


**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): | Hilder Javier |  |
| Apellido (s): | Reay Bosa | |
| Código: | 20121375090 | |
| E-mail: | <u>Hilder240@hotmail.com</u> | |
| Teléfono fijo: | 2690950 | |
| Celular: | 312 553 91 68 | |

Ejecutor 2

| | | |
|----------------|-----------------------------|---|
| Nombre (s): | Miguel Ángel |  |
| Apellido (s): | Garzón Triana | |
| Código: | 20122375022 | |
| E-mail: | <u>magt1987@hotmail.com</u> | |
| Teléfono fijo: | 2690950 | |
| Celular: | 3133128250 | |

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

| | | |
|--|--|---|
| Título del Proyecto: | Análisis de flexibilidad estático a línea de tubería de vapor del ingenio Risaralda. | |
| Duración (estimada): | Cinco (5) Meses | |
| Tipo de Proyecto: (Marqué con una “x”) | Innovación y Desarrollo Tecnológico | |
| | Prestación y Servicios Tecnológicos | X |
| | Otro | |
| Modalidad del Trabajo de Grado: | Proyecto | |
| Línea de Investigación de la Facultad*: | Análisis por medio de elementos finitos | |
| Línea de Investigación de Proyecto curricular**: | Diseño de ingeniería mecánica | |
| Grupo de Investigación: | Ninguno | |
| Proyecto de Investigación: | Ninguno | |
| Áreas del conocimiento que involucra: | Diseño por elementos finitos, resistencia de materiales, termodinámica, mecánica de fluidos. | |

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

| | | |
|--|-------------------------------|--|
| Director: (Vo. Bo.) | Víctor Elberto Ruiz Rojas | |
| Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.) | Héctor Orlando Pinilla Suarez | |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 3 |
| CONTEXTO INTERNACIONAL. | 3 |
| CONTEXTO NACIONAL..... | 3 |
| CONTEXTO LOCAL..... | 4 |
| 1.1. ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 14 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 15 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 15 |
| 4. METODOLOGÍA | 25 |
| 5.CRONOGRAMA. | 28 |
| 6. FUENTES DE FINANCIACIÓN. | 29 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 30 |



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

CONTEXTO INTERNACIONAL.

En todas las industrias generadoras de energía a nivel mundial se presentan fenómenos físicos los cuales pueden generar graves problemas alterando el buen funcionamiento de las instalaciones; por lo tanto, se deben afrontar de acuerdo a su naturaleza. La dilatación térmica es uno de esos fenómenos.

Se denomina dilatación térmica al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en cualquier medio, las fuerzas causadas por dilatación térmica son tan elevadas que pueden ocasionar esfuerzos no admisibles tan altos que pueden llegar a romperla o, incluso, a ocasionar daños irreparables en los equipos

En el diseño de estructuras metálicas y líneas de tubería es de gran importancia la variación térmica de los materiales, si esta tiene un diferencial significativo la tecnología mecánica resuelve estos problemas de manera puntual; cuando la variación de temperatura no es muy alta y es significativamente despreciable los cálculos se desprecian dependiendo de la aplicación. En la actualidad existen programas los cuales hacen estos análisis matemáticos entregando informes detallados de los cálculos y puntos críticos afectados por esta expansión dimensional.

A nivel mundial existen 7 500 termoeléctricas¹ generadoras de energía, todas estas haciendo uso del vapor sobrecalentado para generar energía eléctrica, todas estas líneas de vapor están expuestas a cambios extremos en su longitud y forma, estos cambios de no ser controlados llevan a pérdidas incalculables desde el punto de vista económico, y pueden ocasionar graves accidentes que pongan en riesgo la vida de personas que estén trabajando para estas plantas generadoras de energía.

En muchos campos industriales se necesita transportar fluidos de un lugar a otro por medio de tuberías o ductos de alimentación y descarga, los cuales se ven sometidos a grandes variaciones de temperatura haciéndose, por lo tanto, muy apreciable el fenómeno de la dilatación y de los altos esfuerzos térmicos que producen, convirtiéndose en la causa de muchos problemas, en estos montajes las tuberías se vuelven estructuras complejas por lo cual es necesario hacer un análisis detallado de acuerdo a sistemas matemáticos los cuales ayudan a entender el comportamiento térmico de las líneas de transporte de fluidos.

CONTEXTO NACIONAL

En la industria generadora de energía mediante plantas termoeléctricas a nivel nacional, Colombia ha tenido un desarrollo importante en los últimos años, esto

¹FERNANDEZ MUERZA, Alex, Centrales termoeléctricas: termoeléctricas en España y el mundo. En: Consumer [En línea]. (8 de julio del 2007). Disponible en < http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2007/07/08/164481.php?page=3 > [Citado en 8 de julio del 2007].

ha hecho que se aumenten los proyectos para la generación de energía. Un sector importante en este campo es el de la industria azucarera el cual está en expansión constante.

Este sector ha venido implementando un proceso de cogeneración en sus plantas gracias a la cantidad de desperdicios producidos que sirven como combustibles para generar más energía de la que pueden consumir (de ahí el término de cogeneración).

Para el proceso de generación de energía se necesita quemar el bagazo de la caña para calentar las calderas las cuales generan vapor sobrecalentado suficiente que alimentan los turbogeneradores que convierten esta presión de vapor en energía rotacional que luego se convierte en energía en los generadores.

En un proceso de cogeneración, se requiere el transporte de diferentes fluidos como combustibles, agua a diferentes temperaturas, aire caliente para la combustión y como elemento principal el vapor a diferentes presiones y temperaturas dependiendo de la capacidad de las calderas y de los turbos instalados.

El manejo de todos estos elementos sometidos a cambios de temperatura, producen dilatación en los ductos transportadores los cuales generalmente son de longitudes significativas y con variadas geometrías dependiendo del diseño de la planta, generando al mismo tiempo grandes esfuerzos térmicos, tanto internos de los ductos, como en los puntos de fijación y/o conexiones de los equipos instalados.

Los equipos conectados, como turbinas, condensadores, bombas, compresores, etc., son equipos sensibles y por lo tanto las fuerzas y momentos en sus puntos de conexión están limitados tanto por los fabricantes, como por normas internacionales que rigen cada uno de estos equipos.

CONTEXTO LOCAL

El Ingenio Risaralda tiene previsto invertir este año unos \$63.000 millones en dos frentes: sostenimiento de la operación en fábrica y campo, que implica recursos por \$16.000 millones, y en el proyecto de cogeneración de energía limpia que ejecuta desde el año pasado y que para este momento ya comprometió \$47.000 millones de los \$ 63.000 mencionados.

La inversión total hasta 2015 será de \$91.250 millones. Según el cronograma, en junio de ese año se deben generar como capacidad instalada 34,5 megavatios, de los cuales 15 serán para el consumo de la compañía.

“La idea es que en la primera etapa vendamos 8,8 megavatios, para que en una segunda se suba a 14 megavatios y en la última entregar ya los 19 megavatios a una comercializadora que estamos buscando”², dijo el gerente General del Ingenio, César Augusto Arango.

² ARANGO, Augusto Cesar. Inversiones por \$ 63 000 millones. En: La tarde.com [En línea]. (26 de marzo del 2013). Disponible en < <http://www.latarde.com/noticias/economica/111608-inversiones-por-63000-millones> > [Citado en 7 de julio del 2014].

El proyecto que actualmente se encuentra en marcha, consiste en el montaje de una caldera que producirá vapor sobrecalentado con una presión de 950 psi y una temperatura de 950°F, para alimentar tres turbinas nuevas, tres turbogeneradores existentes en la actualidad, y el vapor residual aplicarlo en los procesos de fabricación.

El diseño actual corresponde al grafico 1, en donde intervienen tuberías metálicas para alta temperatura de diámetros nominales: 12", 10", 8" y 6".

Con la gran inversión que está haciendo el ingenio Risaralda en cuanto a cogeneración se hace indispensable realizar a cada una de las líneas de conducción de fluidos, un análisis de flexibilidad por medio de software especializado CAESAR II (Pipe Stress Analysis), garantizando la viabilidad del proyecto de aumentar la generación de energía eléctrica en el ingenio.

El estudio de flexibilidad determinará el comportamiento de todas las instalaciones al someter el sistema a las diferentes condiciones de operación: altas presiones (950 psi), altas temperaturas (950°F) y fluidos como vapor saturado o vapor sobre calentado.

