

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LOS CABEZALES DE
VAPOR DE LA UNIDAD DESTILADORA ATMOSFÉRICA DA-3 DE LA
REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

Realizado Por:

Br. Yenzon Rafael Rengel Rengel

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente
como Requisito Parcial para Optar al Título de
INGENIERO MECÁNICO**

Barcelona, Marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LOS CABEZALES DE
VAPOR DE LA UNIDAD DESTILADORA ATMOSFÉRICA DA-3 DE LA
REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**
ASESORES

Prof. Carlos Gomes
Asesor Académico

Ing. Reinaldo Vegas
Asesor Industrial

Barcelona, Marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LOS CABEZALES DE
VAPOR DE LA UNIDAD DESTILADORA ATMOSFÉRICA DA-3 DE LA
REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

JURADO

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Aprobado

Prof. Carlos Gomes M.Sc., Ph.D.
Asesor Académico

Prof. Carmen García M.Sc.
(Jurado Principal)

Prof. Antonio Franco
(Jurado Principal)

Barcelona, Marzo de 2009

RESOLUCIÓN






ARTÍCULO 44

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:









“Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario”

DEDICATORIAS

Este grado es uno de los logros más importante que obtenido hasta los momentos, y está dedicado a estas personas que con su apoyo permitieron de alguna u otra manera el logro de esta meta:

-  Al personaje que todos debemos lo que somos y logramos, esa figura tan importante, que siempre está con nosotros en todos los momentos, Dios.
-  A mi abuela-madre, consejera y amiga, Doris Rengel que siempre tus sabios consejos sean inspiración a mis hermanos y primos.
-  A la mujer más importante de mi vida que con todo su esfuerzo me apoyó hasta lo último para el logro de mis metas. Aquella persona que me dio el ser, y que día a día con todo su amor me formó como persona de bien. Lo que soy hoy es tuyo, y esta dedicado especialmente a ti mí querida y adorada madre Norma Rengel eres mi mundo gracias por tu apoyo incondicional pues este trabajo es más tuyo que mío.
-  A mi esposa Nadia pues eres la motivación e inspiración para finalizar y lograr esta meta, con tu amor llenas todo mi ser, te quiero mucho.
-  A mis hermanos y sobrinos para que tomen esto como un ejemplo y sigan estudiando hasta alcanzar sus sueños.

AGRADECIMIENTOS

-  A mi Dios todopoderoso y eterno, mi agradecimiento por concederme toda su protección, sabiduría, paciencia y fortaleza necesaria para vencer todos los obstáculos y poder alcanzar esta meta muy importante en mi vida.
-  A mi madre por darme toda esa tan digna crianza, educación y amistad que solo ella supo y estoy segura seguirá dándome.
-  A mis hermanos Emma y Enmanuel que este logro sea motivo de inspiración para que cumplan todos sus sueños.
-  A mi esposa Nadia por su incondicional apoyo y amor fuente de inspiración para seguir adelante.
-  A toda mi familia que en todo momento me brindaron la ayuda que estuvo a su alcance, especialmente a tía Mercedes y Josefina Rengel.
-  Al profesor Carlos Gomes por su atención, respaldo y valiosa colaboración en el desarrollo de este proyecto.
-  A mis panas, amigos, compadres, hermanos: Lexis Caraballo, Fucho, kelvin, José carvajal, los margariteños, Jhoilan, Gabriela Mejias, Milvia, leonardo Gudiño, Reinaldo Salazar, Leonel, Gregory, Yordy González, Pedro Anato y todos los demás con los que compartí estudios.
-  A la sección de ingeniería de instalaciones en PDVSA, por aportar toda la información necesaria para la realización de este trabajo de investigación

RESUMEN

En este trabajo se realizó el análisis estático de flexibilidad del sistema de tuberías que conforman los cabezales de vapor de 180 lbs y 20 lbs de la unidad de destilación atmosférica tres (DA-3) de la Refinería Puerto la cruz. Se analizaron los esfuerzos en el sistema producidos por prueba hidrostática, cargas sostenidas y expansiones térmicas. Se encontró que el sistema de tuberías del cabezal de 20 lbs se encuentra dentro de los límites permisibles de esfuerzos. Se determino que el cabezal de 180 lbs presenta esfuerzos por encima de los permisibles, por lo que se plantearon modificaciones al sistema. Las modificaciones consistieron de la reubicación de soportes y el uso de lazos de expansión tridimensionales. A las propuestas se le realizó un análisis estático de flexibilidad y se determinó que permiten reducir los esfuerzos encontrados en el sistema a los valores permisibles por la norma.

INDICE GENERAL

| | |
|---|------------------|
| <i>RESOLUCIÓN</i> | <i>iv</i> |
| <i>DEDICATORIAS</i> | <i>v</i> |
| <i>AGRADECIMIENTOS</i> | <i>vi</i> |
| <i>RESUMEN</i> | <i>vii</i> |
| <i>INDICE GENERAL</i> | <i>viii</i> |
| <i>INDICE DE TABLAS</i> | <i>xii</i> |
| <i>INDICE DE FIGURAS</i> | <i>xiv</i> |
| <i>CAPÍTULO I</i> | <i>13</i> |
| <i>EL PROBLEMA</i> | <i>13</i> |
| 1.1. Reseña histórica | 14 |
| 1.1.2 Descripción general de la empresa | 15 |
| 1.1.3 Ubicación de la refinería puerto la cruz | 17 |
| 1.1.4 Estructura organizativa de la refinería puerto la cruz..... | 18 |
| 1.1.5. Visión: | 19 |
| 1.1.6 Misión: | 19 |
| 1.1.7 Valores: | 20 |
| 1.1.8 Objetivos corporativos de la empresa: | 20 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 21 |
| 1.3 Objetivos | 22 |
| 1.3.1 Objetivo General | 22 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 22 |
| <i>CAPITULO II</i> | <i>24</i> |
| <i>MARCO TEÓRICO</i> | <i>24</i> |
| 2.1 Antecedentes | 24 |
| 2.2 Fundamentos teóricos | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 Unidad de destilación atmosférica DA-3 | 25 |
| 2.4. Análisis de esfuerzos en tuberías | 26 |
| 2.5 Tipos de esfuerzos en tuberías. | 27 |
| 2.5.1 Esfuerzos longitudinales..... | 28 |
| 2.5.1.1 Por Carga Axial | 28 |
| 2.5.1.2 Por Presión interna | 29 |
| 2.5.2. Esfuerzo Circunferencial..... | 33 |
| 2.6. Teorías de falla. | 34 |
| 2.6.1. Teoría de von misses. | 34 |
| 2.6.2. Teoría de tresca. | 34 |
| 2.6.3 Teoría de rankine..... | 35 |
| 2.7 Bases para el cumplimiento de los códigos. | 35 |
| 2.7.1. Características de las cargas primarias:..... | 36 |
| 2.7.2. Características de las cargas secundarias: | 36 |
| 2.8. Criterios de diseño para distintos tipos de carga:..... | 37 |
| 2.8.1. Cargas primarias:..... | 37 |
| 2.8.2. Cargas secundarias: | 37 |
| 2.8.3. Junta de expansión. | 38 |
| 2.9 Soportes para tuberías | 39 |
| 2.9.1 Localización inicial de soportes..... | 40 |
| 2.9.2 Distancia entre soportes..... | 41 |
| 2.9.3 Materiales, diseño e instalación..... | 42 |
| 2.10 Criterios prácticos para diseño de flexibilidad. | 42 |
| 2.11 Al hacer un arreglo flexible de tubería se debe considerar: | 43 |
| 2.12 Análisis de flexibilidad por computadora..... | 44 |
| <i>CAPITULO III</i>..... | 45 |
| <i>DESARROLLO DEL PROYECTO</i> | 45 |
| 3.1 Tipo de investigación | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA | 46 |
| 3.2.1 Población: | 46 |
| 3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS..... | 46 |
| 3.4 EQUIPOS, MATERIALES, SUSTANCIAS Y HERRAMIENTAS | 35 |
| 3.4.2 Equipos de seguridad personal..... | 35 |
| 3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO..... | 36 |
| 3.5.1 INICIO..... | 37 |
| 3.5.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN..... | 38 |
| 3.5.3 ELABORACIÓN DE PLANOS ISOMÉTRICOS..... | 38 |
| 3.5.4 VERIFICACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO..... | 38 |
| 3.5.5 GENERACION DE LOS MODELOS EN EL CAESAR II V4.5..... | 39 |
| 3.5.5.1 ESPECIFICACIONES INTRODUCIDAS AL PROGRAMA..... | 39 |
| 3.5.5.2. DISTRIBUCIÓN NODAL..... | 41 |
| 3.5.5.3. SOPORTES, ANCLAJES Y RESTRICCIONES DE LA TUBERÍA..... | 43 |
| 3.5.6 EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS..... | 43 |
| 3.5.7 PRESENTACIÓN DE CAMBIOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA FLEXIBILIDAD. | 44 |
| 3.5.8 APLICACIÓN DE EVALUACIÓN A LOS CAMBIOS PROPUESTOS | 44 |
| 3.6 Especificaciones..... | 44 |
| 3.6.1 Especificaciones de los Cabezales..... | 44 |
| 3.6.2. ESPECIFICACIONES DE LAS TURBINAS. | 45 |
| 3.6.3 Ubicación de algunas fallas en los cabezales | 45 |
| <i>CAPITULO IV</i> | 58 |
| <i>RESULTADOS Y ANÁLISIS</i> | 58 |
| 4. 1 Diagnóstico del Sistema..... | 58 |
| 4.2. Evaluación de Esfuerzos en el Cabezal de 20 Lbs..... | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1. ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA | 59 |
| 4.2.2. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS | 60 |
| 4.2.3. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS | 61 |
| 4.3. EVALUACIÓN DE ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS..... | 63 |
| 4.3.1. ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA | 63 |
| 4.3.2. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS | 64 |
| 4.3.3. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS | 65 |
| 4.4. Propuestas de Mejoras para el Sistema de Cabezales de Vapor. | 67 |
| 4.4.1. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA DE CABEZALES DE VAPOR MEDIANTE LA REUBICACION DE ALGUNOS SOPORTES | 68 |
| 4.4.2. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA DE CABEZALES DE VAPOR MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE LAZOS DE EXPANSION TRIDIMENSIONALES. | 72 |
| 4.5 Resumen de Resultados | 77 |
| <i>CAPITULO V</i> | 78 |
| <i>CONCLUSIONES Y reCOMENDACIONES</i> | 78 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 78 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 80 |
| BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 81 |
| BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL | 82 |
| <i>ANEXO A</i> | 83 |
| <i>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:</i> | 85 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DESTILADORAS..... | 4 |
| TABLA 2.1 TIPOS DE ESFUERZOS A LOS QUE ES SOMETIDO UNA TUBERÍA..... | 17 |
| TABLA 2.2 ESPACIAMIENTO MÁXIMO ENTRE SOPORTES (CÓDIGO ASME B31.1)..... | 30 |
| TABLA 3.1.ESPECIFICACIONES DE LOS CABEZALES DE VAPOR..... | 45 |
| TABLA 3.2 ESPECIFICACIONES DE LAS TURBINAS..... | 46 |
| TABLA 4.1 DATOS DE LOS CABEZALES..... | 47 |
| TABLA 4.2. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 20 LBS DEBIDO A PRUEBA HIDROSTÁTICA..... | 48 |
| TABLA 4.3 MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 20 LBS CUANDO SOBRE EL ACTÚAN CARGAS CONSTANTES EN EL TIEMPO..... | 49 |
| TABLA 4.4.MAYORES ESFUERZOS DEBIDO A LA DILATACIÓN TÉRMICA EN EL CABEZAL DE 20 LBS..... | 51 |
| TABLA 4.5 MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDO A PRUEBA HIDROSTÁTICA..... | 52 |
| TABLA 4.6 MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS CUANDO SOBRE EL ACTÚAN CARGAS CONSTANTES EN EL TIEMPO..... | 53 |
| TABLA 4.7. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A CARGAS DE EXPANSIONES TÉRMICAS..... | 55 |
| TABLA 4.8. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA..... | 59 |

| | |
|--|----|
| TABLA 4.9 MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS CUANDO SOBRE EL ACTÚAN CARGAS CONSTANTES EN EL TIEMPO..... | 59 |
| TABLA 4.10. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A CARGAS DE EXPANSIONES TÉRMICAS..... | 60 |
| TABLA 4.11. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA..... | 64 |
| TABLA 4.12 MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS CUANDO SOBRE EL ACTÚAN CARGAS CONSTANTES EN EL TIEMPO..... | 64 |
| TABLA 4.13. MAYORES ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A CARGAS DE EXPANSIONES TÉRMICAS..... | 65 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.1 DIETA Y PRODUCTOS DE LA REFINERÍA DE PUERTO LA CRUZ..... | 5 |
| FIGURA 1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ..... | 6 |
| FIGURA 1.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA (FUENTE PDVSA ORIENTE 2003)..... | 7 |
| FIGURA 2.1 ETAPAS DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE CRUDO DE LA PLANTA DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-3 (FUENTE: PDVSA ORIENTE 2003)..... | 15 |
| FIGURA 2.2 DIMENSIONES Y CARGAS AXIALES DE LA TUBERÍA..... | 18 |
| FIGURA 2.3. CARGAS DEBIDAS A PRESIÓN INTERNA..... | 19 |
| FIGURA 2.4. MOMENTO FLECTOR EN LA TUBERÍA..... | 21 |
| FIGURA 2.5 ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL DE LA TUBERÍA..... | 22 |
| FIGURA 3.1 PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD..... | 38 |
| FIGURA 3.2.INTERFASE DE DATOS CABEZAL DE 20 LBS..... | 41 |
| FIGURA 3.3. MODELO DEL CABEZAL DE 20 LBS..... | 42 |
| FIGURA 3.4.MODELO DEL CABEZAL DE 180 LBS..... | 42 |
| FIGURA 3.5.DISTRIBUCIÓN NODAL DEL CABEZAL DE 20 LBS..... | 43 |
| FIGURA 3.6.DISTRIBUCIÓN NODAL DEL CABEZAL DE 180 LBS..... | 43 |
| FIGURA 4.1 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL CABEZAL DE 20 LBS DE LA UNIDAD DA-3 (DETALLE DEL DISEÑO ORIGINAL) FUENTE [CAESAR].... | 48 |
| FIGURA 4.2. POSICION DE LOS NODOS MÁS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 20 LBS POR CARGAS DE SUSTENTACIÓN..... | 50 |
| FIGURA 4.3. POSICIÓN DE LOS NODOS MÁS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 20 LBS DEBIDOS A CARGAS POR DILATACIÓN TÉRMICA..... | 51 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.4. POSICIÓN DE LOS NODOS MÁS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS POR CARGAS DE PRUEBA HIDROSTÁTICA..... | 53 |
| FIGURA 4.5. POSICIÓN DE LOS NODOS MÁS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS POR CARGAS DE SUSTENTACIÓN..... | 54 |
| FIGURA 4.6. POSICIÓN DE LOS NODOS MÁS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS DEBIDOS A CARGAS EXPANSIONES TÉRMICAS..... | 56 |
| FIGURA 4.7 DETALLE DE ALGUNOS NODOS CRITICOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS..... | 58 |
| FIGURA 4.8 PROPUESTA DE MEJORA MEDIANTE LA COLOCACION DE ALGUNOS SOPORTES..... | 58 |
| FIGURA 4.9 LAZO N° 1..... | 62 |
| FIGURA 4.10 LAZO N° 2..... | 62 |
| FIGURA 4.11 LAZO N° 3..... | 62 |
| FIGURA 4.12 PROPUESTA DE MEJORAS MEDIANTE LAZOS DE EXPANSIÓN TRIDIMENSIONALES..... | 63 |

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

El diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de sistemas de tuberías, implican la comprensión de los fundamentos y consideraciones generales y específicas del sistema. En la actualidad la ingeniería se está apoyando en softwares que permiten realizar más rápido los cálculos considerando condiciones reales y alcanzando una mayor exactitud en los resultados. Sustentados con técnicas matemáticas relacionadas con los métodos numéricos, estos cálculos computacionales contribuyen a la interpretación física de diversidad de fenómenos. Simultáneamente y cumpliendo con las normas de ingeniería este tipo de softwares deben estar basados en las normas y códigos de diseño que han sido aprobados y que son el patrón a seguir a la hora de realizar un proyecto de ingeniería. De esta manera, el ingeniero cuenta con herramientas más variadas para encontrar solución a los desafíos del mundo moderno, íntimamente relacionado con la tecnología para su desarrollo y avance.

