignaturas de pregrado una materia electiva profesional que trate el tema del Diseño Mecánico de Tuberías.

Bibliografía

- [1] VICERRECTORIA ACADÉMICA UIS. Lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo del trabajo de grado. Publicaciones UIS, 2007.
- [2] L.C. PENG and T.L. PENG. Pipe Stress Engineering. ASME PRESS, 2009.
- [3] Mohinder L. NAYYAR. Piping Handbook. 7th Edition. Mc Graw Hill, 2000.
- [4] Henry LIU. Pipeline Engineering. CRC Press, 2003.
- [5] Benjamín SERRATOS. Curso Elemental de Diseño de Tuberías Industriales. Volumen I: Fundamentos y su Aplicación en Ingeniería. México, 2008.
- [6] The M. W. Kellogg Company. Design of Piping Systems. 2nd Edition. 1956.
- [7] COADE. Pipe Stress Analysis Seminar Notes. Houtson, Texas. 1993.