Basados en los resultados del programa, los analistas deben aplicar los conocimientos adquiridos de ingeniería, normas técnicas, termodinámica y fundamentos de resistencia de materiales buscando la solución de las líneas de transporte y haciendo que el sistema sea más auto flexible, en el estudio se debe ubicar y calcular diferentes tipos de soportes, restricciones para orientar las dilataciones térmicas en la tubería, la utilización de juntas de expansión y muchos otros elementos disponibles en al área de la flexibilidad que garanticen el óptimo desarrollo de las líneas de tubería y los equipos presentes en el sistema de generación de energía del Ingenio Risaralda.

¿Es posible solucionar los problemas causados por dilatación térmica en la línea de tubería de vapor del Ingenio Risaralda mediante un análisis de flexibilidad en el software CAESAR II Pipe Stress Analysis?

De ser así se reduciría a niveles admisibles todas las variables en la línea de vapor del Ingenio Risaralda, evitando grandes tensiones internas en la tubería que puedan provocar grietas y la pronta rotura de la misma, aliviando fuerzas, momentos y esfuerzos excedidos que pongan en peligro la correcta operación de los soportes, de la estructura, de la tubería y de los equipos presentes dentro del sistema.

Además se garantizaría la viabilidad del proyecto demostrando las óptimas condiciones de funcionamiento de todos los accesorios presentes, asegurando la conservación de los elementos físicos de la empresa, salvaguardando la integridad de las personas que en ella laboran y aportando en la preservación del medio ambiente.

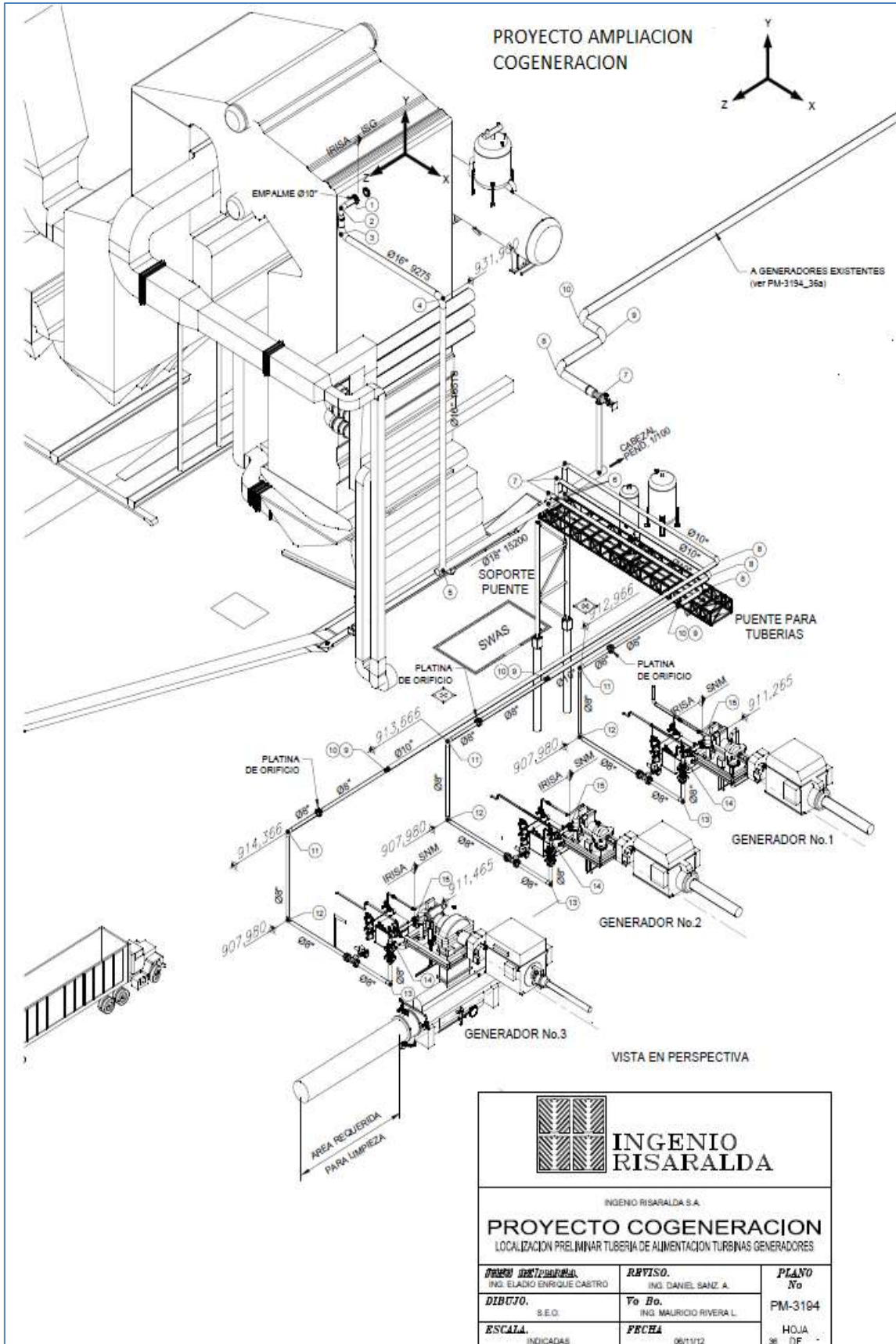


Grafico 1. Localización preliminar, tubería de alimentación turbinas generadores.
Fuente: Ingenio de Risaralda

1.1. ESTADO DEL ARTE

Este estado del arte presenta la información relacionada a los estudios de líneas de tubería por medio de análisis de flexibilidad localizados en artículos, proyectos de grado, tesis e informes que se han realizado a nivel académico y a nivel industrial.

Los análisis de flexibilidad en líneas de tubería no han sido una rama de importante investigación en países suramericanos y en Colombia, a continuación, se describirá información acerca del tema anteriormente mencionado.

La investigación comienza con busca de material de tipo técnico y científico de diferentes fuentes como son buscadores de internet, normas técnicas, informes y revistas relacionadas con el tema del análisis de flexibilidad en tubería, en esta investigación se localizaron (10) fuentes relacionadas de las cuales se seleccionaron (6) fuentes que directamente están involucran con el desarrollo del proyecto. Estas fuentes fueron tomadas de sitios de internet, revistas técnicas e informes descritos a continuación.

La búsqueda en sitios web está enfocada en buscadores de nivel académico, industrial especializado, informes técnicos y revistas virtuales de carácter científico y técnico. Cada una de las búsquedas se refiere exactamente al desarrollo de los estudios de flexibilidad en líneas de tuberías.

En el buscador de internet Google ingresamos el tema de interés ya antes mencionado y se despliega un listado de sitios, artículos y documentos de alta importancia para el desarrollo del proyecto que se mencionaran posteriormente.

En lo relacionado con la búsqueda académica y páginas que contienen bases de datos de tesis, informes y revistas técnicas se halla: Tesis en análisis de flexibilidad en sistemas de tubería, tesis de análisis de flexibilidad de tuberías y evaluación de cargas en boquillas de equipos rotatorios, tesis de análisis estático de flexibilidad al múltiple principal de carga de la refinería Puerto de la Cruz, ATPIMSA análisis de flexibilidad en tuberías, Flexilatina análisis de flexibilidad, toda la información recopilada en esta parte de la investigación fue de gran importancia para el desarrollo del proyecto ya que nos mostró varios tipos de soluciones tomadas para diversos problemas de dilatación térmica en distintos tipos de líneas de tubería, además destacan la importancia de usar accesorios flexibles como juntas de expansión y soportes de resorte en las soluciones propuestas para cada uno de los casos.

Por otro lado, se hallaron páginas de artículos y revistas técnicas en línea como lo son: publicación en análisis de flexibilidad Universidad Carlos III de Madrid España, Revista de la facultad de ingeniería Universidad Central de Venezuela,

boletín técnico modelo tridimensional de elementos finitos para el análisis de esfuerzo de tubos flexibles, apuntes de flexibilidad CORACI sa, elementos de diseño para el cálculo de flexibilidad en tuberías y aplicación de compensadores de dilatación CORACI sa. La información encontrada en esta parte de la investigación aporta un alto contenido técnico al proyecto, ya que de forma clara y concisa explica cada una de las variables esenciales (fuerza, temperatura, presión, peso, dilatación térmica, etc.) que deben ser estudiadas detalladamente en un análisis de flexibilidad.