Con el avance tecnológico de los procesadores y software que facilitan la implementación de técnicas de solución que proveen a los ingenieros e investigadores el desarrollo y evaluación de sistemas complejo para garantizar la integridad estructural en los sistemas de tubería bajo diferentes condiciones de carga que se presentan en la construcción u operación normal y anormal, o bien, por el deterioro de los componentes de los sistemas, obliga a la incorporación de nuevas tecnología que se aplican en la realización de estudio de flexibilidad o análisis de esfuerzo. Uno de los paquetes computacionales de gran utilidad para el estudio de flexibilidad en tuberías y estructura es software **CAESAR II**.

En el presente trabajo se hace un análisis estático de flexibilidad del sistema de cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3 de la Refinería Puerto La Cruz utilizando la herramienta computacional **CAESAR II**.

1.1. Reseña histórica

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos. Esta corporación estatal fue creada por decreto presidencial N° 1.123 en el año 1975 por la Ley Orgánica que reserva al Estado la industria y el comercio de los hidrocarburos, para asumir las funciones de planificación, coordinación y supervisión de la industria petrolera nacional al concluir el proceso de restablecimiento de las concesiones de hidrocarburos a las compañías extranjeras que operaban en territorio venezolano. [1]

Por mandato de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la totalidad de las acciones de Petróleos de Venezuela S.A. pertenecen al Estado Venezolano, en razón de la estrategia nacional y la soberanía económica y política, ejercida por el pueblo venezolano. En ese sentido, PDVSA está subordinada al Estado Venezolano y por lo tanto actúa bajo los lineamientos trazados en los Planes de Desarrollo Nacional y de acuerdo a las políticas, directrices, planes y estrategias para el sector de los hidrocarburos, dictadas por el Ministerio de Energía y Petróleo.

Durante sus primeros años de operación, PDVSA inició sus acciones con 14 filiales. En 1977 se produjo la primera reorganización, reduciendo las filiales operativas de 14 a 7 al absorber las más grandes a las pequeñas. Más tarde ese mismo año se redujeron las filiales a cinco (5). En 1978, a cuatro (4) y en 1986, a tres (3): Lagoven, Maraven y Corpoven que absorbieron las actividades de las concesionarias que estaban en Venezuela. Dentro de esta fase, también inicia acciones en 1976, el Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (INTEVEP), destinado a efectuar los estudios e investigaciones necesarias para garantizar el alto nivel de los productos y procesos dentro de la industria petrolera. Igualmente, dos años más tarde se crea

Pequiven Petroquímica de Venezuela S.A., dirigida a organizar el negocio de la producción petroquímica.

En julio de 1997 se aprobó una nueva reestructuración que eliminó esas filiales y creó cuatro grandes empresas funcionales de negocios que integraran la corporación: PDVSA Petróleo y Gas; PDVSA Exploración y Producción; PDVSA Manufactura y Mercadeo y PDVSA Servicios, responsables de ejecutar la actividad operativa. Éstas entran en acción desde el 1° de enero de 1998.

Luego de diez años de puesta en marcha del decreto que creó a Petróleos de Venezuela, PDVSA y sus filiales logran avanzar en un proceso de consolidación en lo que respecta al manejo del negocio petrolero. Lagoven se encarga de las operaciones en el occidente y el sur del país; Corpoven despliega su área de influencia en el centro de la nación, mientras que Maraven se sitúa en la región oriental.

La principal empresa del país inicia una expansión tanto en el ámbito nacional como mundial, con la compra y participación en diversas refinerías ubicadas en Europa, Estados Unidos y el Caribe. PDVSA logra ser considerada, gracias a su calidad y responsabilidad, como una empresa confiable en el suministro de grandes volúmenes de petróleo a escala mundial, consolidándose así como una de las principales compañías petroleras a nivel mundial.

1.1.2 Descripción general de la empresa

En Refinería Puerto La Cruz, se llevan a cabo procesos de refinación de crudos para garantizar el suministro de gasolina, gas licuado de petróleo, diesel y kerosene al mercado del Oriente del país, cumpliendo además con la demanda de otras zonas y del mercado de exportación de productos tales como: residual, destilados y nafta. El objetivo principal de la refinería es realizar procesos de separación física y

transformación química que conviertan el crudo en derivados utilizables para numerosas aplicaciones. La refinería Puerto La Cruz se encuentra conformada actualmente por distintas unidades que pueden ser agrupadas en las siguientes categorías:

- Unidades de procesos: que son unidades de destilación atmosférica DA-1, DA-2, DA-3.
- Unidades de tratamiento (STG).
- Servicios industriales.
- Hidroprocesos.

El complejo de destilación atmosférica de la refinería Puerto La Cruz, está constituido por tres unidades cuyas características más importantes se citan en la tabla 1.1 que se muestra a continuación.

Tabla 1.1. Características de las unidades destiladoras [5].

| UNIDADES | Crudos | API | Capacidad de diseño, MBD(*) |
|-----------------|----------------------------|--------------|--|
| DA-1 | Livianos / Medianos | 29-30 | 74 |
| DA-2 | Pesados | 16-24 | 90 |
| DA-3 | Livianos | 36-51 | 40 |

(*) **MDB:** Miles de Barriles Diarios.

La Refinería Puerto La Cruz cuenta con una capacidad nominal para procesar 200 MBD de crudo en sus tres unidades de destilación, de los cuales 45% corresponde a crudo pesado.

La dieta de la refinería es variada, entre los principales crudos tenemos los que se muestran en la figura 1.1:

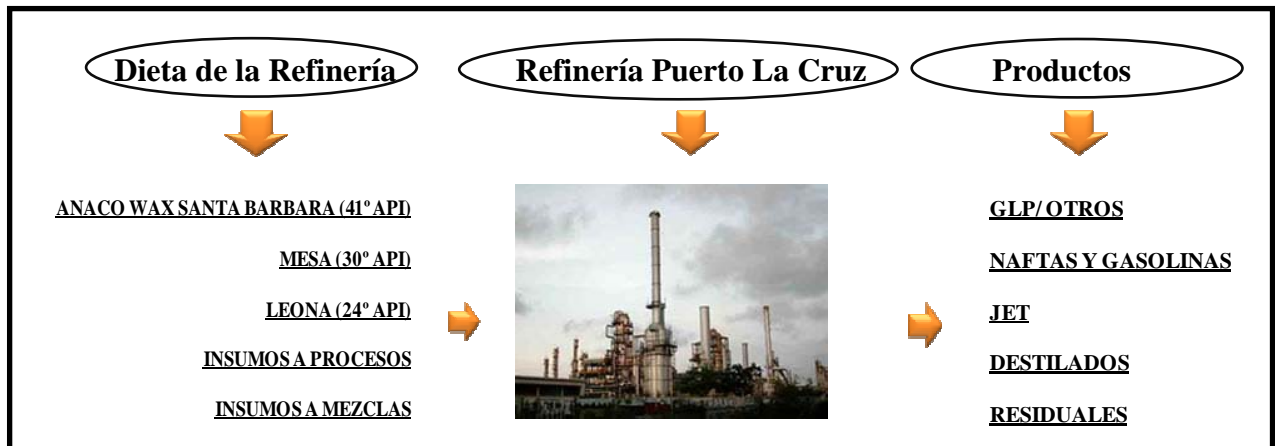


Figura 1.1 Dieta y productos de la Refinería de Puerto la Cruz

1.1.3 Ubicación de la refinería puerto la cruz

La Refinería Puerto la Cruz está ubicada en la costa nororiental del país al este de la ciudad de Puerto La Cruz en el estado Anzoátegui; tiene facilidades de acceso desde el Mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción de Oriente. La conforman las instalaciones de Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque (a 40 kms de Anaco, vecina a la población de Santa Ana, Edo Anzoátegui), la figura 1.2 muestra la ubicación geográfica de la Refinería. [5]

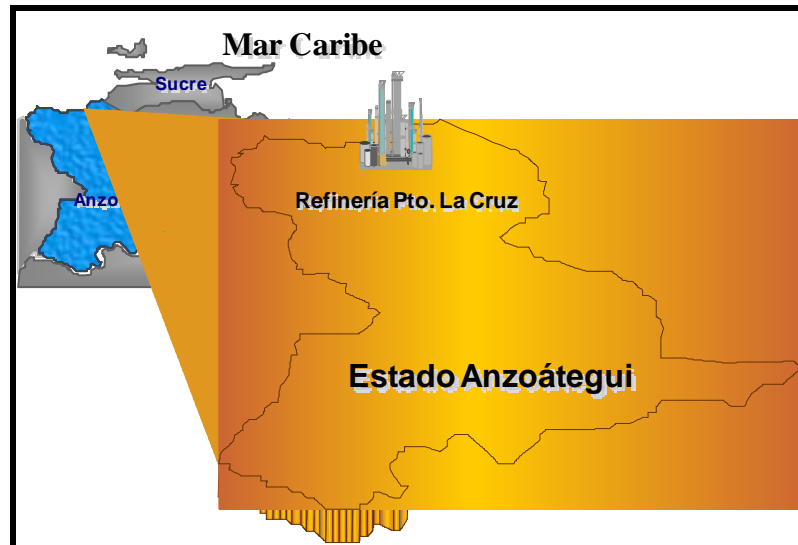
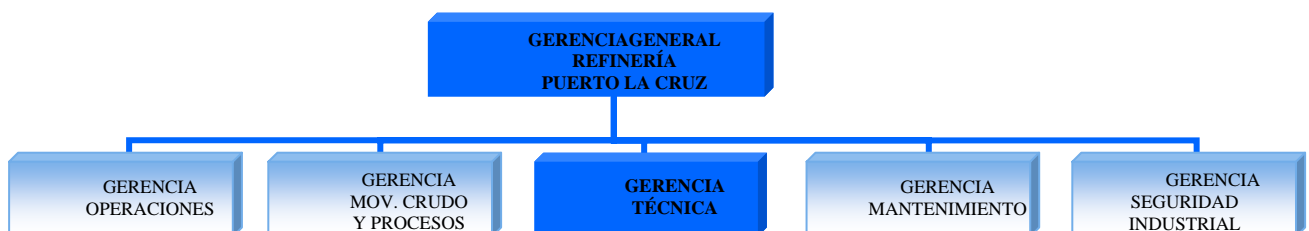


Figura 1.2 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto la Cruz.

1.1.4 Estructura organizativa de la refinería puerto la cruz

La estructura organizativa de la Refinería Puerto la Cruz está enmarcada en un plano funcional de cinco Gerencias cada una con sus diferentes superintendencias y divididas en distintas secciones que sirven un condicional apoyo a la gerencia General de esta instalación petrolera.

A continuación se muestra esquemáticamente la organización de la empresa (Ver figura 1.3) donde se pueden observar las operaciones gerenciales de la Refinería Puerto La Cruz:



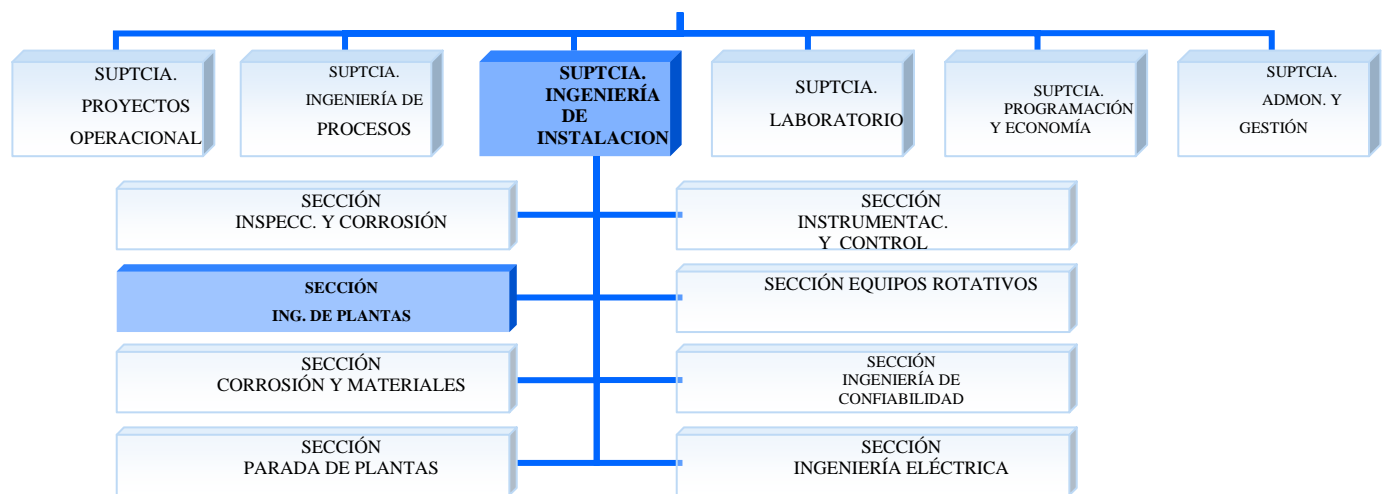


Figura 1.3 Organigrama de la empresa (Fuente PDVSA Oriente 2003)

1.1.5. Visión:

Hoy en día la visión de Petróleos de Venezuela S. A. es avanzar hacia la plena soberanía energética, impulsado además del negocio petrolero el desarrollo endógeno nacional y la incorporación y adecuación de nuevas tecnologías que permitan optimizar los procesos, en sintonía con el medio ambiente y en pro del beneficio de todos los venezolanos. [1]

1.1.6 Misión:

La misión principal de Petróleos de Venezuela S. A. es cumplir con todas las actividades propias del negocio petrolero, constituyéndose en una corporación verticalmente integrada, que abarca todos los procesos, desde la explotación hasta la comercialización de los hidrocarburos gaseosos y no gaseosos, y sus derivados.

1.1.7 Valores:

- Ética: Honestidad, Responsabilidad, Coherencia
- Justicia: Equidad, Tolerancia, Respeto
- Solidaridad: Cooperación, Compromiso social
- Calidad y competitividad
- Innovación y liderazgo.

1.1.8 Objetivos corporativos de la empresa:

En relación a los objetivos planteados de Petróleos de Venezuela S. A se visualiza que la misión y visión de la corporación están altamente vinculados, ya que todos los objetivos incluidos en el Plan Estratégicos "Plan Siembra Petrolera" están orientados hacia el cumplimiento del mismo. En este sentido es importante reconocer que la prioridad de la organización está enmarcada en seis grandes proyectos de desarrollo y consta de dos etapas: una a ejecutarse entre el período 2005-2012 y otra entre el periodo 2012 y 2030.

- Certificar las reservas petroleras venezolanas ante el mundo
- Proyecto Orinoco: comprende el eje del río Orinoco y abarca la parte del río Apure. Consiste en la explotación y desarrollo de la Faja.
- Delta Caribe: Industrialización del gas, el gas será utilizado como elemento de desarrollo endógeno para la industrialización del país.
- Aumentar la capacidad de refinación: construcción de nuevas refinerías
- Habilitar más llevaderos y poliductos
- Suministro de Petróleo al Mar Caribe.

1.2 Planteamiento del problema

El Distrito Operacional Puerto La Cruz está formado por un complejo refinador, constituido por la Refinería de Puerto La Cruz, la cual comprende tanto las instalaciones de la antigua Refinería Venezuelan Gulf Company, ahora llamada Refinería Puerto La Cruz, así como la Refinería de la Sinclair Venezuelan Oil Company (Refinería El Chaure o Unidad de Destilación Atmosférica DA-3), y la Refinería PDVSA área San Roque.