Las (10) fuentes citadas fueron encontradas en el buscador Google y están directamente relacionadas con los análisis de flexibilidad en tuberías, variables, procesos y características del desarrollo de un estudio flexible a líneas de proceso. De las fuentes consultadas (3) son tesis de grado de ingeniería, provenientes de estudios realizados en las universidades de Carlos III de España, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica de México y Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas del departamento de mecánica de México. (5) Son publicaciones técnicas de estudios de flexibilidad realizados que ofrecen datos informativos acerca de este tema, de estas 5 publicaciones se encuentra una empresa nacional Flexilatina de Colombia Ltda, que es una empresa local dedicada en una de sus líneas de servicio a los estudios estáticos de flexibilidad a tuberías, y por ultimo (2) fuentes citadas de CORACI sa, empresa líder en la fabricación de elementos flexibles para tuberías y análisis de flexibilidad de Barcelona España, estas dos publicaciones tienen información clara y concisa acerca de todas las variables que intervienen en un análisis de flexibilidad de tubería.

De estas fuentes se seleccionan seis que son consideradas claves para el desarrollo del estudio de flexibilidad en tuberías.

La primera fuente citada y seleccionada para el estado del arte es una tesis de grado de análisis de flexibilidad de tuberías de la Universidad San Carlos III de Madrid España publicada en junio del 2011 que muestra un estudio realizado a un sistema de tubería donde buscan evidenciar las tensiones, fuerzas y momentos que están presentes de esta línea.

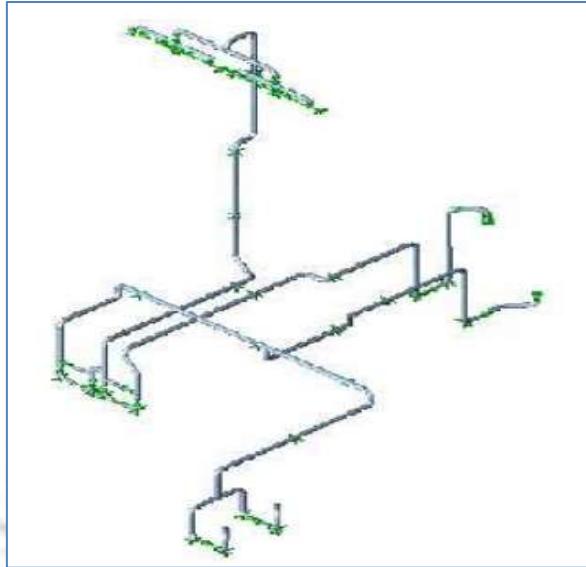


Fig.2 Línea de tubería analizada.
Fuente: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/12051>

La segunda es una tesis de grado de un estudio de flexibilidad que analiza una línea de tubería y las boquillas presentes de los equipos rotatorios, presentado para la Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica de México publicada en el año 2009, en esta se expone la solución de la línea mencionada evitando que las variables que actúan en el proceso pongan en riesgo la tuberías o los equipos presentes en ella.

La siguiente tesis encontrada trata acerca del análisis estático de flexibilidad al múltiple principal de la carga de la refinería Puerto de la cruz, presentado a la escuela de ingeniería y ciencias aplicadas del departamento de mecánica, publicada en mayo del 2010, en este estudio se obtuvieron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, las cargas sobre los pórticos que sostienen las tuberías que van hacia los tanques de carga y los esfuerzos que se encuentran fuera de los límites de esfuerzos permisibles, tanto por cargas de expansión térmica como por cargas sostenidas

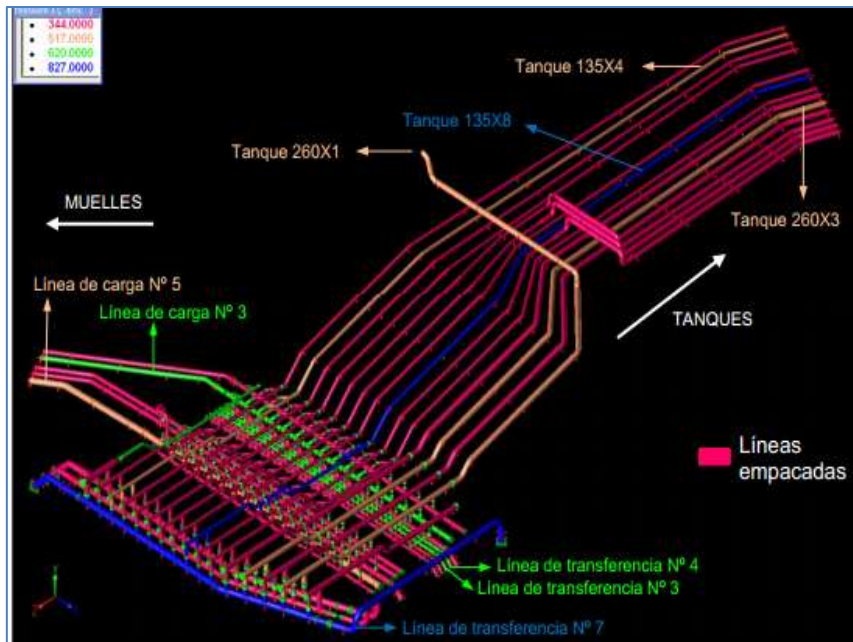


Fig.3 Líneas en operación del múltiple principal de carga.

Fuente: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3102/1/36-TESES.IM010B25.pdf>

Otra fuente de investigación es tomada de la organización CORACI sa, empresa localizada en la provincia de Barcelona (España), esta publico dos artículos técnicos acerca de los análisis de flexibilidad, ellos son: apuntes de flexibilidad publicado en octubre del 2008 y elementos de diseño para el cálculo de flexibilidad de tuberías y aplicación de compensadores de dilatación publicado en el 2007, estas publicaciones técnicas ofrecen información clara y concisa acerca de las variables: temperatura, presión, fluido, fuerza, etc. que se encuentran en un línea de tubería y de las cuales se debe tener un buen grado de conocimiento para realizar un análisis de flexibilidad.

Luego ATPIMSA es una firma de ingeniería y construcción, especializada en suministrar servicios integrales para proyectos de instalaciones industriales, comerciales y habitacionales, incluyendo proyectos tanto para nuevas instalaciones, como para modificaciones de instalaciones existentes fundada en el año de 1989, dentro de sus líneas de servicio maneja los análisis de flexibilidad en tubería que consisten en determinar el comportamiento de una tubería, al esfuerzo y deformación por transportar un fluido a temperatura caliente, criogénica, de estos estudios resultan los accesorios flexibles que permiten el movimiento admisibles de las tuberías.



Fig.4 Líneas de tubería metálica.

Fuente: <http://www.atpimsa.com/sblock/web/index.php/4/analisis-de-flexibilidad-de-tuberias>

Por ultimo flexilatina de Colombia es una empresa local fundada en el año 1987, esta es una compañía lider a nivel nacional en comercializacion de accesorios flexibles para tuberia y muy reconocida por el desarrollo de importantes estudios de flexibilidad en el pais, entre algunos de los estudios realizados se encuentran: Lineas de vapor a proceso, Postobon Piedecuesta (Fig. 5), lineas de tuberia de proceso Imocom S.A (Fig. 6), lineas de vapor unidades de generacion 1 y 2 Emgesa Cartagena (Fig.7), revisión de turbogenerador industrias Bacardi Corporation (Fig.8), turbina hc 800 Pulpapel, análisis de flexibilidad en tuberías para montaje de bombas en descargadero, estación Cusiana Ocesa Oleoducto Central S.A, tuberías de aceite térmico y de procesos IMOCOM, toda esta informacion es recopilada contiene alta importancia para la ejecucion del proyecto del analisis de flexibilidad de la linea de tuberia del ingenio Risaralda.