La Unidad de Destilación Atmosférica DA-3, está ubicada en la bahía de Bergantín, a cinco kilómetros de Puerto La Cruz. Ésta tiene como tarea fundamental el procesamiento de crudos livianos y la obtención de sus derivados tales como: Gasoil, Nafta, Residual, entre otros. Esta unidad de destilación, diseñada y construida con los estándares de diseño vigentes hace más de 50 años, está compuesta por un sistema de cabezales de vapor, el cual lo integran un cabezal de 180 lb y otro de 20 lb que son los encargados de suplir de vapor a los equipos que operan en esta planta. Dichos cabezales presentan problemas en toda su configuración, debido al deterioro mecánico, entre los que se pueden mencionar, altos niveles de corrosión en las tuberías y boquillas de los equipos, fugas a través de las bridas y daños severos en la soportería de las tuberías, entre otros. De ocurrir alguna falla debido a alguno de ellos, puede producir el colapso del sistema de cabezales de vapor. Por tal motivo se plantea la verificación de los niveles de esfuerzos en las tuberías que componen los cabezales, tomando en consideración las normas y códigos actuales, para así estimar las cargas en los soportes dañados con la finalidad de rediseñarlos y agregar soportes adicionales donde se requieran.

En consecuencia a lo expuesto anteriormente este proyecto se encuentra orientado, a realizar el análisis estático de flexibilidad para determinar si este sistema de cabezales de vapor posee la capacidad de absorber las cargas que inciden sobre él. Cargas tales como: el peso propio de la tubería, la expansión térmica, las fuerzas

producidas por la presión del fluido entre otras. El primer aspecto, está enfocado a reducir los niveles de esfuerzos en la tubería manteniéndola dentro de los rangos permisibles según los códigos de diseño actuales ya que los sistemas de tuberías deben poseer flexibilidad suficiente de manera que la expansión o la contracción térmica, así como los movimientos de soportes y equipos, no conduzcan a fallas de la tubería o de los soportes por esfuerzos excesivos o fatiga. Además de posible fuga en las juntas o falla de las boquillas de los equipos por reacciones excesivas.

Todo esto se realizará, con un software elaborado por la empresa COADE el cual recibe el nombre CAESAR II, especializado en el análisis de flexibilidad y/o esfuerzos. Esta herramienta computacional cuenta con soporte ingenieril que permite realizar comparaciones y evaluaciones mediante normas y códigos de diseño por los cuales se rigen las plantas de procesos para diseñar sistemas de tuberías, en este caso el sistema de cabezales de vapor de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-3 de la Refinería Puerto La Cruz.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis estático de flexibilidad de los cabezales de vapor de la unidad destiladora atmosférica DA-3 de la Refinería Puerto la Cruz.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar la situación actual de los equipos, tuberías y accesorios que participan en el sistema de cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3.
2. Evaluar los niveles de esfuerzos en los cabezales de vapor de 180 lbs y 20 lbs de la Unidad DA-3 mediante un estudio estático de flexibilidad, cuando están sometidos a cargas de presión y peso y comparar dichos niveles con los establecidos por el Código B31.1 para tuberías de generación de potencia.
3. Verificar los niveles de esfuerzos en los arreglos de tuberías actuales cuando están sometidas a cargas ocasionadas por expansiones térmicas, mediante un estudio estático de flexibilidad y comparar dichos niveles con los establecidos por el Código B31.1 para tuberías de generación de potencia.
4. Proponer mejoras en relación a las posibles desviaciones localizadas a través de diferentes modelos computarizados que sirvan de propuestas para un mejor funcionamiento de estas líneas de vapor y de esta manera se pueda alargar su vida útil.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para la realización de esta investigación se han utilizado como marco referencial algunos trabajos de grado y recomendaciones técnicas de la Superintendencia de Servicios Técnicos de la Refinería de Puerto La Cruz, entre ellos se pueden citar:

José Corrales, y **José Neptune [2]**, en este proyecto se contemplaron evaluaciones estáticas y dinámicas de las tuberías en simulaciones computacionales que sirvieron para la elaboración de un manual operativo del sistema de tuberías orientado a facilitar el manejo del sistema a los operadores.

Ysrael A Molero P [3], en este proyecto se analizaron los esfuerzos y desplazamientos en la tubería por cargas sostenidas y por expansiones térmicas. Se realizó una propuesta de modificación en las líneas de succión y descarga de la bomba GA-15-10. Seguidamente se realizó un análisis de flexibilidad en el modelo propuesto donde recomendó la instalación de juntas de expansión para absorber los desplazamientos de la tubería.

Rodrigo E Armas [4], realizó un análisis donde se analizaron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas; además se compararon las cargas en las boquillas de las 28 turbinas conectadas al sistema con las permisibles por la norma NEMA SM23. Se encontró que el 75% de los equipos tenían esfuerzos por encima de los permisibles.

2.2 Fundamentos teóricos

El presente capítulo está conformado por la teoría consultada para la realización de esta investigación.

2.3 Unidad de destilación atmosférica DA-3

La unidad consta de los siguientes equipos: un primer tren de precalentamiento, una torre preflash (V-1), un segundo tren de precalentamiento, una torre fraccionadora principal (V-3), dos despojadores, un horno vertical (40 MBD) de tipo cilíndrico y de tiro natural, equipos rotativos y una torre estabilizadora. Dispone de Generación propia de vapor (cuatro calderas), de aire comprimido y utiliza agua salada como fluido de enfriamiento. La instrumentación de la unidad es electrónica y se controla desde un búnker central. Desde el punto de vista operacional, la unidad DA-3, es una unidad de fraccionamiento atmosférico, provisto de una torre fraccionadora de crudo, tres despojadoras y una torre estabilizadora de gasolina. [1]

Lo resaltante de esta unidad, es la gran flexibilidad operacional que presenta, no solo en los equipos rotativos y en donde cada bomba eléctrica tiene una auxiliar de turbina a vapor, sino en la fraccionadora en sí, al procesar diferentes crudos con rango de gravedad y propiedades muy amplio. La figura 2.1 muestra un diagrama de la unidad DA-3 de la Refinería Puerto La Cruz.

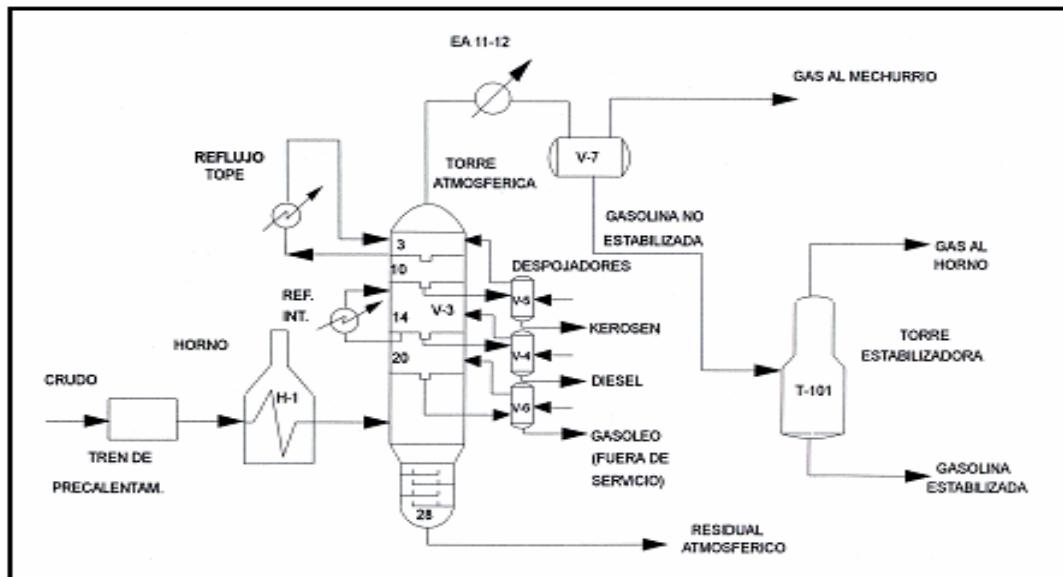


Figura 2.1 Etapas del proceso de refinación de crudo de la planta de destilación atmosférica DA-3 (Fuente: PDVSA ORIENTE 2003).

2.4. Análisis de esfuerzos en tuberías

El análisis de esfuerzos en tuberías, es una técnica que permite evaluar la estabilidad estructural de la tubería bajo condiciones de carga, para evitar someter a alguno de sus componentes a esfuerzos superiores al admisible; solapar la tubería con otras tuberías o estructuras por efecto de expansiones térmicas; y para evitar cualquier tipo de fugas en las uniones. [7]

El analista de flexibilidad es además responsable de calcular las cargas de diseño de los soportes y asegurar el apoyo y restricción adecuada a la tubería.

Según el Código ASME B31.1 que se encarga de regir el diseño de sistemas de tuberías de generación de potencia, es responsabilidad del diseñador realizar un

análisis de flexibilidad, a no ser que el sistema esté comprendido dentro de los siguientes casos:

- El sistema es un duplicado de otro de operación exitosa o reemplaza un sistema de rendimiento satisfactorio.
- El sistema es apropiado si se compara con sistemas previamente analizados.
- El sistema es de dimensiones uniformes, con no más de dos anclajes, no posee restricciones intermedias (guías, topes, etc.), y está diseñado esencialmente para servicio no cíclico (menos de 7.000 ciclos en total)

Todo sistema que no cumpla con los criterios anteriores o cuando exista duda razonable de su flexibilidad, debe analizarse con métodos formales aproximados, según sea el caso.

Los métodos aproximados de análisis, podrán ser aplicados solo para los rangos de diseño para los cuales demuestre un nivel adecuado de exactitud. Dentro de estos métodos se tienen: métodos analíticos, pruebas a modelos y métodos gráficos que permitan una evaluación de fuerzas, momentos, esfuerzos causados por flexión, torsión y la acción simultánea de restricciones en los extremos e intermedias a la expansión térmica del sistema total incluyendo los movimientos transmitidos a la tubería por sus conexiones terminales e intermedias.

2.5 Tipos de esfuerzos en tuberías.

Los esfuerzos se dividen en dos componentes: normales y cortantes. Los esfuerzos normales se originan por la acción de una fuerza perpendicular al área en estudio, mientras que los esfuerzos cortantes por una fuerza paralela al área donde actúa. [2]

A continuación se muestra la tabla 2.1 que resume los tipos de esfuerzos a los cuales se encuentra sometida una tubería.

Tabla 2.1 Tipos de esfuerzos a los que es sometido una tubería.

| Normales | | Cortantes |
|--|------------------------------|---|
| Longitudinales | Debidos a cargas axiales | Causados por torsión |
| | Debidos a la presión interna | |
| | Debidos al momento flector | |
| Circunferenciales Radiales | Debidos a la presión interna | Debido a fuerzas laterales |
| Debido a una estado tridimensional de esfuerzo | | Debido a un estado tridimensional de esfuerzo |

2.5.1 Esfuerzos longitudinales.

Son esfuerzos normales producidos en la dirección del eje axial de la tubería.

2.5.1.1 Por Carga Axial

No es más que la fuerza por unidad de área sobre una sección dada y puede apreciarse en la figura 2.2 y se calcula de la siguiente manera: [8]

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m}$$

(Ec. 2.1)

Donde:

S_L : Esfuerzo longitudinal (N/m²).

F_{ax} : Fuerza axial aplicada (N).

A_m : Área metálica de la tubería, $A_m = (d_o^2 - d_i^2) \times \pi / 4$ (m²).

d_o : Diámetro externo de la tubería (m).

d_i : Diámetro interno de la tubería (m).

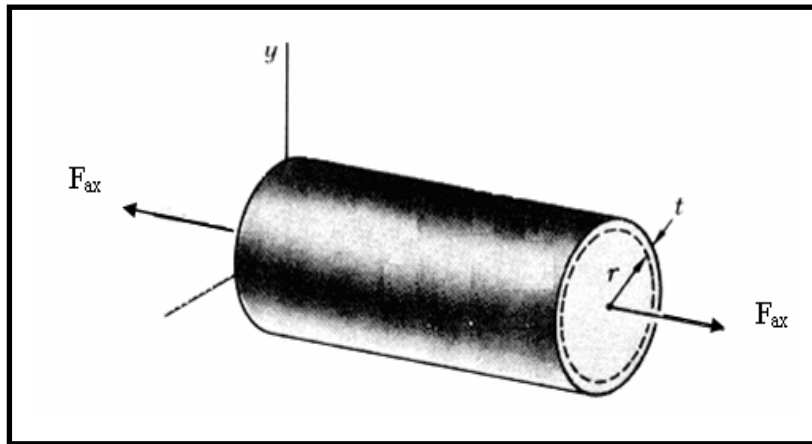


Figura 2.2 Dimensiones y cargas axiales de la tubería.

Un signo positivo indicará un esfuerzo de tensión y un signo negativo indicara un esfuerzo a compresión.

2.5.1.2 Por Presión interna

El esfuerzo longitudinal debido a la presión interna es ocasionado debido a la aplicación distribuida de la carga axial producto de la presión interna que ejerce el

fluido y la actuación de esta carga puede apreciarse en la figura 2.3 y se calcula como se muestra a continuación:

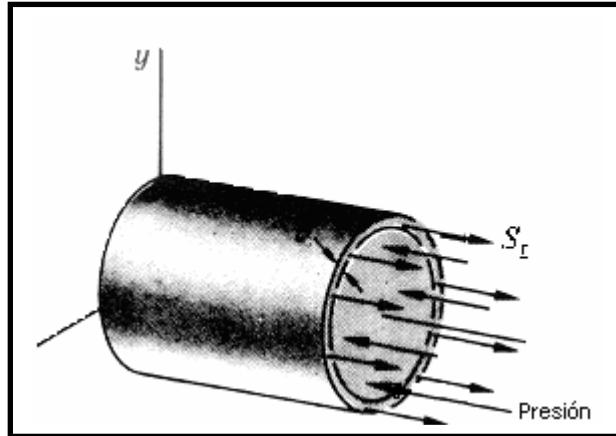


Figura 2.3. Cargas debidas a presión interna

Esfuerzos debidos a Presión Interna.

$$S_L = P \frac{A_i}{A_m}$$

(Ec. 2.2)

Donde:

P : Presión interna (N/m^2).

S_L : Esfuerzo longitudinal (N/m^2).

A_i : Área interna de la tubería (m^2), $A_i = \pi d_i^2 / 4$.

A_m : Área metálica de la tubería (m^2).

Sustituyendo términos para área interna y área metálica

$$S_L = P \frac{d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} = P \frac{d_i^2}{(d_o + d_i)(d_o - d_i)}$$

(Ec. 2.3)

Sustituyendo

$$d_0 + d_i = 2d_m \quad \text{y} \quad d_0 - d_i = 2t$$

Donde:

d_m : Diámetro medio (m).

t : Espesor de la tubería (m).

Se tiene:

$$S_L = P \frac{d_i^2}{4d_m t}$$

(Ec. 2.4)

Considerando: $d_i \approx d_m \approx d_0$

Se obtiene:

$$S_L = P \frac{d_0}{4t}$$

(Ec. 2.5)

Donde:

d_0 : Diámetro medio (m).

t : Espesor de la tubería (m).

El esfuerzo longitudinal debido a Momento Flector es ocasionado cuando la tubería se encuentra sometida a flexión, como resultado de dicho momento se produce un esfuerzo normal en la sección transversal de la tubería, que se halla a compresión por encima del eje neutro y a tensión por debajo del mismo, en la figura 2.4 se muestra las cargas que producen este esfuerzo y se calcula con las ecuaciones mostradas a continuación.

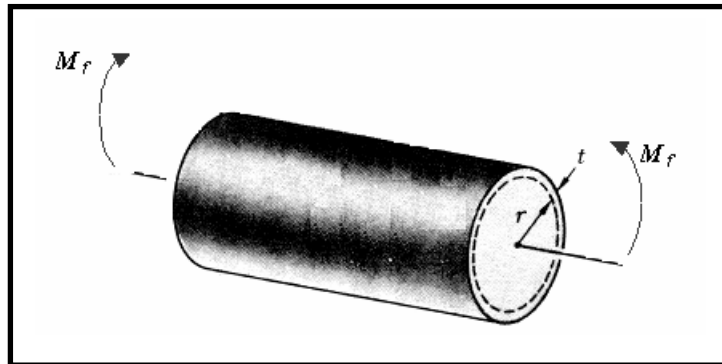


Figura 2.4. Momento flector en la tubería.

$$S_L = M_f \frac{C}{I}$$

(Ec. 2.6)

$$S_{L\max} = M_f \frac{R_0}{I} = \frac{M_f}{Z}$$

(Ec. 2.7)

Donde:

M_f : Momento flector aplicado (N-m).

C : Distancia radial a cualquier punto de la pared de la tubería (m).

R_0 : Radio externo de la tubería (m).

I : Momento Inercial de la tubería (m⁴).