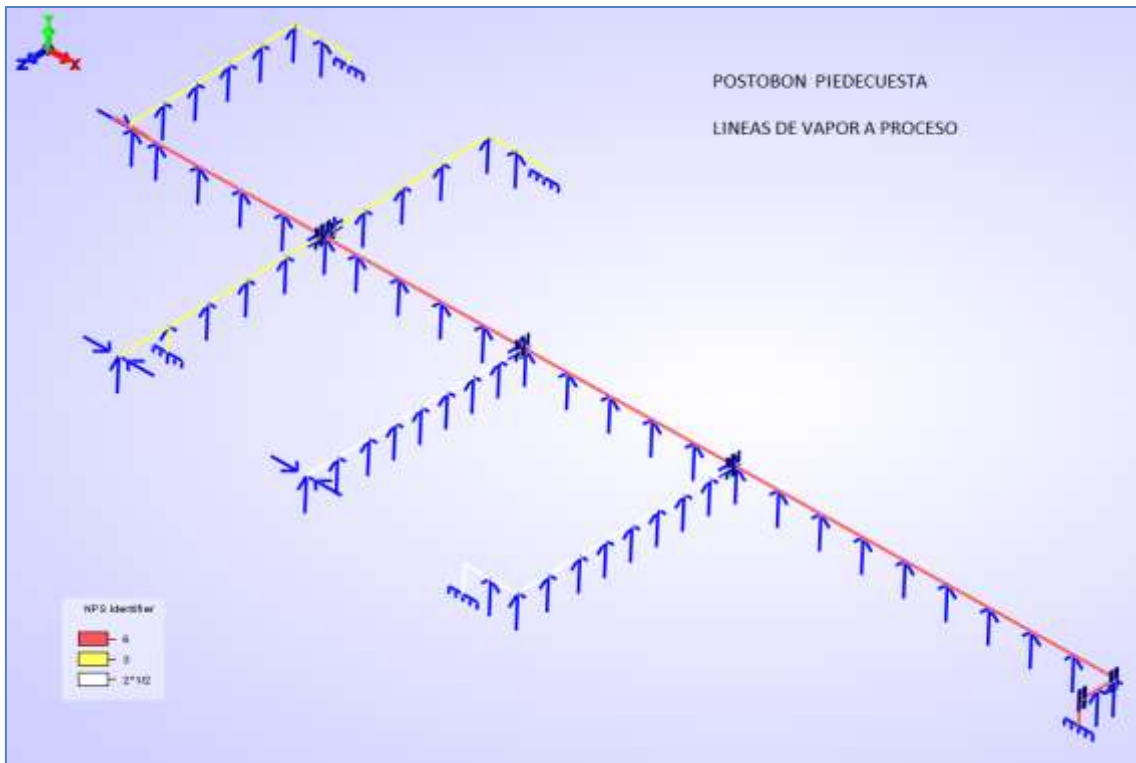


Fig.5 Análisis de flexibilidad Postobon Piedecuesta.
Fuente: Flexilatina de Colombia Ltda.

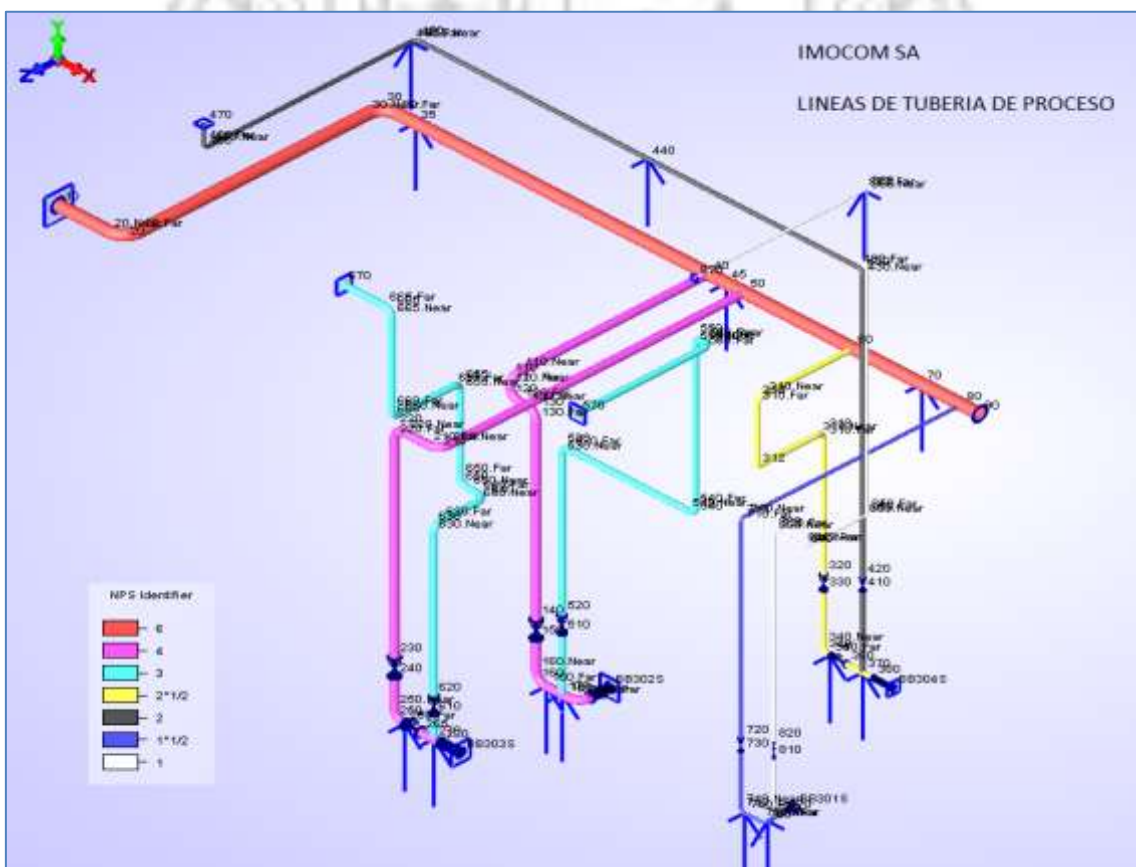


Fig.6 Análisis de flexibilidad Imocom S.A
Fuente: Flexilatina de Colombia Ltda.

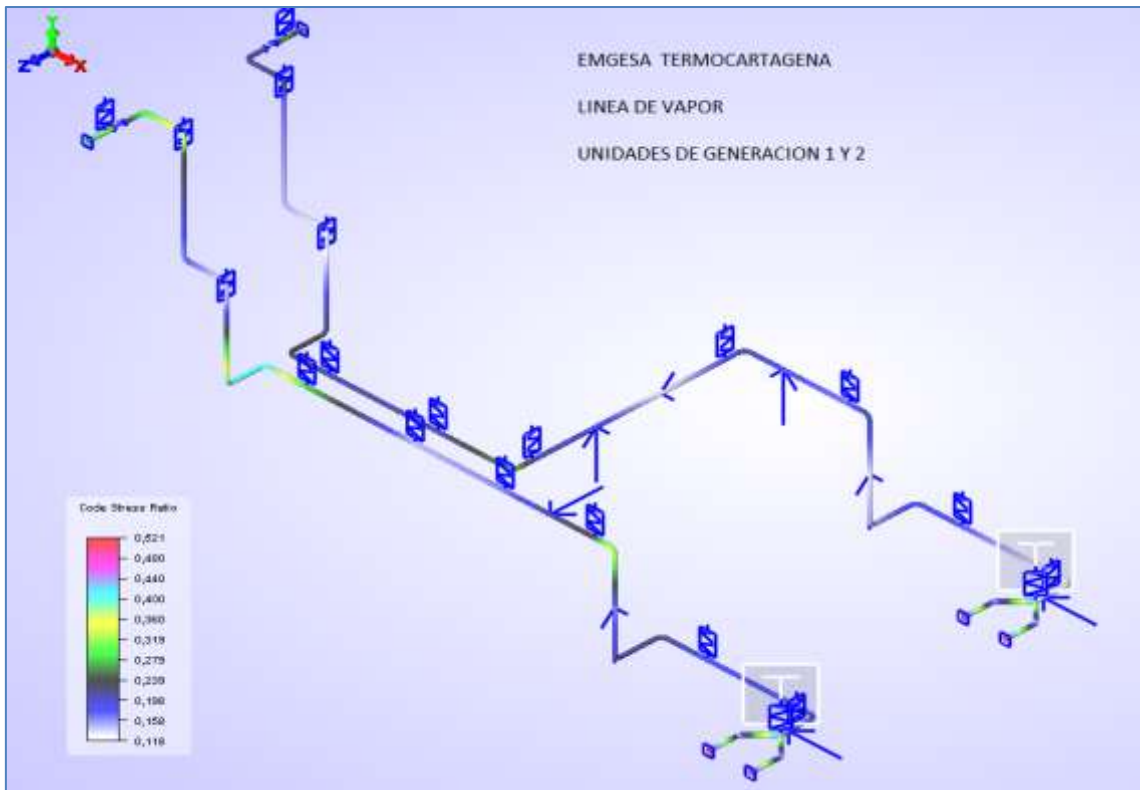


Fig.7 Análisis de flexibilidad Emgesa Cartagena
Fuente: Flexilatina de Colombia Ltda.