Z : Módulo de sección de la tubería (m³).

Con la suma de los distintos esfuerzos longitudinales se consigue el esfuerzo longitudinal total que actúa sobre la tubería:

$$S_{L\text{ total}} = \frac{F_{ax}}{A_m} + P \frac{d_0^2}{4t} + \frac{M_f}{Z}$$

(Ec. 2.8)

2.5.2. Esfuerzo Circunferencial.

Este esfuerzo es ocasionado solo por la acción de la presión interna y externa de la tubería. Para determinar este esfuerzo se usa la hipótesis de que la deformación longitudinal es constante en toda la circunferencia del cilindro (Ver Figura 2.5.)

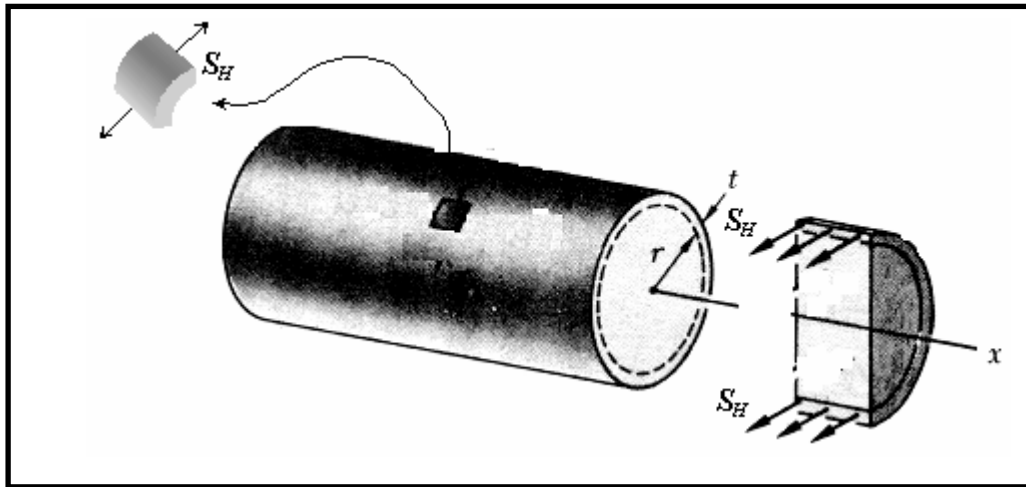


Figura 2.5 Esfuerzo Circunferencial de la tubería.

Se obtiene:

$$S_H = P \frac{d_i}{2t} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Pero empleando una aproximación conservadora:

$$S_H = P \frac{d_0}{2t} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

S_H : Esfuerzo de membrana circunferencial debido a la presión interna, N/m^2 .

P : Presión interna (N).

d_0 : Diámetro medio (m).

d_0 : Diámetro medio (m).

2.6. Teorías de falla.

Para fines de diseño, es necesario establecer una comparación entre los esfuerzos calculados y un límite admisible. Con este objetivo, se han enunciado varias teorías de fallas, las cuales tratan de establecer una relación entre un estado arbitrario tridimensional de esfuerzos y un estado uniaxial de esfuerzos, ya que los datos de falla de material son obtenidos a partir de ensayos a tracción de material. Dentro de las teorías de fallas utilizadas por los códigos se pueden mencionar: [2]

2.6.1. Teoría de von mises.

En este enfoque la energía máxima total se divide en dos parte, una asociada a los cambios volumétricos del material y otra que causa distorsiones por cortes y establece que la falla de un material ocurre cuando el esfuerzo octaedral resultante de un estado general de esfuerzos, iguala o supera el esfuerzo cortante máximo de un material bajo la condición de fluencia en un ensayo a tracción [3]

$$\tau_{\text{oct}} = \left[(S_1 - S_2)^2 + (S_1 - S_3)^2 + (S_2 - S_3)^2 \right]^{1/2} < \sqrt{2} \cdot S_y / 3 \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

τ_{oct} : Esfuerzo octaedral.

2.6.2. Teoría de tresca.

Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo o condición de fluencia de Tresca establece que la falla de un material ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo resultante de un estado general de esfuerzo, iguala o supera el esfuerzo cortante máximo bajo fluencia en un ensayo a tracción.

$$\tau_{\max} = (S_1 - S_3)/2 < S_y/2 \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

τ_{\max} : Esfuerzo cortante máximo.

Como habitualmente se ha considerado el esfuerzo radial igual a cero ($S_3=0$) entonces la ecuación anterior se reduce

$$\tau_{\max} = \left| \pm \frac{S_1}{2} \right| < S_y/2 \quad (\text{Ec. 2.13})$$

De acuerdo a lo establecido anteriormente, para un estado de esfuerzos en las paredes de una tubería se deberá cumplir:

$$\tau_{\max} = \left[(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2 \right]^{1/2} / 2 \leq S_y/2 \quad (\text{Ec. 2.14})$$

2.6.3 Teoría de rankine.

Afirma que la falla o fractura de un material ocurre cuando el esfuerzo normal máximo en un punto alcanza un valor crítico, independientemente de los otros esfuerzos. Solo se debe determinar el mayor esfuerzo principal para aplicar este criterio. El valor crítico del esfuerzo, S_{ult} por lo común se determina en un experimento de tensión, donde la falla de una muestra o probeta se define como un alargamiento excesivamente grande o ruptura.

2.7 Bases para el cumplimiento de los códigos.

En todo estudio de flexibilidad la principal prioridad la constituye el cumplimiento de los códigos que rigen el diseño del sistema. Estos códigos requieren de la consideración de dos tipos básicos de falla: [6]

- ✓ Sostenida: originada por cargas primarias.
- ✓ Expansión: originada por cargas secundarias.

2.7.1. Características de las cargas primarias:

- ✓ Su magnitud es por lo general definida por aplicación de cargas constantes en el tiempo: gravedad, presión, etc.
- ✓ No son autolimitadas, una vez que empieza la deformación plástica continua hasta que aparezcan fuerzas de equilibrio que la contrarresten.
- ✓ Por lo general no son cargas cíclicas.
- ✓ Los límites admisibles para este tipo de carga están definidos por las teorías de falla Rankine (Teorema del Esfuerzo Máximo).
- ✓ La aplicación excesiva de la carga puede generar falla por ruptura, la falla puede ocurrir por la aplicación única de la carga.

2.7.2. Características de las cargas secundarias:

- La magnitud de su aplicación está definida por la aplicación de desplazamientos (térmicos, de los anclajes, asentamientos, etc.).
- Las cargas secundarias son por lo general autolimitadas, su magnitud disminuye a medida que sucede la deformación plástica.

Los límites admisibles para este tipo de carga están definidos por las teorías de falla Tresca (Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo). [2]

2.8. Criterios de diseño para distintos tipos de carga:

Existen diversos criterios para el diseño de sistemas de tuberías, los cuales deben ser aplicados de acuerdo al tipo de carga que se analice. A continuación se presentan los dos tipos de cargas estáticas que actúan comúnmente sobre un sistema de tuberías:

2.8.1. Cargas primarias:

Los tipos más comunes de cargas sostenidas con las cuales se encuentra el analista de esfuerzos son: Presión y Peso.

Los esfuerzos debidos a presión se pueden manejar por el uso de procedimientos que incluyen cálculos referidos a lo siguiente: requerimientos de espesor mínimo, codos, bridas y juntas de expansión, fundamentalmente.

Los esfuerzos originados en la tubería debido al peso, pueden ser estimados mediante el método de vigas sometidas a cargas de flexión.

2.8.2. Cargas secundarias:

Previo al manejo de las cargas térmicas el analista de esfuerzos debe tener presente los siguientes puntos:

- La filosofía de diseño para este tipo de carga, consiste en conducir las mismas y jamás intentar impedir su aparición. En otras palabras, el crecimiento térmico de la tubería no deberá ser impedido por restricciones, ya que las cargas generadas podrían ser muy altas poniendo en peligro la tubería.
- Los crecimientos térmicos deben ser conducidos, enviando la menor cantidad de desplazamientos a las conexiones más delicadas, como lo son: turbinas, bombas, intercambiadores de calor, enfriadores de aire, etc.
- No se deberá intentar solucionar un problema térmico, sin antes hacer solucionar el problema de cargas sostenidas.

2.8.2.1 Cargas por expansión y contracción térmicas

Estas cargas son generadas por variaciones térmicas, cuando el sistema está operando al valor mínimo de temperatura tenderá a contraerse elásticamente y al no encontrar ninguna separación u holgura que le permita contraerse con libertad, la fuerza generada por la presión interna del fluido y por la contracción misma se transmitirá a los pernos de las bridas y las soldaduras de la tubería y/o de sus componentes dependiendo de su configuración. El caso contrario ocurre cuando el sistema se encuentra operando a su máximo valor de temperatura, el cual ocasiona una expansión de la tubería, y de igual manera que en la contracción los esfuerzos serán transmitidos a las uniones apernadas y/o a las soldaduras, pero actuando en sentido contrario. [7]

2.8.3. Junta de expansión.

Es un mecanismo utilizado para absorber cambios dimensionales causados por expansión y/o contracción térmica de tuberías, recipientes, etc. Las juntas de expansión resultan una solución para casos como:

- Poca disponibilidad de espacio.
- Tubería de acero especial, donde la colocación del lazo significaría un alto costo.
- Cuando se desea aislar las vibraciones mecánicas de un equipo del sistema de la tubería.
- Cuando se desea proteger un equipo muy delicado donde las cargas admisibles sean muy bajas.

Una de las desventajas principales de la junta de expansión, es la necesidad del mantenimiento de la misma. Sin embargo, con el desarrollo de nuevos materiales, este requerimiento se ha visto disminuido considerablemente. Básicamente existes dos tipos de juntas de expansión las cuales son:

- Junta de expansión deslizante (slip Joint)
- Junta de expansión tipo fuelle (Bellow Joint)

2.9 Soportes para tuberías

El diseño de estructuras de soporte se basa en todas las cargas que actúan concurrentemente en cada soporte. Estas cargas incluyen efectos de peso, cargas introducidas por presión de diseño y temperatura, vibración, vientos, terremotos, choques, y esfuerzos de desplazamiento. La distribución y diseño de tuberías y sus elementos soportantes estarán dirigidos para prevenir lo siguiente: [6]

- ✓ Esfuerzos excesivos en la tubería.
- ✓ Fuga en las juntas.
- ✓ Excesivo empuje y momentos en equipos conectados.

- ✓ Esfuerzo excesivo en los soportes (o restricciones).
- ✓ Resonancia o vibraciones inducidas por el fluido.
- ✓ Interferencia excesiva con expansión térmica o contracción en la tubería.
- ✓ Soltura de la tubería de sus soportes.
- ✓ Excesivo pandeo de la tubería.
- ✓ Excesivo flujo de calor, exposición de elementos soportantes a temperaturas extremas fuera de sus límites de diseño.

2.9.1 Localización inicial de soportes

La localización inicial de soportes se debe hacer con cuidado, ya que una vez que el análisis de la tubería haya sido completado, ningún soporte podrá ser movido de su posición sin causar cambios significativos en los niveles de esfuerzos en la tubería o cambios en las reacciones sobre los equipos adyacentes al soporte cambiado y muy posiblemente se necesitara de un nuevo análisis.

Para la localización inicial de los soportes, en los distintos sistemas de tuberías, se deben tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- ✓ Los soportes de tubería deben ser instalados lo más cercano posible a cargas concentradas como válvulas, bridas, etc.
- ✓ La localización de soportes no debe inferir con los requerimientos de mantenimiento. Desde el punto de vista de esfuerzos en tuberías y por economía, el mejor lugar para colocar un soporte es instalándolo directamente en el equipo; sin embargo esta localización puede ofrecer dificultades, por las restricciones causadas a los componentes del equipo, restricciones en su configuración, los requerimientos del fabricante del equipo o necesidades de espacio para su operación o mantenimiento.

- ✓ Se debe consultar toda la información disponible y planos generados por las demás disciplinas, para evitar interferencias con los requerimientos de espacio de electricidad, instrumentación y control, equipos mecánicos y de estructuras futuras o existentes.
- ✓ Sistemas de tuberías de gas o vapor que van a ser sometidas a pruebas hidrostáticas deben ser chequeados con el peso del agua para ver si se necesitan más soportes adicionales (temporales o en el peor de los casos, permanentes) de los que se requieren con el peso del gas o vapor.

2.9.2 Distancia entre soportes

La tubería y el equipo deberán estar soportados en forma sustancial y como resultado de un buen trabajo, de manera que puedan evitar o reducir la vibración excesiva, y deberán estar lo suficientemente bien anclados, para evitar tensiones indebidas en el equipo conectado. En la tabla 2.1 se muestra el espaciamiento máximo entre soportes sugerido por el código ASME B31.1.

Tabla 2.2 Espaciamiento máximo entre soportes (Código ASME B31.1)

| Diámetro de la tubería | | Distancia entre soportes | |
|------------------------|-------------|--------------------------|--------|
| Pulgadas | Centímetros | Pies | Metros |
| 1 | 2,54 | 9 | 2,7 |
| 2 | 5,08 | 13 | 4,0 |
| 3 | 7,62 | 15 | 4,6 |
| 4 | 10,16 | 17 | 5,2 |
| 6 | 15,24 | 21 | 6,4 |
| 8 | 20,32 | 24 | 7,3 |

| | | | |
|----|-------|----|------|
| 12 | 30,48 | 30 | 9,1 |
| 16 | 40,64 | 35 | 10,7 |
| 20 | 50,80 | 39 | 11,9 |
| 24 | 60,96 | 42 | 12,8 |

Un sistema de tuberías muy restringido por los soportes posiblemente limitará su capacidad de expansión o contracción, generando grandes fuerzas en los puntos de restricción, causando altos esfuerzos en la tubería y/o en los equipos asociados, pudiendo sobrepasar los límites admisibles.

Deberán instalarse soportes de apoyo, colgadores y anclajes de manera que no interfieran con la libre dilatación y contracción de la tubería entre anclajes. Se deberán proveer colgadores de resorte adecuados, donde sean necesarios.

2.9.3 Materiales, diseño e instalación

Todos los soportes, apoyos y anclajes, deberán ser fabricados de materiales durables e incombustibles, y diseñados e instalados en conformidad con las buenas prácticas de ingeniería, para las condiciones de servicio en que se hallen. Por ello, se deben conocer los esfuerzos que deberán soportar dichos sistemas en las partes del equipo, de tal manera que no se liberen con el movimiento de la tubería que soportan.

En general, la localización y diseño de los elementos soportantes puede estar basado en simples cálculos y juicios de ingeniería. Sin embargo, cuando un análisis más refinado es requerido y un análisis de tubería, la cual puede incluir soportes rígidos, es hecho, los esfuerzos, momentos y reacciones determinados serán utilizados en el diseño de los elementos soportantes.

2.10 Criterios prácticos para diseño de flexibilidad.

1. Las juntas de expansión, sólo deben ser utilizadas en casos indispensables.
2. Los arreglos de todas aquellas tuberías que presenten vibraciones, deben ser diseñados de manera de permitir soportes independientes. El uso de resortes debe ser evitado en este tipo de líneas.
3. Los arreglos de las tuberías deben hacerse lo más cercano posible a las estructuras de manera de simplificar el diseño de los soportes.
4. Las tuberías que salgan de las conexiones del recipiente, deben ser soportadas lo más cercano posible a la boquilla, con el fin de minimizar las diferencias de expansiones térmicas entre el recipiente y la tubería.

Las tuberías en estructuras deben ser colocadas por debajo de las plataformas, cercanas a elementos capaces de soportar cargas y así evitar hacer las estructuras más pesadas. [2]

2.11 Al hacer un arreglo flexible de tubería se debe considerar:

- Evitar la introducción de bolsillos o sifones (pockets) en las tuberías de succión de bombas.
- Colocar anclajes cerca de ramales de diámetro pequeño.
- Colocar guías o topes en la cercanía de equipos sensibles tales como bombas o turbinas. Esto impide que los efectos de la expansión de la tubería, se transmitan

directamente a las boquillas de los equipos, causando esfuerzos superiores a los admisibles en las carcasas o desalineando las partes rotativas.

- Si se requiere colocar soportes colgantes, de fuerza constante, deben ser utilizados en aquellos casos donde el desplazamiento vertical es considerable, o cuando el equipo no admite variaciones de carga muy altas.

2.12 Análisis de flexibilidad por computadora

A diferencia de los métodos simplificados, los programas de computación pueden ejecutar el análisis de esfuerzos y cargas aplicadas en la tubería de una forma precisa, en menor tiempo e independientemente de la configuración del sistema, siendo la única limitación el espacio de almacenamiento disponible del computador y la cantidad de nodos establecidos por el programa. La formulación matemática del problema esta basada en el teorema castigliano, el cual relaciona la derivada parcial de la energía de deformación, respecto a las fuerzas y momentos en el sistema de tuberías, con la deflexión o rotación en el punto donde actúan. El sistema en su totalidad se supone como un voladizo en un punto fijo, los momentos y las fuerzas requeridas para producir los movimientos especificados en los soportes o restricciones, se obtienen mediante la solución de un sistema de ecuaciones simultáneas. Se supone la proporcionalidad entre los esfuerzos y deformaciones considerando las deflexiones pequeñas. El sistema de tuberías puede estar compuesto por cualquiera de los más comunes elementos, tales como: tramos rectos, codos y tees. Estos componentes pueden tener cualquier orientación en el espacio. Las cargas pueden resultar de la expansión térmica, movimientos de los anclajes, peso uniforme de la tubería y su contenido, restricciones impuestas

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se dan a conocer todos los aspectos relacionados con la metodología empleada, donde se especifican las características y aspectos de la investigación. En tal sentido, la metodología constituye un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación. De allí que los lineamientos bajo los cuales se realizó este trabajo permitió confrontar y verificar la visión teórica del problema y los objetivos planteados con los datos de la realidad, donde se destacan aspectos como: El tipo de investigación, población, muestra, instrumentos y técnicas que permitieron el desarrollo de este trabajo.

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación se encuentra dentro de la categoría de campo, ya que los datos entre los que encuentra planos isométricos de las tuberías fueron recabados directamente del área donde se desarrolló el problema, mientras que la presión y temperatura de operación máximas fueron suministradas por la empresa mediante sus estadísticas y normas internas, así como el tipo de material de las tuberías, y especificaciones de los equipos conectados a las líneas en estudio.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población:

La población objeto de estudio está conformada por el sistema de tuberías de los cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3 de la refinería puerto la cruz.

3.2.2 Muestra:

Debido al propósito de la investigación y del interés por recaudar la mayor cantidad de información posible, no se seleccionó muestra sino que se escogió todo el sistema de tuberías que conforman los cabezales.

3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS

Para la realización de este proyecto fue necesaria la aplicación de las siguientes técnicas:

- Revisión bibliográfica.
- Inspección visual en campo.
- Entrevista a personas con experiencia en el área bajo estudio
- Medición de tuberías en campo.
- Dibujo de planos isométricos.
- Modelado y evaluación del sistema de tuberías en estudio, utilizando el software de simulación CAESAR II, versión 4.5



3.4 EQUIPOS, MATERIALES, SUSTANCIAS Y HERRAMIENTAS

A continuación, se presenta una lista de los recursos empleados durante el desarrollo del proyecto:

3.4.1 Equipos Utilizados:

Computadora:

- Computador Intel Pentium IV, Disco Duro 80 GB 3.0 GHz, 512 Mb RAM.
Monitor IBM Think Visión

Fotocopiadora:

- DELCOP DDC 35N.

Impresora:

- HEWLETT-PACKARD, modelo laserjet 4050N.
- Hp Deskjet D1360

3.4.2 Equipos de seguridad personal

- Botas
- Casco
- Braga

3.4.3 Materiales:

- Papelería en general.
- Pendrive 1 Gb.
- Cinta métrica.



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

3.4.4 Sustancias:

- No se requieren.

3.4.5 Herramientas Empleadas:

- CAESAR II, versión 4.5. Copyright2003.COADE Engineering software.
- Sistemas operativo Microsoft Windows XP profesional.
- Microsoft Office 2003.
- Adobe Acrobat Reader 7.0.
- Autocad 2006.
- Internet Explorer

Los equipos, materiales y herramientas, antes mencionados se encuentran ubicados en las instalaciones de la superintendencia de Ingeniería de Instalaciones, pertenecientes a la Gerencia Técnica de la Refinería Puerto la Cruz.

3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo del problema se hizo bajo la modalidad de un estudio de aplicación o evaluativo basado en una investigación de campo, en donde se llevo a cabo un procedimiento que generó un modelo para realizar el análisis estático de flexibilidad de cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3 de la refinería Puerto la Cruz, a través del software CAESAR para comparar sus resultados con los valores admisibles establecidos en las norma ASME B31.1 ; el mismo es mostrado a continuación (ver figura3.1) :

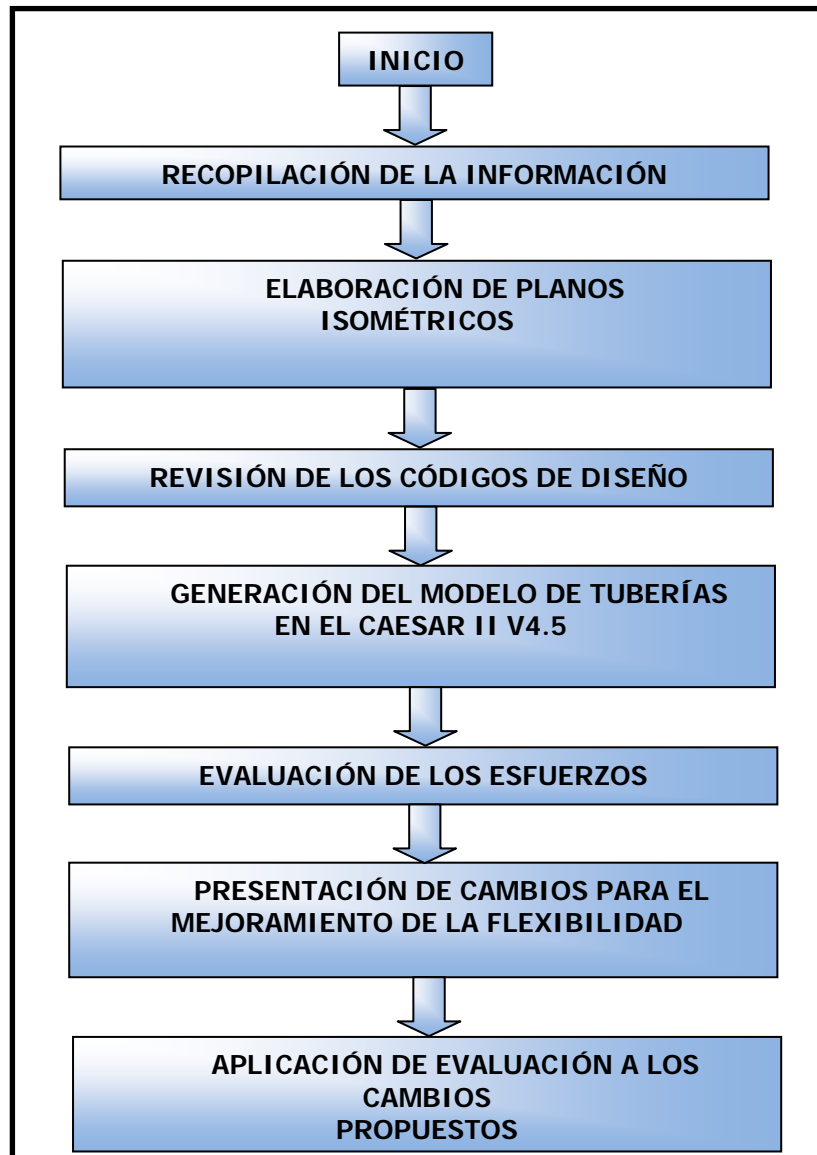


Figura 3.1 Procedimiento utilizado para realizar el análisis estático de flexibilidad

3.5.1 INICIO

Fue la primera etapa de este trabajo, comprendió la introducción a la empresa, así como la selección del trabajo a realizar, y posteriormente un reconocimiento del área en estudio para este caso la unidad de destilación DA-3.



3.5.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recopilación de información fue realizada a través de consulta bibliográfica relativas al tema de investigación, consistió en la búsqueda, ubicación, revisión y selección de material bibliográfico (revistas y/o manuales técnicos, trabajos de grado, estándares y datos divulgados por medios impresos audiovisuales y electrónicos, Internet entre otros) con la cual se obtuvo información variada y necesaria para adquirir conocimientos previos que fueron de gran utilidad para el desarrollo del trabajo.

3.5.3 ELABORACIÓN DE PLANOS ISOMÉTRICOS.

Debido a la falta de planos del Sistema de Cabezales de Vapor de la Unidad de Destilación Atmosférica (DA-3) de la Refinería de Puerto La Cruz, fue necesario realizar un levantamiento completo del Sistema en Isométricos que permitieran describir geométricamente los cabezales de 180 lbs y 20 lbs. Con la generación de estos isométricos también se levantó toda la información referente a los accesorios y especificaciones. En cuanto a los accesorios, se registraron las válvulas, codos, tees, reducciones, bridas, tipos de soporte y ubicación de los mismos, entre otros; en cuanto a las especificaciones técnicas, se recopiló la información correspondiente a material de la tubería, material de aislamiento de la misma, densidad del fluido que contiene, schudele, raiting, etc.

3.5.4 VERIFICACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO.

Un análisis de flexibilidad requiere la revisión de Códigos de Diseño contemplado en las Normas PDVSA, en este caso se utilizaron los siguientes, los mismos rigen en su totalidad la existencia del Sistema analizado:



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

- Norma PDVSA - Materiales de Tuberías (H-221).
- Código ASME B31.1: “Tuberías de Servicio de Generación de Potencia” (“Power Piping”).
- NEMA SM 23: “Turbinas de Vapor para Servicio de Generación de Potencia”. (“Steam Turbines for Mechanical Drive Service”).

3.5.5 GENERACION DE LOS MODELOS EN EL CAESAR II V4.5

Luego de contar con los datos e información necesaria para el análisis de flexibilidad, se procedió a introducir los datos en el software CAESAR (cada línea en archivos separados con su respectiva norma en estudio ASME B31.1), en el cual se van cargando cada uno de los elementos que conforman el sistema de tuberías (accesorios, soportes, válvulas, bridas entre otros) configurándolos como nodos numerados generalmente de diez en diez y de dos en dos, para la colocación de restricciones (soportes), que al final representarán el modelo en estudio emitiendo finalmente los resultados.

3.5.5.1 ESPECIFICACIONES INTRODUCIDAS AL PROGRAMA.

El programa computacional Caesar II en su versión 4.5 requiere que el usuario especifique una serie de detalles técnicos para la determinación de los esfuerzos en el sistema objeto del análisis. Estos detalles, referentes únicamente a las tuberías y no a los equipos, consisten en datos de material, clase, diámetro, presión, temperatura, fluido que contiene, material aislante, código de evaluación, módulo de elasticidad, coeficiente de poisson, densidad de la tubería, densidad del aislamiento, soportería, codos, tees y por supuesto geometría.



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

A continuación se presentan la figura 3.2 que ilustra la interfase del programa donde el usuario especifica las características indicadas anteriormente.

La introducción y almacenamiento de datos en el software se realiza invocando en el menú principal de este la opción datos de entrada (piping input) En la Figuras 3.2 se observan los diferentes campos disponibles para que el usuario, en este caso el analista de flexibilidad, introduzca los datos antes mencionados, la figura 3.2 corresponde a la interface los cabezales de 20 Lbs,

Figura 3.2. Interfase de Datos Cabezal de 20 Lbs.

Mediante el uso del Software CAESAR II se generó un modelo tridimensional del Sistema de Cabezales de vapor de la Unidad de Destilación Atmosférica (DA-3). Este software es una poderosa herramienta computacional que permite realizar el análisis estático de un sistema de tuberías como es el caso de los Cabezales de Vapor de la Unidad DA-3. Las siguientes Figuras representan el cabezal de 20 lbs y 180 lbs respectivamente.

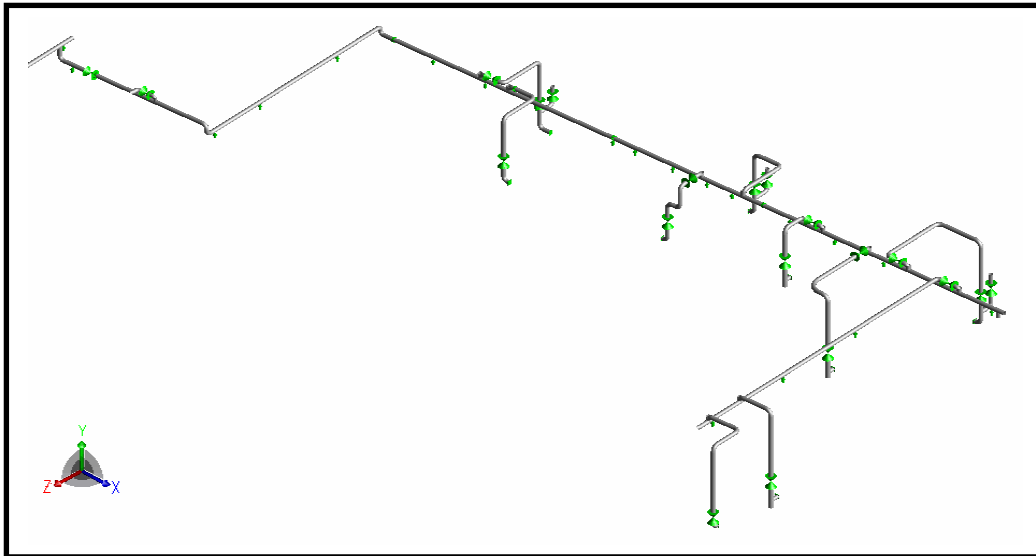


Figura 3.3. Modelo del Cabezal de 20 Lbs.

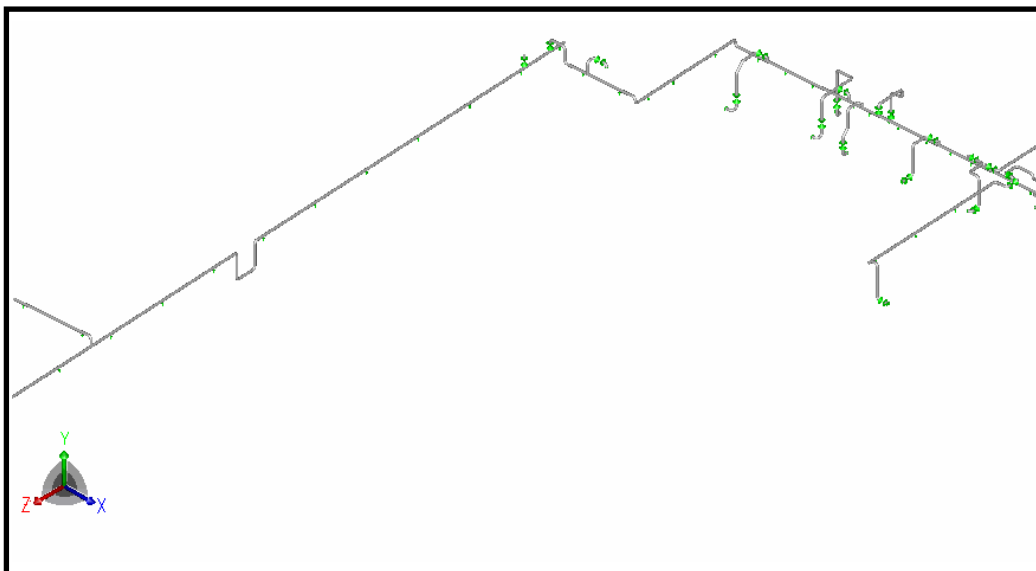


Figura 3.4. Modelo del Cabezal de 180 Lbs

3.5.5.2. DISTRIBUCIÓN NODAL

Este software permite un incremento automático de los nodos a medida que el usuario va introduciendo los datos de la tubería en estudio, esto permite una secuencia en el



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

arreglo de la tubería. La Figuras 3.5 y 3.6 que se muestran a continuación representan los cabezales de 20 Lbs, y 180 Lbs respectivamente.