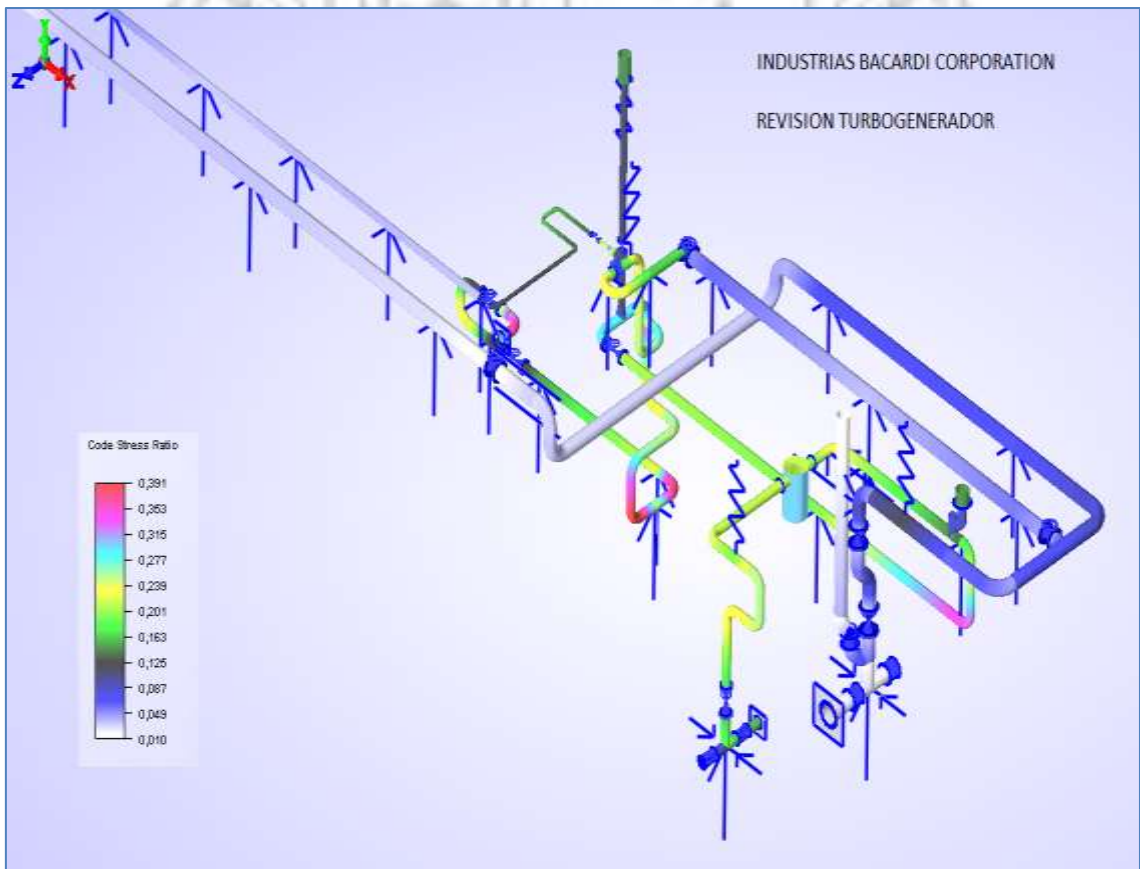


Fig.8 Análisis de flexibilidad industrias Bacardi corporation
Fuente: Flexilatina de Colombia Ltda.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de grado está enfocado a fortalecer las áreas del conocimiento vistas durante la formación como ingeniero mecánico en la universidad Distrital Francisco José de Caldas, profundizando en áreas como: diseño por elementos finitos, resistencia de materiales, termodinámica y mecánica de fluidos.

Los análisis realizados por el método de elementos finitos son fundamentales en muchos proyectos estructurales debido a que otorgan información clara y concisa acerca de la viabilidad del mismo, esta información está enfocada en la prevención de fallas típicas de los materiales ocasionados por tensiones, fuerzas y momentos excedidos en la línea de tubería y/o en los equipos que hacen parte de ella.

El análisis de flexibilidad estático realizado por el método de elementos finitos a la línea de vapor del ingenio Risaralda está enfocado en estudiar esfuerzos, fuerzas y momentos internos en la tubería metálica, verificando que estas variables están dentro de los rangos admisibles que rigen los códigos y normas internacionales, garantizando óptimas condiciones de funcionamiento y asegurando una mayor vida útil de la tubería, accesorios y equipos que hacen parte de esta línea.

El manejo de vapores vivos a elevadas temperaturas, al igual que condensados, retornos y vapores auxiliares, requieren un exhaustivo análisis de flexibilidad previo a la elaboración de planos definitivos de construcción, para calcular y diseñar la suportación, la geometría definitiva y la instalación de elementos flexibles si las condiciones lo permiten.

Los resultados que se obtenga en este análisis, debes ser presentados al Ingenio, para que a la vez obtengan la aprobación de los fabricantes de las turbinas (SHIN NIPPON MACHINERY CO. LTD), para poder garantizar que los equipos funciones en óptimas condiciones al ser sometidos a las condiciones de operación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Solucionar problemas causados por dilatación térmica a una línea de vapor del Ingenio Risaralda.

2.2. Objetivos específicos

- Generar un análisis de flexibilidad a la línea de vapor mediante el software CAESAR II Pipe Stress Analysis.
- Determinar tensiones internas excedidas en la tubería, que no estén admitidas dentro del código ASME B 31.1. (Power Piping).
- Analizar fuerzas, desplazamientos, deflexiones y momentos excedidos en la tubería y en las boquillas de entrada y salida de los equipos presentes en el sistema.
- Exponer mediante un informe la solución óptima de la línea de tubería de vapor del Ingenio Risaralda.

3. MARCO TEÓRICO.

El análisis de flexibilidad estático en tuberías considera factores de operación como la presión y temperatura, tiene por objetivo cuantificar los esfuerzos causados por la dilatación térmica y el propio peso de la tubería.

Los estudios de análisis de flexibilidad calculan con exactitud la tensión interna de la tubería, las fuerzas y momentos que genera el sistema hacia la estructura que soporta la tubería y los equipos.

Las tensiones internas de la tubería son comparadas contra los esfuerzos máximos admisibles del material del tubo. Las fuerzas y los momentos generados por el sistema y que son transmitidos a los equipos y estructura soportante, son comparados contra los valores de la norma que rigen los equipos y lo permitido por las estructuras.

Al garantizar las óptimas condiciones de funcionamiento, se está asegurando también la conservación de los elementos físicos de la empresa, se logra salvaguardar la integridad de las personas que en ella laboran y se aporta en la preservación del medio ambiente.

Programas como el ALGOR PIPEPAK, CAESAR II Y TRIFLEX, son utilizados para análisis de flexibilidad de tuberías; estos softwares están basados en la norma ASME B31.1, para tuberías de potencia, ASME B31.3 para tuberías de proceso, ASME B31.4 para sistemas de transporte de hidrocarburos y ASME B31.8 para sistemas de transporte y distribución de gas. Para el análisis de flexibilidad se usan también normas como EJMA (Expansion Joint Manufacturers Association), NEMA (National Electrical Manufacturers Association), API (American Petroleum Institute), MSS (Manufacturers Standardization Society), FSA (Fluid Sealing Association).

Los conceptos que se deber tener claros para realizar un análisis de flexibilidad son:

TEMPERATURA

Se entiende como temperatura la medida del estado de un cuerpo en relación al calor o el frío, generalmente se expresa en °C o °F según la norma aplicada, norma Americana o norma Europea, esta tiene alta incidencia e influencia en la elasticidad, plasticidad y comportamiento de los materiales.

PRESIÓN

Es la razón de una fuerza normal ejercida sobre un punto y la superficie sobre la que se aplica. En el sistema Americano se expresa en (kg/cm^2) y en el sistema Europeo se expresa en **psi pounds-force per square inch** (lb/in^2) y se relaciona con la resistencia de los materiales.

FUERZA

Es una magnitud que expresa la cantidad con que un cuerpo es solicitado en una dirección y un sentido. En tubería se trata, generalmente, con valores muy elevados, por ello deberá prestarse especial atención a los puntos en que se aplican estas fuerzas.