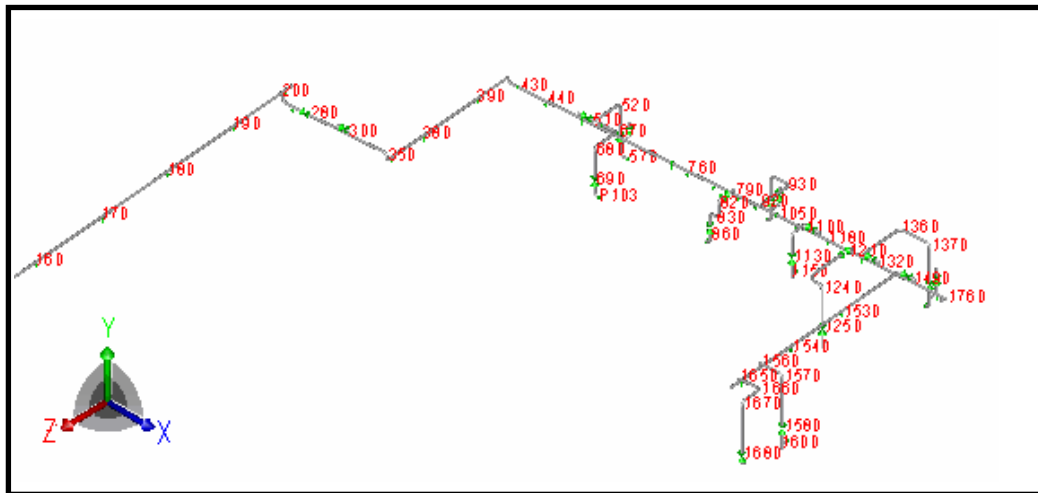


Figura 3.5. Distribución Nodal del Cabezal de 20 Lbs.

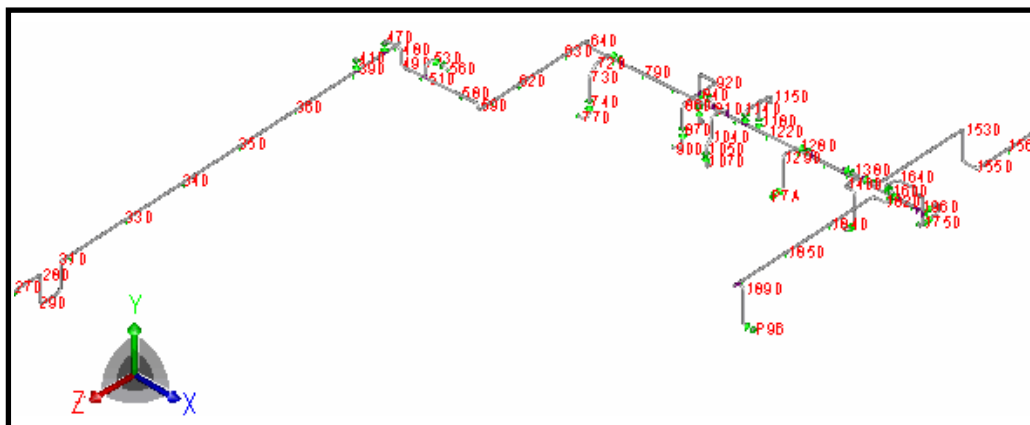


Figura 3.6. Distribución Nodal del Cabezal de 180 Lbs



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

3.5.5.3. SOPORTES, ANCLAJES Y RESTRICCIONES DE LA TUBERÍA.

Cada punto del Sistema de Cabezales de Vapor tiene 6 grados de libertad: desplazamiento en X, Y y Z y rotación X, Y y Z. Cualquier elemento, accesorio o cuerpo externo que impida el movimiento en uno o varios de estos seis grados de libertad es una restricción, pero un elemento que impida el movimiento en los seis grados de libertad del punto representa un anclaje. En aquellos soportes que no cumplen la función de anclaje, pero permiten desplazamiento de la tubería en algún grado de libertad, se empleó un coeficiente de fricción estática de 0,3 entre la tubería y el soporte, valor que es recomendado por el manual del software.

La existencia de restricciones como guías o topes, con cierta cantidad de holgura entre la tubería y el soporte fue modelada como una restricción no lineal que permite cierta cantidad de movimiento en alguno de sus grados de libertad.

3.5.6 EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS

Los esfuerzos resultantes, producidos en el paso anterior, por el software CAESAR, se compararon con los esfuerzos permitidos por las normas que rigen el sistema de tuberías. El Software CAESAR II V4.50 realiza la comprobación de los valores de esfuerzos a los que se encuentra sometida la tubería, para ello es necesario especificar correctamente el material, ya que el programa almacena en su base de datos los esfuerzos permisibles para dicho material. También se debe especificar el código de diseño bajo el cual se trabaja.

En el caso del Sistema de Cabezales de Vapor de la Unidad DA-3, las tuberías están fabricadas de acero A106 Gr. B y por ser tuberías de servicio de vapor para generación de potencia se empleó el código de diseño ASME B31.1.



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

3.5.7 PRESENTACIÓN DE CAMBIOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA FLEXIBILIDAD.

Una vez comparados los esfuerzos resultantes y las cargas en el sistema de tuberías se procedió a realizar cambios al diseño original para mejorar la flexibilidad del mismo. Tales cambios se iniciaron con la colocación de apoyos a la tubería, con la finalidad de disminuir las cargas sobre esta.

3.5.8 APLICACIÓN DE EVALUACIÓN A LOS CAMBIOS PROPUESTOS

Finalmente se realizó la evaluación de los cambios propuestos a manera de prueba y se evaluaron cada uno de ellos para comprobar su aporte al sistema

3.6 Especificaciones

3.6.1 Especificaciones de los Cabezales.

Como todas las tuberías de una planta de procesos, los Cabezales de Vapor de la Unidad DA-3 están normalizados según la Norma H-221 de PDVSA. En la Tabla 3.1 se encuentran detalladas las especificaciones de los mismos.

Tabla 3.1. Especificaciones de los Cabezales de Vapor.

| Línea | Pd (Psi) | Td (°F) | Clase | Díámetro (pulg) | Sch | Material | Aislante |
|--------------|-----------------|----------------|--------------|------------------------|------------|-----------------|--------------------|
| 20 | 20 | 228 | AA3 | 1/2 a 2 | 80 | A 106 Gr. B | Silicato de Calcio |
| | | | | 3 a 6 | 40 | | |
| | | | | 8 a 24 | 20 | | |
| 180 | 180 | 578 | BA3 | 1/2 a 2 | 80 | | |
| | | | | 3 a 6 | 40 | | |
| | | | | 8 a 24 | 20 | | |
| | | | | 8 a 24 | 60 | | |



CAPÍTULO 3: Desarrollo del Proyecto

3.6.2. ESPECIFICACIONES DE LAS TURBINAS.

El Sistema de Cabezales de Vapor surte a 7 Turbinas de Vapor que se encargan de generar potencia para las bombas de la Unidad DA-3. En la Tabla 3.2 se detallan las especificaciones de cada una de ellas.

En la Tabla 3.2 la columna correspondiente a “Turбина” se refiere al nombre que la empresa asigna cada una de ellas en conjunto con la bomba a la que se encuentra acoplada.

Tabla 3.2 Especificaciones de las Turbinas

| Turbina | Marca | Modelo | Tipo | Serial | P (Hp) | V (rpm) | Pe (psi) | Ps (psi) | T (°F) |
|---------|--------------|--------|---------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|
| P1A | Westinghouse | E-120 | A Vapor | 5A-8126-3 | 33 | 2562 | 175 | 20 | 477 |
| P2A | Westinghouse | C-14 | A Vapor | 5A-8125-3 | 19 | 3550 | 190 | 20 | 477 |
| P6A | Westinghouse | S2R | A Vapor | 5A-8132-1 | 19 | 3550 | 175 | 20 | 477 |
| P7A | Westinghouse | C-25 | A Vapor | | 19 | 1840 | 175 | 20 | 477 |
| P9A | Westinghouse | C-25 | A Vapor | 10A-8505-4 | 19 | 1840 | 175 | 20 | 477 |
| P101A | Elliott | 2CYR | A Vapor | N2242 | 150 | 3560 | 175 | 20 | 477 |
| P103A | Elliott | 2AYR | A Vapor | 2332 | 55 | 3675 | 175 | 20 | 477 |

3.6.3 Ubicación de algunas fallas en los cabezales

En la figura 3.7 se muestra algunas de las fallas ocurridas y la ubicación de las mismas en los cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3 de la Refinería Puerto La Cruz.

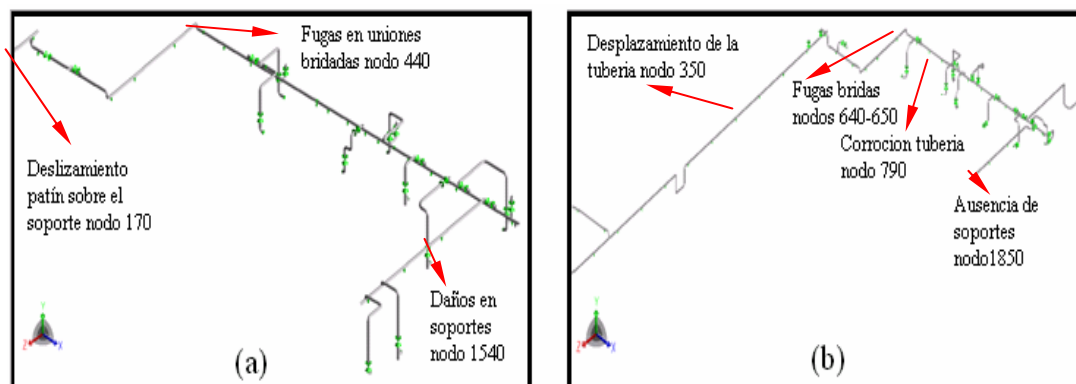


Figura 3.7 Ubicación de algunas fallas que han ocurrido en los cabezales, (a) cabezal 20 lb y (b) cabezal 180 lb.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Diagnóstico del Sistema.

En esta sección, se detallan los resultados obtenidos del Análisis Estático de Flexibilidad del Sistema Actual de Cabezales de Vapor de la Unidad DA-3. Cabe destacar que como el sistema consta de dos cabezales principales e independientes, cada uno de ellos se modelo por separado.

En el análisis se efectuaron evaluaciones de esfuerzos en las tuberías ocasionados tanto por cargas sostenidas como por cargas ocasionadas debido a expansiones térmicas; todo esto de acuerdo con el código ASME B31.1.

Tabla 4.1 Datos de los cabezales

| Cabezal | Diámetro | Espesor | Aislante | Presión | Temperatura | Fluido |
|---------|-------------------------------|-----------|--------------------|---------|-------------|---------------|
| 20 lbs | Toda la tubería es de 8 pulg | 0.25 pulg | Silicato de calcio | 20 lbs | 228 °f | Vapor de agua |
| 180 lbs | Toda la tubería es de 10 pulg | 0.28 pulg | Silicato de calcio | 180 lbs | 578 °f | Vapor de agua |

4.2. Evaluación de Esfuerzos en el Cabezal de 20 Lbs.

En esta sección se encontrarán una serie de tablas y figuras donde se reflejan los puntos o nodos en los que se presentaron los máximos niveles de esfuerzo en el sistema para cada uno de los casos de carga (sostenidas y dilatación térmica) que fueron simulados en el software de acuerdo con el código de diseño ASME B31.1 detallando las condiciones actuales de esfuerzos del modelo computacional del Cabezal de 20 Lbs.

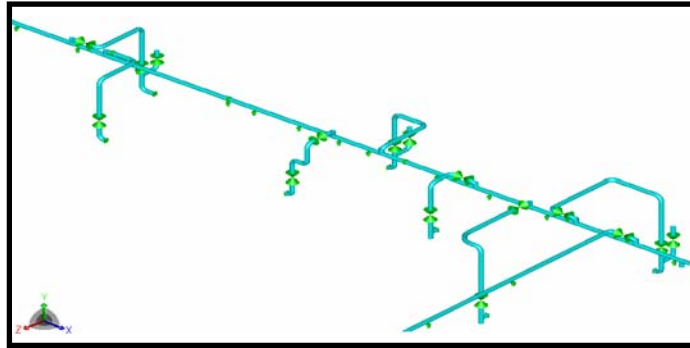


Figura 4.1 Modelo tridimensional del cabezal de 20 lbs de la unidad DA-3 (Detalle del Diseño Original) fuente [Caesar]

4.2.1. ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA.

La prueba de presión de agua consiste en inundar el sistema con agua y generar una presión de 1.5 veces el valor de la presión de operación del sistema la cual para este caso tiene un valor de 30 lbs. A continuación se muestran la tabla 4.2 donde se observan los mayores esfuerzos producto de esta prueba en el cabezal de 20 lbs con respecto al código B31.1.

Tabla 4.2. Mayores Esfuerzos en el cabezal de 20 lbs debido a prueba hidrostática

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|--------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Código | Permisible | |
| 290 | 7254 | 50 | 5695 | 13800 | 41 |
| 910 | 8236 | -336 | 6768 | 13800 | 49 |
| 1070 | 10986 | 79 | 8396 | 13800 | 61 |
| 1190 | 7178 | -285 | 5605 | 13800 | 41 |
| 1220 | 8396 | -249 | 6583 | 13800 | 48 |
| 1310 | 11686 | 145 | 8865 | 13800 | 64 |
| 1480 | 6448 | -136 | 6754 | 13800 | 49 |

La tabla 4.2 permite observar que cuando el sistema es sometido a la prueba de presión de agua los mayores esfuerzos generados están 45% por debajo del esfuerzo permisible; más allá de esto es posible afirmar que se encuentra totalmente dentro de los límites de esfuerzos pautados por la norma ASME B31.1. Esto implica que esta línea no presenta problemas de flexibilidad con esta prueba. Es importante recalcar que si fuera necesario realizar alguna mejora al Sistema, se deben mantener esta situación de permisibilidad con respecto a la norma.

4.2.2. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS.

En este estudio se evaluó las cargas generadas al sistema de tuberías por el peso (tanto del fluido como de la tubería) y la presión de diseño del sistema; de este estudio se excluyen los efectos que generan los cambios de temperatura de las tuberías.

A continuación se presentan la tabla 4.3 y la figura 4.2 donde se encuentran los nodos mas críticos del cabezal de 20 lbs cuando sobre él actúan cargas constantes en el tiempo (*peso de la tubería + peso del fluido*), también es posible observar el porcentaje de permisibilidad con según el código ASME B31.1.

Tabla 4.3 Mayores esfuerzos en el cabezal de 20 lbs cuando sobre el actúan cargas constantes en el tiempo

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|-------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 910 | 10323 | -16 | 7823 | 12000 | 65 |
| 1070 | 7990 | 20 | 4984 | 12000 | 42 |
| 1190 | 9944 | -55 | 7571 | 12000 | 63 |
| -1220 | 10992 | 79 | 8361 | 12000 | 70 |
| 1310 | 11686 | 145 | 8845 | 12000 | 74 |

La tabla 4.3 muestra una situación muy similar a la Tabla 4.2. Los valores de los mayores esfuerzos producidos durante la prueba de cargas sostenidas sobre el sistema están dentro de los límites de permisibilidad indicados en ASME B31.1. Sin embargo en el nodo 1310 se produce un esfuerzo de 8845 lbs/in^2 , es decir, el 74% del valor máximo permitido. Esta situación también debe ser mantenida en caso de que se realicen mejoras al sistema por alguna otra razón.