FATIGA

Es la razón proporcional entre una fuerza y su superficie de aplicación. Se debe tener en cuenta este concepto en los análisis de flexibilidad, La fatiga de material consiste en el desgaste y posterior ruptura de un objeto construido por el ser humano. La fatiga de material, tiene que ver más que nada, con objetos, los cuales, soportan carga. Y se refiere, a todos los objetos construidos por el hombre, diseñados para soportar peso. La fatiga de los materiales se da cuando se ejercen fuerzas repetidas aplicadas sobre el material creando pequeñas grietas que pueden llegar a producir una ruptura del material. . Es un fenómeno muy importante, ya que es la primera causa de rotura de los materiales metálicos (aproximadamente el 90%).

MODULO DE ELASTICIDAD (ley de hooke)

Es la razón de una fatiga a la correspondiente deformación unitaria. Siempre que no sobrepase el límite de elasticidad encontraremos que esta razón es constante y característica para cada material. En el sistema internacional se expresa en kg/mm^2 , en la figura 5 se observa un ensayo de tracción realizado a una probeta de hierro, en el que se aprecia la gráfica esfuerzo-alargamiento con las zonas muy bien definidas. La parte lineal corresponde a la zona elástica.

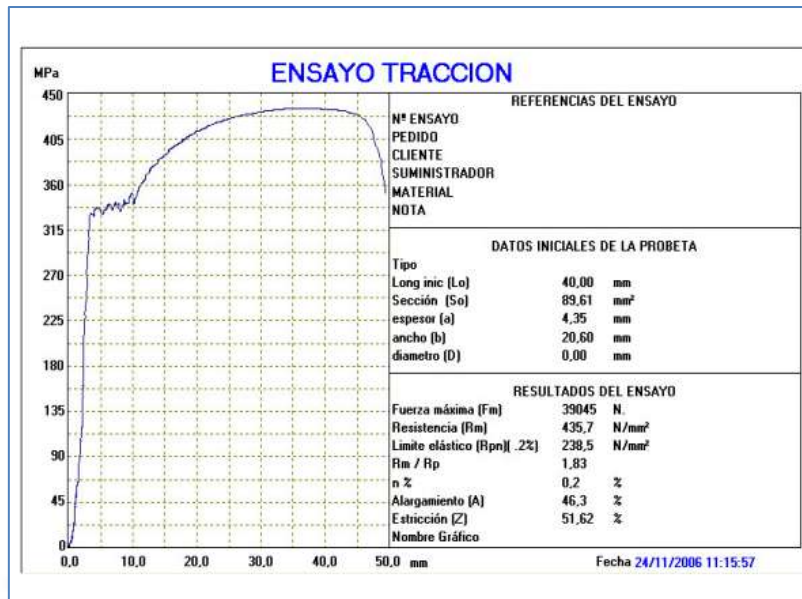


Fig.9 Ensayo de tracción a probeta de hierro.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

FLEXIBILIDAD

Se define como la capacidad que tiene un material o estructura para deformarse y volver a su posición inicial un número de ciclos elevado sin ver prácticamente alterada su estructura ni sus propiedades.

DILATACIÓN

Se define como la variación de dimensiones que experimenta un cuerpo cuando se modifica la temperatura a que se encuentra expuesto.

Este fenómeno es apreciable en todos los estados de la materia, se produce a nivel molecular y básicamente consiste en que las órbitas de los elementos constitutivos de los átomos aumentan o disminuyen según se incremente o disminuya la temperatura a que están expuestos.

Las fuerzas generadas son enormes y frecuentemente superan el límite elástico de los materiales que las padecen.

Normalmente su magnitud se expresa en mm/m y °C aunque para mayor comodidad existen tablas referidas a escalas de temperatura, donde se expresan directamente en mm/m obteniéndolas de una tabla.

Debe observarse que aunque se hable en general de dilatación, para los casos de temperaturas inferiores a 0°C se trata de lo contrario, esto es retracción o disminución de longitud, en el caso (tuberías) o volumen, en vez de incremento de ésta.

En tubería la dilatación tiene una dirección y un sentido, debido a que la variación de longitud se manifiesta sobre el extremo libre o más elástico de la conducción. Por otra parte el crecimiento radial o en diámetro de la tubería, es inapreciable ya que las fuerzas necesarias para deformarlo en ese sentido

tienen que ser inmensamente superiores a las precisas para provocar su alargamiento.

En la figura.6 se aprecia la influencia de la dilatación sobre una barra de longitud constante en frío y sometida en todos los casos a idéntica temperatura según sea o no fijada por sus extremos. Como la dilatación es una magnitud vectorial, tiene un origen y una dirección, por lo tanto, se puede calcular su valor.

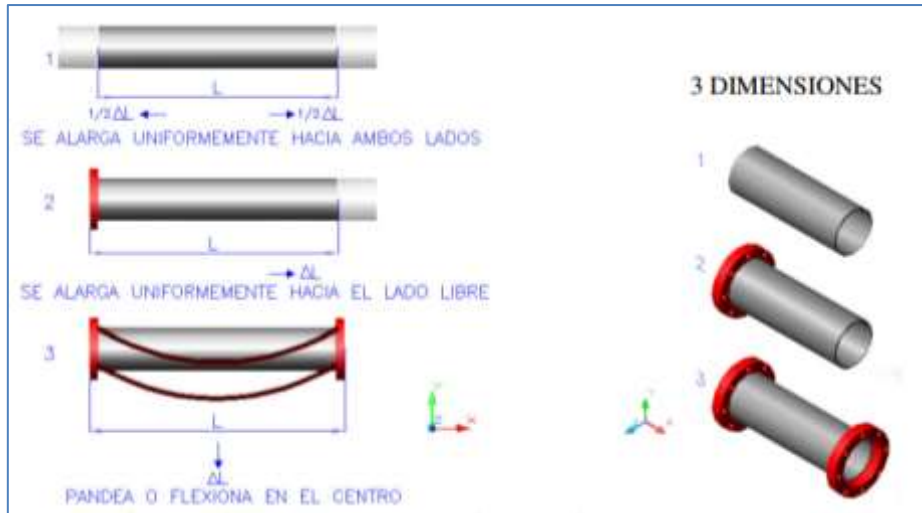


Fig.10 Influencia de la dilatación sobre una barra de longitud constante.
Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

Como se aprecia en el tercer caso de la figura 6, fijación por ambos extremos, la dilatación provoca un excesivo pandeo del tubo. En cualquier circunstancia, esta sería la disposición más desfavorable, puesto que provoca una considerable tensión sobre el material, lo cual se traduce en una destrucción prematura, por fatiga, de la conducción en el supuesto de que no haya averiado antes algún equipo de importancia presente en la línea.

La existencia de dilatación incontrolada se aprecia tanto por sus destructivos efectos en caliente, como en las tensiones residuales que deja en frío; notables cuando al intentar desmontar un equipo se produce una brusca desalineación de este con respecto de la tubería a que se encontraba unido, dicho que otra forma, el desmontaje resulta mucho más difícil debido al agarrotamiento que producen las tensiones en los elementos.

El orden de las cargas que se generan en una tubería, sujeta como el tercer caso anterior, y sometida a una temperatura T, se ve en el siguiente ejemplo:

Tubo DIN 2448 DN 200

Sección interna: $S=4\ 211,74\ \text{mm}^2$

Material: Acero carbono < 3% Cr

T: 200 °C

$$\Delta/L = \alpha \cdot T = 2,16 \text{ mm/m}$$

$$L = 10\,000 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{ROT}} = 42 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{E}} = 24,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ADM}} = 10,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$E = 19\,390 \text{ kg/mm}^2$$

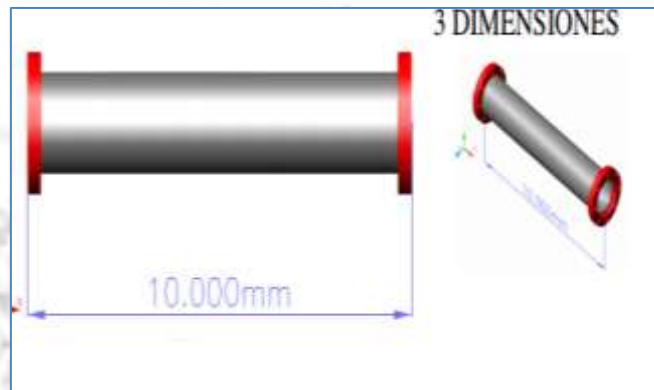


Fig.11 Tubo a/carbono DIN 2448 D.N 200
Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

Conocido el valor de la dilatación térmica unitaria a la temperatura de trabajo, podemos saber la dilatación que sufrirá la tubería:

$$\Delta = 2,16 \text{ mm/m} \cdot 10 \text{ m} = 21,6 \text{ mm}$$

Para esta dilatación tenemos que la tensión a la que está sometida la tubería es:

$$\sigma = \frac{\Delta}{L} = 19\,390 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{21,6 \text{ mm}}{10\,000 \text{ mm}} = 41,88 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

El valor de la tensión está muy próximo al valor de la tensión de rotura σ_{ROT} .