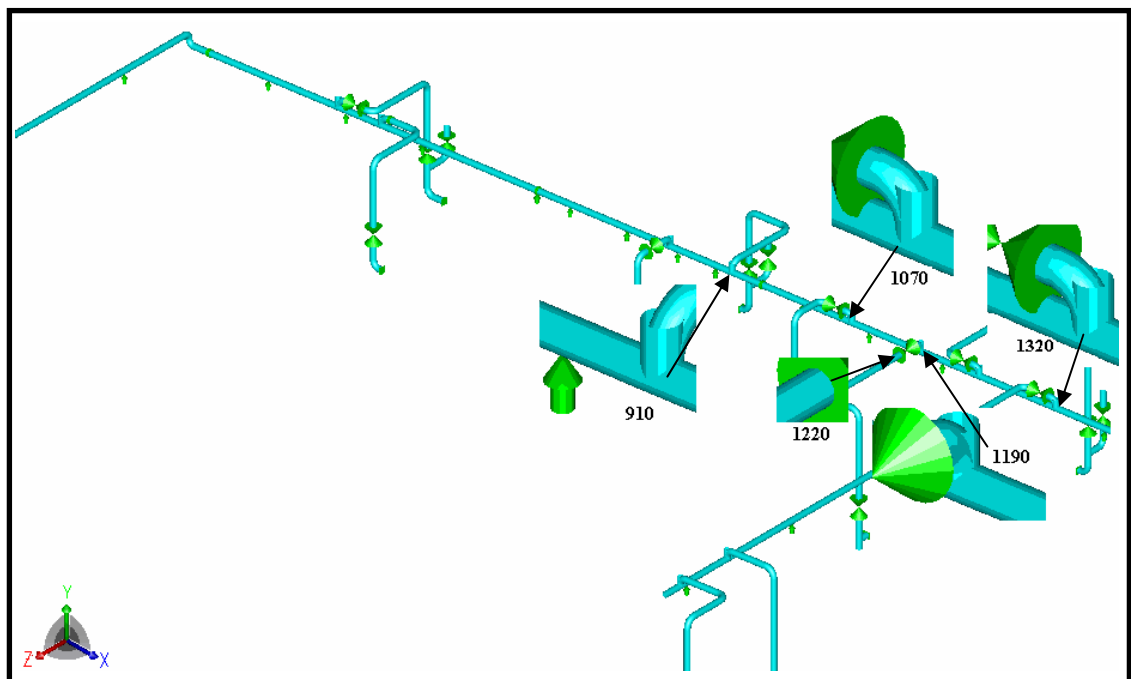


Figura 4.2. Posición de los nodos más críticos en el cabezal de 20 lbs por cargas de sustentación.

4.2.3. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS.

A continuación se presentan la tabla 4.4 y la figura 4.3 donde se encuentran los mayores esfuerzos del Cabezal de 20 lbs cuando sobre actúan las cargas ocasionadas debido a expansiones térmicas, respecto al código B31.1.

Tabla 4.4. Mayores Esfuerzos debido a la dilatación térmica en el cabezal de 20 lbs.

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 910 | 16940 | -1794 | 23499 | 27086 | 86 |
| 1070 | 15365 | -885 | 15748 | 28640 | 55 |
| 1190 | 14748 | 7 | 14748 | 27052 | 54 |
| 1310 | 14804 | 313 | 14855 | 29644 | 50 |
| 1480 | 16074 | 427 | 16160 | 29624 | 55 |

La tabla 4.4 refleja la misma situación de las dos anteriores. Cuando sobre el cabezal de 20 lbs actúan cargas térmicas; no se producen esfuerzos que sobrepasen los indicados por la norma, hallando como nodo más crítico para esta situación el nodo 910 el cual presenta un esfuerzo de 86% al permisible según la norma. Al igual que como se comentó anteriormente, esta situación debe ser mantenida en caso que se realice alguna mejora necesaria producto de otro problema.

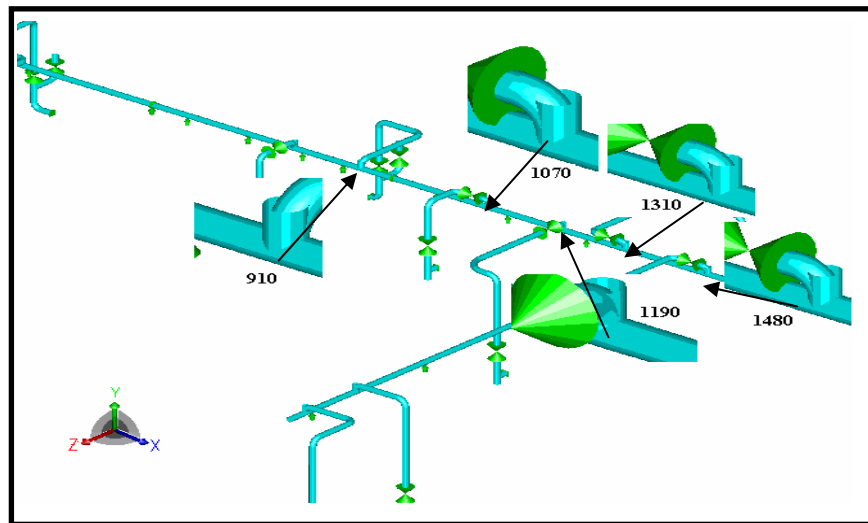


Figura 4.3. Posición de los nodos más críticos en el cabezal de 20 lbs debido a cargas por dilatación térmica.

Los resultados del Análisis de Flexibilidad Diagnóstico del Cabezal de 20 lbs indican que éste presenta problemas de flexibilidad según lo indicado por la norma ASME B31.1. Sin embargo, aun falta por verificar que las boquillas de los equipos que se encuentran conectados a él se encuentren en la misma situación.

4.3. EVALUACIÓN DE ESFUERZOS EN EL CABEZAL DE 180 LBS.

En esta sección se encontrarán una serie de tablas y figuras que detallan las condiciones actuales de esfuerzos del cabezal de 180 lbs.

4.3.1. ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA

A continuación se muestran la tabla 4.5 y la figura 4.4 donde se observan los mayores esfuerzos producto de esta prueba en el Cabezal de 180 Lbs.

Tabla 4.5 Mayores Esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debido a prueba hidrostática

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 670 | 27042 | 1544 | 21487 | 13800 | 156 |
| 1110 | 34930 | 0 | 26767 | 13800 | 194 |
| 1240 | 34079 | 0 | 22726 | 13800 | 165 |
| 1350 | 24022 | -19 | 18586 | 13800 | 135 |
| 1480 | 25572 | -319 | 19807 | 13800 | 144 |
| 1780 | 23647 | 1341 | 18908 | 13800 | 137 |

La tabla 4.5 indica que algunos de los mayores esfuerzos producidos sobre el cabezal de 180 lbs durante la prueba hidrostática superan considerablemente los esfuerzos máximos permitidos por la norma. Estos resultados en el cabezal de 180 lbs

requieren la generación de modificaciones en el cabezal que permitan solventar la situación antes señalada.

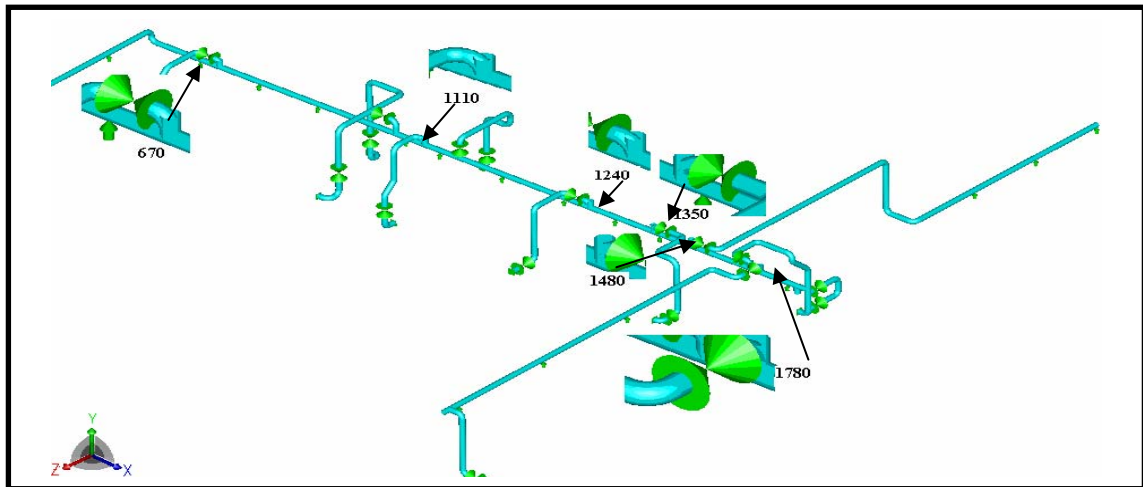


Figura 4.4. Posición de los nodos más críticos en el cabezal de 180 lbs por cargas de prueba hidrostática.

4.3.2. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS.

A continuación se presentan la tabla 4.6 y las figuras 4.5 donde se encuentran los mayores esfuerzos del Cabezal de 180 lbs cuando sobre él se simulan las cargas constantes en el tiempo con respecto al código B31.1.

Tabla 4.6 Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs cuando sobre el actúan cargas constantes en el tiempo.

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 420 | 27042 | 1544 | 21297 | 12000 | 177 |
| 1350 | 34930 | 0 | 26577 | 12000 | 221 |
| 1480 | 34079 | 0 | 22536 | 12000 | 188 |
| 1540 | 24022 | -19 | 18396 | 12000 | 153 |
| 1590 | 25571 | -319 | 19616 | 12000 | 163 |
| 1780 | 23646 | 1341 | 18749 | 12000 | 156 |

La tabla 4.6 refleja información muy similar y concordante a la de la tabla anterior. Los mayores esfuerzos del Cabezal de 180 lbs durante la prueba de Cargas Sostenidas se encuentran totalmente fuera de lo permitido por el código ASME B31.1. Con esta tabla se confirma nuevamente la necesidad de modificaciones que mejoren el Cabezal y solvante la situación.

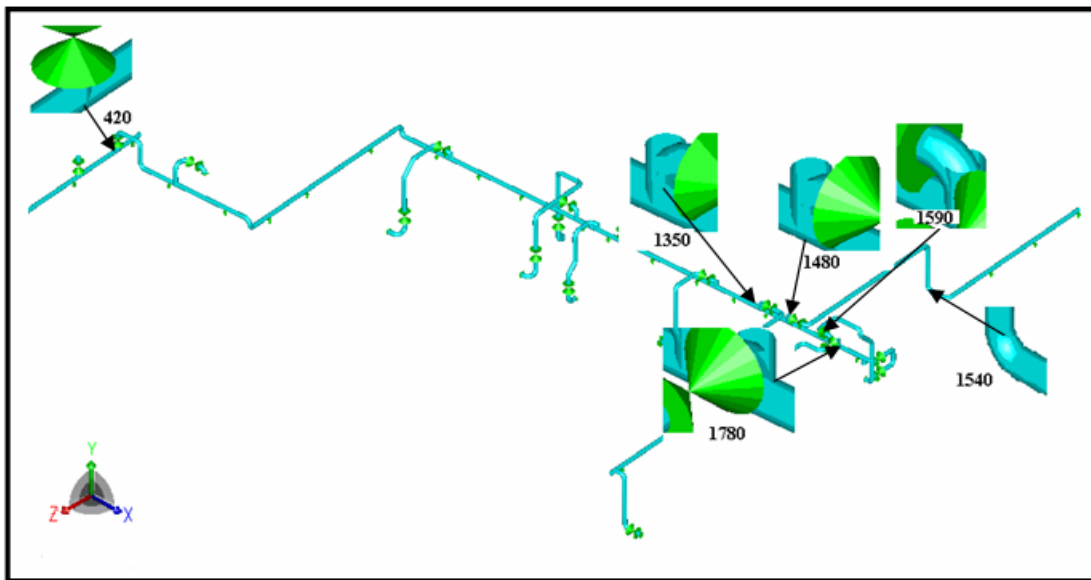


Figura 4.5. Posición de los nodos más críticos en el cabezal de 180 lbs por cargas de sustentación.

4.3.3. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS.

A continuación se presentan la tabla 4.7 y las figuras 4.6 donde se encuentran los nodos más críticos o mayores esfuerzos del Cabezal de 180 lbs cuando sobre él se simulan las cargas ocasionadas debido a expansiones térmicas.

Tabla 4.7. Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debidos a cargas de expansiones térmicas.

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | (%) |
| 420 | 19120 | 6384 | 98920 | 26424 | 171 |
| 510 | 100430 | 271 | 100514 | 23506 | 192 |
| 850 | 42853 | -3079 | 63464 | 24882 | 238 |
| 1590 | 38426 | -2625 | 55401 | 18155 | 260 |
| 1760 | 31300 | -4360 | 40608 | 23912 | 170 |

La tabla 4.7, junto con las dos tablas que la anteceden, indica que el cabezal de 180 lbs tiene problemas de flexibilidad. Los valores de sus mayores esfuerzos en el modelado de cargas térmicas superan los estipulados por la norma ASME B31.1.

La tabla 4.6 muestra resultados que podrían llegar a ser desconcertantes ya que muestra valores de esfuerzos de hasta dos veces el valor máximo permitido por la norma. Sin embargo es importante acotar que este tipo de valores es impreciso ya que el software sólo trabaja dentro del rango de elasticidad del material. En la realidad se conoce la curva de esfuerzo deformación donde luego del rango de elasticidad, el material comienza a deformarse plásticamente con un incremento de esfuerzos menor. Además, el software es principalmente una herramienta de diseño por lo que el modelo generado se encuentra totalmente dentro de su rango elástico mientras que el sistema actual real puede tener deformaciones plásticas que hayan disipado parte de estos esfuerzos.

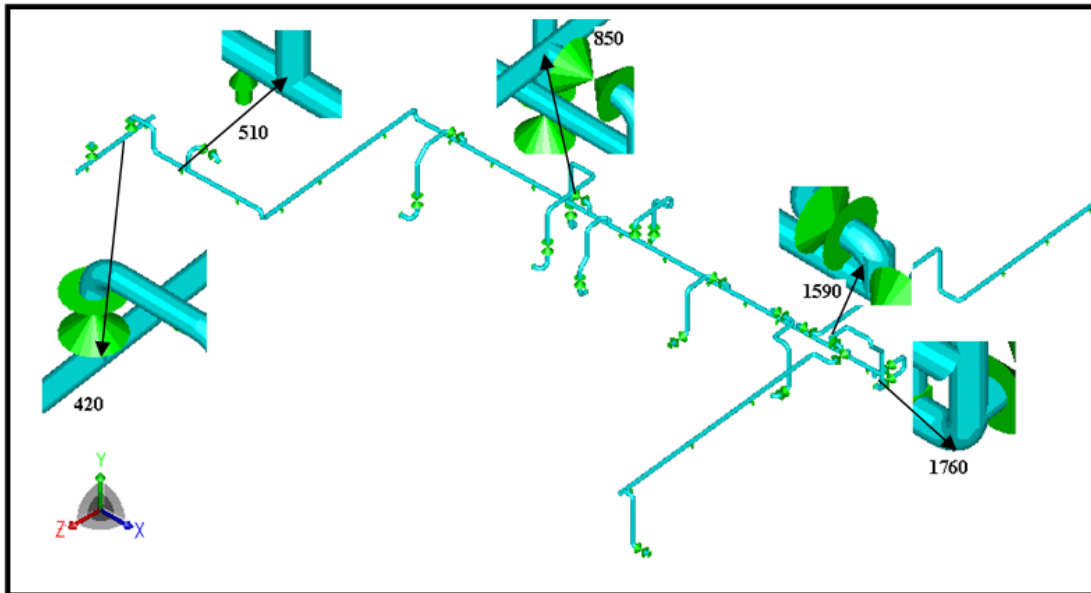


Figura 4.6. Posición de los nodos más críticos en el cabezal de 180 lbs debidos a cargas expansiones térmicas.

4.4. Propuestas de Mejoras para el Sistema de Cabezales de Vapor.

Una vez hecho el estudio diagnóstico de esfuerzos del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 y habiendo identificado aquellas partes del sistema que requerían ser modificadas, se procedió a generar los modelos computarizados del Sistema con modificaciones que le permitieran estar dentro de los límites de esfuerzos indicados por el código ASME B31.1.

El sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3, como ya se indicó antes se encuentra en un espacio altamente congestionado por tuberías de distinta índole. Esta situación dificulta las rutas de mejoras que puedan ser implementadas para solucionar los problemas de flexibilidad de Sistema. Como consecuencia de lo anterior, se decidió proponer dos modelos de solución: uno de ellos basado en la instalación de lazos de expansión; mientras que la segunda propuesta plantea la reubicación de

algunos soportes ajustados a los espacios disponibles del entorno en el que se encuentran el cabezal de 180 lbs.

A continuación se presentan las dos propuestas de mejoras generadas para el sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3, así como también sus respectivos análisis de flexibilidad. Igual al sistema actual, cada propuesta fue analizada por separado; en el cabezal de 180 lbs que es el que presenta problemas, y así evaluar el funcionamiento del cabezal con las mejoras implementadas. Al igual que el modelo del sistema actual, las propuestas fueron evaluadas en el mismo software, Caesar II V.4.5.