La fuerza asociada a esta tensión se calcula:

$$F = \sigma \cdot S = 41,88 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \cdot 4211,74 \text{ mm}^2 = 176\,387,6 \text{ kg} = 176,38 \text{ Ton.}$$

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Las tuberías y accesorios, como elementos conductores de fluidos de gran responsabilidad, han sido normalizados con objeto de garantizar unos valores exactos de resistencia así como de garantizar su conexión sin tener que reinventarlos cada día en cada proyecto.

Básicamente esta normalización se recoge en las normas DIN de general aplicación en Europa continental y ASME ANSI más aplicada en los Estados Unidos y su área de influencia.

No es necesario extenderse en este capítulo por existir más que abundante información al respecto por parte de los fabricantes y proveedores sobre los estándares disponibles.

Sólo decir que existen tuberías de muchos materiales, pero aquí nos referiremos principalmente a las metálicas soldadas y sin soldadura, las primeras soldadas longitudinales, recomendables sólo para servicios sin temperatura y las soldadas helicoidales que pueden constituir, estudiando bien el caso una alternativa válida para elevada temperatura siempre y cuando no las sometamos a mucha tensión, si lo hiciéramos sobre las soldadas longitudinales probablemente se abrirían en canal.

Las tuberías sin soldadura en cambio se utilizarán preferentemente y siempre que los servicios sean estratégicos o requieran mayor seguridad.

Mención aparte merecen las tuberías termoplásticas (PVC, polietileno, polipropileno, fibras de vidrio etc.) de las cuales deberemos saber que:

- a) Tienen unos coeficientes de dilatación muy elevados.
- b) No resisten grandes esfuerzos.

Así que poner etiqueta de “delicado” y tratar con esmero. En este caso para la soportación, conexión y guía, recomendamos seguir las instrucciones del fabricante que suele ofrecer una amplia gama de accesorios específicos.

Dentro de las tuberías diferenciaremos a los conductos como un grupo aparte.

Entenderemos por conductos todas aquellas conducciones que escapan a la normalización de tuberías, que en general son redondas. Los conductos, por el contrario, suelen ser de diversas secciones (cuadrada, rectangular u otras) y en general de diámetros o secciones muy grandes. También es cierto que preferentemente están destinados a servicios de baja presión a excepción hecha de las aplicaciones hidráulicas en las que aunque se trata de auténticas tuberías, suele hablarse de conductos, que conducen elevadas presiones. Los conductos sí se reinventan para cada proyecto, ya que sus dimensiones vienen determinadas por los caudales a trasladar.

Atención, las tuberías dan mucho juego, admiten tensiones elevadas, figuras de dilatación o auto compensadas y resultan bastante elásticas, sobre todo en diámetros inferiores a 300 mm.

En cambio los conductos no admiten bromas, sus paredes suelen ser muy delgadas respecto al diámetro o sección, y se arrugan y desgarran con facilidad. Igual que sucede en el diseño de aparatos a presión, es frecuente que el espesor mínimo que sería necesario deba aumentarse por criterios de simple y pura resistencia estructural.

En general, en conductos se deben aplicar soluciones para dilatación lineal (compensadores axiales), no intentar figuras auto compensadas.



Figura.12 Juntas de expansión metálicas flexibles

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/flexilatina/6713888303/in/set-72157628909851995/>

DISEÑO DE UNA LINEA

Para comenzar necesitamos saber de donde partimos y hacia donde vamos.

Todas las tuberías o conductos tiene un origen y un destino que viene determinado por las necesidades, criterios y limitaciones del proyecto.

La línea de tubería será representada en forma de planta y alzado como mínimo y preferiblemente en isométrica, siempre acotada y a ser posible a escala o con al menos una aproximación visual a la realidad.

Imprescindiblemente reflejará con fidelidad el recorrido del tubo o conducto y se indicará sobre ella el servicio y diámetro del mismo. En una tabla aparte se indicarán siempre en correspondencia a cada servicio y diámetro, las condiciones de diseño así como el material de la tubería en cuestión, y otros datos de interés.

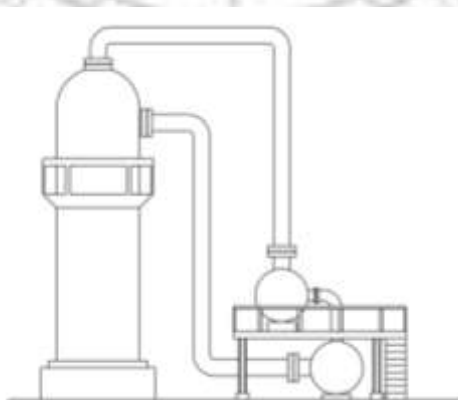


Fig.13 Línea de tubería.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

SOPORTACION

ELEMENTOS DE CALCULO

PESO

Será el primer elemento a tomar en cuenta.

Las tuberías y conductos determinan el camino a través del cual serán vehiculados fluidos, generalmente energéticos, bien sean líquidos: agua fría, caliente, sobrecalentada, aceite térmico, combustibles o de proceso, o bien gaseosos: aire caliente, gases de combustión, exhaustación, vapor saturado, recalentado, vivo o cualesquiera otros.

Sea cual sea el fluido transportado, la tubería o conducto debe seguir un trazado determinado que condicionará su peso final y que debe ser suficientemente soportado desde el origen (generalmente una derivación o generador de energía) hasta el punto donde ésta es consumida.

Este cálculo que llamaremos estático debe considerar; como cualquier otro diseño; la condición más desfavorable posible, es decir: El peso de la tubería llena de fluido (como mínimo el de prueba si su densidad es mayor que el transportado), incluyendo todos los accesorios (bridas, válvulas etc) y por supuesto el peso del aislamiento además de otras cualesquiera.

SOPORTACION

En este momento del estudio se conoce el peso de la conducción del fluido, de forma que el siguiente paso es calcular instalar los soportes que permita poner el proyecto.

La situación adecuada de los soportes junto con la determinación de los puntos fijos y la dilatación existente permitirá conducir a esta con seguridad hacia los puntos donde puede ser neutralizada.

Como el peso y evidentemente en función del mismo la estructura de los soportes depende en gran medida de la posible agrupación de tuberías de diferentes servicios que recorren el mismo camino y de los accesorios en línea, a veces de notable masa, no se entrara demasiado en el tema.

Soportes típicos:

PATÍN SENCILLO

Recomendable para diámetros de tuberías desde ½" hasta 4". Está diseñado para permitir el movimiento horizontal de la tubería.



Fig.14 Patín sencillo

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

PATÍN CON APOYO REDONDO

Recomendable para diámetros de tuberías desde ½" hasta 4". Está diseñado para permitir el movimiento horizontal de la tubería. Variante del patín sencillo.

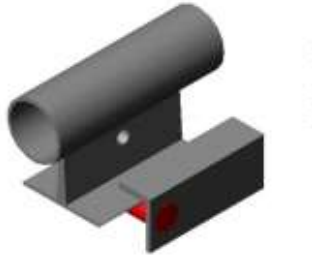


Fig.15 Patín con apoyo redondo.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

PATÍN CON CUÑA

Recomendable para diámetros de tuberías desde ½" hasta 4". Está diseñado para permitir el movimiento horizontal de la tubería. Variante del patín sencillo.

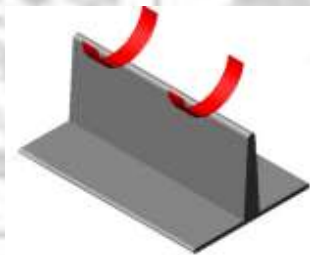


Fig.16 Patín con cuña.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

PEDESTAL DESLIZANTE

Recomendable para diámetros de tuberías desde 1" hasta 12". Está diseñado para permitir el movimiento horizontal de la tubería.



Fig.17 Pedestal deslizante.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

BANDA DE APOYO CON TOPES

Recomendable para diámetros de tuberías desde ½" hasta 30". Está diseñado como apoyo para soportes deslizantes.

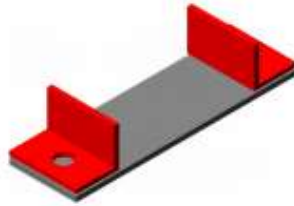


Fig.18 Banda de apoyo con topes.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

VOLADIZO.

Consta de dos perfiles UPN enfrentados. Se utiliza para soportar altas cargas en tuberías pegadas a la pared. Se sujeta al hormigón mediante pernos de anclaje, cuyo tamaño ha de corresponder consecuentemente con la carga a soportar y el peso del propio voladizo.



Fig.19 Voladizo.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

SOPORTE DE PARED

Recomendable para diámetros de tuberías desde 3" hasta 12". Está diseñado para soportar tuberías horizontales pegadas a la pared. El soporte irá cogido con tornillos a estructuras metálicas o bien con pernos de anclaje en caso de anclarlo a hormigón.



Fig.20 Soporte de pared.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

ABARCON REDONDO

Recomendable para diámetros de tuberías desde ½” hasta 3”. Está diseñado para el soportado, anclaje o guía de tuberías.



Fig.21 Abarcón redondo.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

MÉNSULA

Está diseñada para soportar cargas medias. Se atornilla a la pared mediante una placa de asiento cuya misión es distribuir la carga proporcionalmente, aunque también puede ser soldada a un estructura metálica. Al efectuar el soportado mediante varilla tiene la ventaja de proporcionar una regulación horizontal de la tubería a lo largo del voladizo.

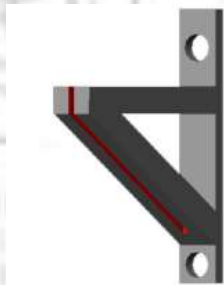


Fig.22 Ménsula.

Fuente: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

4. METODOLOGÍA.

RECOPIACIÓN DE MATERIAL TEORÍCO Y TÉCNICO.

La metodología para el desarrollo del análisis de flexibilidad en la línea de tubería de vapor del ingenio Risaralda comienza en su fase documental, en la cual se definirán las especificaciones del proyecto que dependen de los factores ya mencionados en el planteamiento del problema, luego se hará la recopilación del material investigativo necesario para la ejecución del proyecto: tesis, libros,

revistas, normas técnicas aplicadas y catálogos comerciales que serán necesarios en la posible selección de accesorios flexibles que ayuden a la disminución a valores admisibles de las variables presentes afectadas por los problemas causados por la dilatación térmica en el proyecto.

REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE LA LÍNEA DE TUBERÍA.

La metodología para el desarrollo del análisis de flexibilidad en la línea de tubería de vapor del ingenio Risaralda comienza con una revisión minuciosa de toda la información suministrada, en esta se debe observar: dimensiones de la tubería, equipos y tipos de equipos presentes en la línea de tubería, datos operacionales (presión, temperatura, fluido), tipo de soportes estructurales. Si toda esta información es suministrada podemos continuar con el paso siguiente, de lo contrario se hace necesario solicitar esta información para el correcto desarrollo del análisis.

ELABORAR PLANO DE LA LÍNEA DE VAPOR.

Teniendo en cuenta toda la información recopilada de la línea de tubería se debe generar un plano dimensional claro y conciso donde se muestre todas las dimensiones presentes en la tubería, ubicación y tipos de equipos, soportes, accesorios, valores operacionales y demás factores que sean necesarios para tener la información completa y dar inicio al análisis del proyecto.

INGRESAR DATOS AL PROGRAMA CAESAR II

En esta etapa del cronograma se debe ingresar todos los datos presentes del plano elaborado al software CAESAR II Pipe Stress Analysis para su futuro análisis mediante el método de elementos finitos, en esta etapa el programa evidencia todas las variables excedidas por causa de la dilatación térmica en la línea de tubería de vapor.

SOLUCIONAR LAS VARIABLES EXCEDIDAS EN LA LINEA DE TUBERÍA.

Luego de haber ingresado todos los datos al programa, este los analiza y muestra gráfica y analíticamente todas las variables que están excedidas por causa de la dilatación térmica, en esta época del proyecto es donde se empieza a resolver todas las variables no admitidas por las normas técnicas, es aquí donde los ingenieros mecánicos deben hacer uso de los accesorios flexibles (soportes, juntas de expansión metálicas, loops, mangueras metálicas flexibles, etc.) disponibles en el mercado que permitan hacer la línea más flexible garantizando valores de las variables admitidas por los códigos internacionales.

GENERAR INFORME ESCRITO DEL ESTUDIO

Luego de solucionar las variables excedidas se genera un informe escrito detallado donde se evidencie todos los cambios realizados para flexibilizar la línea de tubería, en este documento se muestra los datos numéricos encontrados después de solucionar los problemas causados por la dilatación térmica.

ELABORAR EL DOCUMENTO DEL PROYECTO DE GRADO

En esta fase se realiza el documento de proyecto de grado para optar a título de ingeniero mecánico, se genera un documento escrito que contenga toda la información necesaria para soportar el análisis de flexibilidad desarrollado a la línea de vapor.

5.CRONOGRAMA.

| ACTIVIDAD | TIEMPO DE DURACION DEL PROYECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MESES | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 | | | |
| | SEMANAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Recopilación de material teórico y técnico | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisión de información de la línea de tubería y datos operacionales. | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaboración de plano de la línea de vapor. | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ingresar datos al programa CAESAR II | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Solucionar las variables excedidas en la línea de tubería. | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Generar un informe escrito del estudio | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| Elaborar el documento de proyecto de grado. | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |

Tabla.1 Cronograma de actividades

6. FUENTES DE FINANCIACIÓN.

| PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO | | | | | |
|---|--|------------------|----------|----------------|---------------------|
| Generales | Detalle | Unidad de medida | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
| Fotocopia de documentos | Fase de documentación inicial | Unidad | 2000 | \$ 50 | \$ 100.000 |
| Impresión de documentos | Fase de documentación durante el desarrollo del proyecto | Unidad | 300 | \$ 100 | \$ 30.000 |
| Impresión de planos | Durante el desarrollo del proyecto | Unidad | 5 | \$ 40.000 | \$ 200.000 |
| Transporte | Movilización a diferentes sitios de la ciudad. | Unidad | 30 | \$ 1.700 | \$ 51.000 |
| Uso de computador con programa CAESAR II licenciado | Alquiler de software CAESAR II para realizar el análisis de flexibilidad | Hora | 50 | \$ 30.000 | \$ 1.500.000 |
| Capacitaciones | Uso avanzado de software CAESAR II | Hora | 4 | \$ 50.000 | \$ 200.000 |
| Otros | Gastos imprevistos durante el desarrollo del proyecto | Unidad | 1 | \$ 100.000 | \$ 100.000 |
| TOTAL PRESUPUESTADO | | | | | \$ 2.181.000 |

Tabla.2 Presupuesto general de actividades.

7. BIBLIOGRAFÍA

ASME B31.1.Tubería de vapor y sistemas de potencia. 2007. Estados Unidos

ASME B31.3. Tubería de procesos.2010.Estados Unidos.

Disponible en internet: <http://www.flexilatina.com/analisis-flexibilidad.html>

Disponible en internet: <http://www.atpimsa.com/flexibilidad-tuberias.htm>

Disponible en internet: http://www.coraci.es/pdf/apuntes_flexibilidad_coraci.pdf

Disponible en internet: http://www.coraci.es/pdf/Apuntes%20flexibilidad%20en%20versi_n%20reducida%20Rev.01.pdf

Disponible en internet: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/410>

2

Disponible en internet: <http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12051/PF>

CESTEBAN%20MELCHOR%20GOMEZ%20GORDO Analisis%20de%20flexibilidad%20en%20sistemas%20de%20tuberias.pdf?sequence=1

Disponible en internet: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789>

/4102/1 /ANALISISFLEXIBIL.pdf

EJMA 9Ed. "Standards of the Expansion Joints Manufacturers Association". 2009

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN.

Documentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.

NTC 1481-ISO 9001. Bogotá D.C

Kannappan, S. "Introduction to Pipe Stress Analysis". ABI Enterprises, Inc, 2008.

NEMA SM-23. "Steam Turbines for Mechanical Drive Service". 2002