Las propuestas de mejoras del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 fueron concebidas con el siguiente objetivo: Evitar que el sistema sobrepase los esfuerzos permitidos por la norma ASME B31.1 cuando se modelan la prueba de presión de agua, las cargas sostenidas y las expansiones térmicas.

4.4.1. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA DE CABEZALES DE VAPOR MEDIANTE LA REUBICACION DE ALGUNOS SOPORTES

Como ya se dijo antes esta propuesta consiste, entre otras cosas, en la implementación o colocación de soportes a lo largo del cabezal de 180 lbs, que la requiere para absorber los las cargas que inciden sobre los nodos mas críticos. Dichos cambios siempre adaptados a las limitaciones de espacio del entorno del sistema. Al igual que en el sistema actual, los valores máximos de esfuerzos de esta propuesta están regidos por la norma ASME B31.1

A continuación se presentan las Figuras 4.7 y 4.8 que muestran el modelo y detalles del mismo de la propuesta de mejoras del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 mediante la implementación de algunos soportes, fue necesario realizar una propuesta de corrección al diseño original observada en la figura 4.8 del sistema

de cabezales la unidad DA-3, efectuando una modificación en la que se agregaron soportes entre los nodos 890 - 900 (denominado 895) a una distancia de 13 pulg del nodo 900 en la dirección del eje z positivo, 960-970 (denominado 965) en la dirección del eje Z negativo a una distancia de 10 pulgadas y entre los nodos 1020-1030 denominado 1025 en la dirección del eje Z positivo a una distancia de 26 pulgadas (ver figura 4.10).

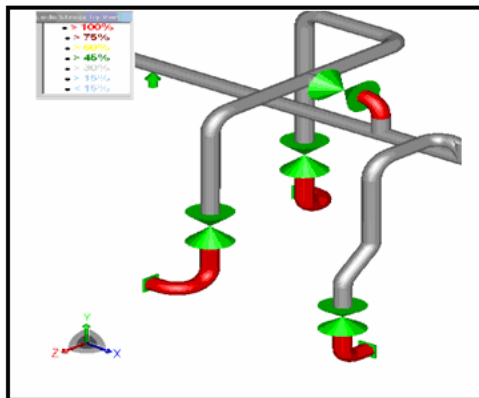


Figura 4.7 detalle de algunos nodos críticos

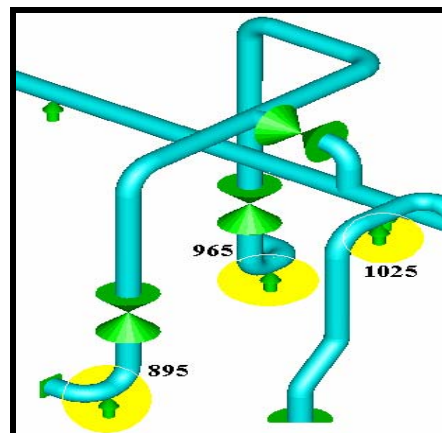


Figura 4.8 propuesta de mejora mediante la reubicación de soportes

En esta sección se muestran una serie de tablas que describen las condiciones de esfuerzos de la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes

4.4.1.2 ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA.

A continuación se muestran la tabla 4.8 y las figuras 4.9 y 4.6 que describen los mayores esfuerzos de la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes cuando es evaluada la simulación de la prueba de presión de agua.

Tabla 4.8. Mayores Esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debidos a prueba hidrostática

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 670 | 2998 | 202 | 7915 | 13800 | 57 |
| 1110 | 5785 | -202 | 11079 | 13800 | 80 |
| 1240 | 6480 | 403 | 10860 | 13800 | 79 |
| 1350 | 13651 | 33 | 10810 | 13800 | 78 |
| 1480 | 12685 | -970 | 10631 | 13800 | 77 |

La tabla 4.8 muestra como la propuesta mediante la colocación de soportes no presenta problemas de flexibilidad durante la simulación de la prueba hidrostática al tener los mayores esfuerzos por debajo de aquellos indicados por la ASME B31.1.

4.4.1.2. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS

A continuación se presentan la tabla 4.9 que describe el comportamiento de la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 cuando es simulado sobre el modelo computarizado el escenario de cargas sostenidas.

Tabla 4.9 Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs cuando sobre el actúan cargas constantes en el tiempo

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 420 | 9130 | 497 | 9578 | 12000 | 79 |
| 1350 | 8972 | -17 | 8986 | 12000 | 74 |
| 1480 | 5785 | -202 | 9319 | 12000 | 77 |
| 1540 | 6480 | 403 | 9100 | 12000 | 75 |
| 1590 | 13651 | 33 | 10620 | 12000 | 83 |

La tabla 4.9 refleja como la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes ha solucionado los problemas de cargas sostenida en el cabezal de 180 lbs. Los mayores esfuerzos de la propuesta tienen valores que no superan los indicados en la norma ASME B31.1.

4.4.1.3. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS.

A continuación se presentan la tabla 4.10 que describe los mayores esfuerzos de la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes en el cabezal de 180 lbs cuando sobre el modelo se simula el escenario de cargas térmicas.

Tabla 4.10. Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debidos a cargas de expansiones térmicas.

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 520 | 1331 | -2044 | 18611 | 26424 | 70 |
| 1210 | 3481 | -5403 | 17656 | 23506 | 75 |
| 1240 | 12664 | 1446 | 15508 | 24882 | 62 |
| 1700 | 12127 | 1526 | 17686 | 23706 | 74 |
| 1740 | 16924 | 165 | 16930 | 23912 | 71 |

La tabla 4.10 refleja los resultados de la simulación de la aplicación de cargas térmicas sobre la propuesta de mejoras mediante la colocación de soportes en el cabezal de 180 lbs. Es posible ver la marcada diferencia de la mejora que se le ha hecho al sistema. Todos los esfuerzos de esta prueba, al igual que en las dos tablas anteriores, están por debajo de los máximos permitidos por la ASME B31.1.

4.4.2. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA DE CABEZALES DE VAPOR MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE LAZOS DE EXPANSION TRIDIMENSIONALES.

La propuesta de mejoras del Sistema mediante la implementación de lazos de expansión consiste realizar la simulación del modelo generado colocando lazos de expansión tridimensionales para reducir los esfuerzos de la tubería. Este tipo de lazos fue escogido en vista de que agrega mayor flexibilidad que el lazo en dos dimensiones. Debido a los problemas de espacio en el entorno del sistema, el lazo de expansión tridimensional provee mayor flexibilidad ocupando un menor espacio.

Al igual que en los casos anteriores, esta propuesta de mejoras debe cumplir con lo estipulado por la norma, ASME B31.1 para las tuberías de generación de potencia.

La propuesta cuenta con la implementación de tres pequeños lazos de expansión tridimensionales a lo largo del cabezal de 180 lbs. La ubicación y tamaño de los lazos estuvo determinada por el espacio disponible, por lo que sólo se pudieron colocar en lugares donde no interfirieran con algún ramal hasta algún equipo ni con las otras tuberías de proceso y control de la unidad DA-3.

A continuación se presentan las Figuras 4.9, 4.10, 4.11, y 4.12 que muestran el modelo y detalles del mismo de la propuesta de mejoras del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-1 mediante la implementación de lazos de expansión tridimensionales.

Lazo N° 1 ubicado entre los nodos 335-350 compuesto por los nodos 340, 341, 342, 343, 344, y 345 posee dimensiones de 36 pulg en la dirección del eje Y positivo, 48 pulg en la dirección X negativo, 36 pulg en la dirección del eje Z.

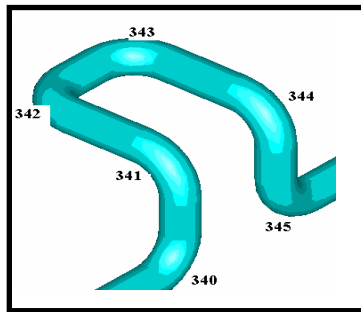


Figura 4.9 lazo N° 1

Lazo N° 2 ubicado entre los nodos 610-630 compuesto por los nodos 620, 625, 626, 627, 628, y 629 posee dimensiones de 36 pulg en la dirección del eje Y positivo, 36 pulg en la dirección X negativo, 48 pulg en la dirección del eje Z.

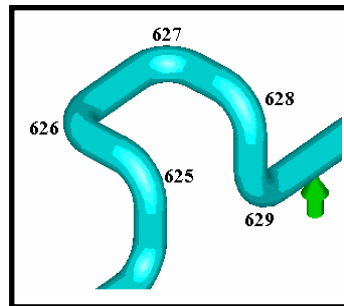


Figura 4.10 lazo N° 2

Lazo N° 3 ubicado entre los nodos 1830-1850 compuesto por los nodos 1840, 1841, 1842, 1843, 1844, y 1845 posee dimensiones de 24 pulg en la dirección del eje Y positivo, 36 pulg en la dirección X negativo, 36 pulg en la dirección del eje Z.

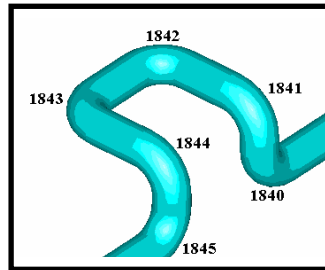


Figura 4.11 lazo N° 3

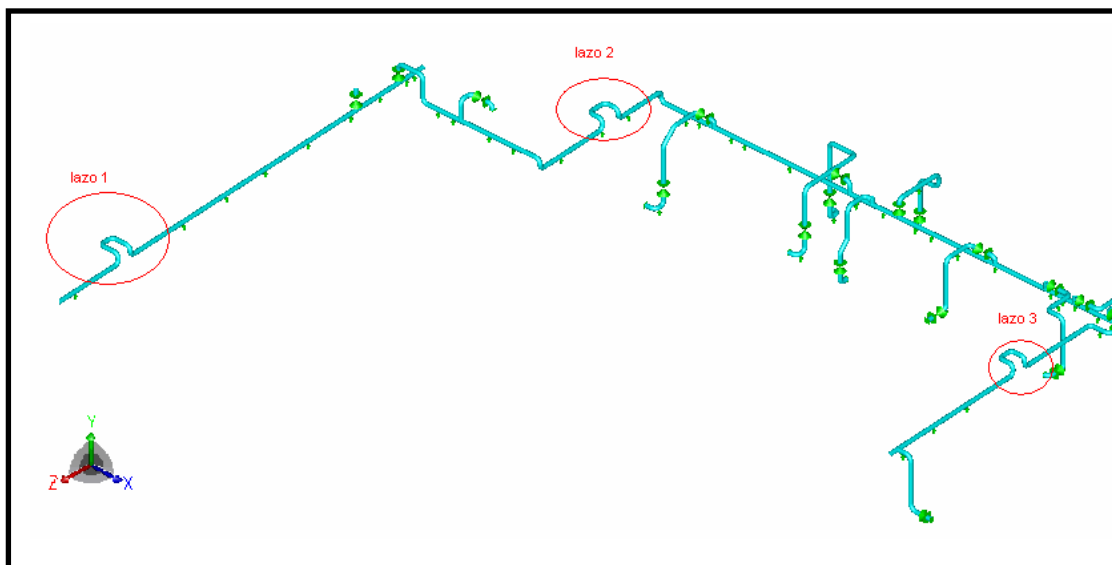


Figura 4.12 Propuesta de mejoras mediante lazos de expansión tridimensionales.

4.4.2.1 EVALUACIÓN DE ESFUERZOS DE LA PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA DE CABEZALES DE VAPOR DE LA UNIDAD DA-3 MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAZOS DE EXPANSIÓN TRIDIMENSIONALES.

En esta sección se muestran una serie de tablas y figuras que describen las condiciones de esfuerzos de la propuesta de lazos de expansión tridimensionales.

4.4.2.2. ESFUERZOS DEBIDOS A PRUEBA HIDROSTÁTICA.

A continuación se muestran la Tabla 4.11 que describe los mayores esfuerzos de la propuesta de mejoras de lazos de expansión tridimensionales cuando es evaluada la prueba de presión de agua.

Tabla 4.11. Mayores Esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debidos a prueba hidrostática

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 280 | 9131 | 497 | 10707 | 13800 | 77 |
| 680 | 2998 | 202 | 7915 | 13800 | 57 |
| 700 | 5785 | 202 | 9079 | 13800 | 65 |
| 730 | 6480 | 403 | 10860 | 13800 | 78 |
| 1380 | 12685 | -970 | 10630 | 13800 | 77 |

La tabla 4.11 muestra los mayores esfuerzos de la propuesta de lazos de expansión durante la simulación de la prueba de presión de agua, en ella es posible apreciar que los problemas de flexibilidad fueron solucionados y que ahora todos los esfuerzos se encuentran en valores menores que los máximos permitidos por la norma ASME B31.1.

4.4.2.3. ESFUERZOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS.

A continuación se presentan la tabla 4.12 que describen el comportamiento de la propuesta de mejoras de lazos de expansión tridimensionales del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 cuando es simulado sobre el modelo computarizado el escenario de cargas sostenidas.

Tabla 4.12 Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs cuando sobre el actúan cargas constantes en el tiempo

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 280 | 9129 | 497 | 9578 | 13800 | 69 |
| 610 | 8972 | -17 | 8986 | 13800 | 65 |
| 700 | 5785 | -202 | 9319 | 13800 | 67 |
| 880 | 11899 | 167 | 9017 | 13800 | 65 |
| 1380 | 12685 | -970 | 10334 | 13800 | 74 |

La tabla 4.12 refleja como la propuesta de lazos de expansión ha solucionado los problemas de flexibilidad cuando en el modelo se evalúan las cargas de sustentación. Los valores de esfuerzos arrojados por el programa en este caso fueron todos menores que los máximos permitidos por la norma ASME B31.1.

4.4.2.4. ESFUERZOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS.

A continuación se presentan la tabla 4.13 que describe los mayores esfuerzos de la propuesta de lazos de expansión tridimensionales cuando sobre el modelo se simula el escenario de cargas térmicas.

Tabla 4.13. Mayores esfuerzos en el cabezal de 180 lbs debidos a cargas de expansiones térmicas.

| Nodo | Esfuerzos (lbs/ in ²) | | | | Porcentaje (%) |
|------|-----------------------------------|---------|------------|------------|----------------|
| | Flexión | Torsión | Resultante | Permisible | |
| 650 | 1331 | -2044 | 18611 | 26424 | 70 |
| 1190 | 3481 | -5403 | 15656 | 23506 | 66 |
| 1290 | 23029 | 320 | 13212 | 24882 | 53 |
| 1390 | 25687 | 220 | 15818 | 23706 | 67 |
| 1930 | 11741 | 1517 | 11388 | 23912 | 47 |

La tabla 4.13 muestra como la propuesta de lazos de expansión soluciona los problemas de flexibilidad del sistema cuando sobre él se simula el escenario de cargas por expansiones térmicas. Todos los valores de esfuerzos arrojados por el programa están por debajo de los máximos permitidos por la norma ASME B31.1.

Las tres tablas anteriores reflejan, que al igual que la propuesta de mejoras del sistema de cabezales de vapor mediante la reubicación de soportes, la propuesta de lazos de expansión es viable desde el punto de vista de flexibilidad del sistema. Por ende, al igual que en la propuesta anterior, sólo queda generar la ingeniería de detalle de la misma para que posteriormente la empresa pueda generar un análisis costo – riesgo – beneficio y así aprobar o no su implementación.

4.5 Resumen de Resultados

Cabezal de 20 lbs

No requirió de modificaciones ya que los esfuerzos que se obtuvieron en la simulación no superan a los esfuerzos permisibles según la norma ASME B 31.1

Cabezal de 180 lbs

Tabla 4.14 nodos problemas y posibles soluciones


| Nodos problemas | Propuestas de Posibles soluciones | Dimensiones |
|------------------------|--|---|
| 420, 510 | Lazo de expansión N° 1 Ubicado entre los nodos 335 y 350. | Las dimensiones de las propuestas se encuentran en las secciones 4.4.1 y 4.4.2 de este capítulo |
| 670 | Lazo de expansión N° 2 Ubicado entre los nodos 620 y 630 | |
| 850, 1110 | Restricción en el eje Y + ubicada en el nodo 845 | |
| 1240, 1350,1480 | Restricción en el eje Y + ubicada en el nodo 1025 | |
| 1540, 1590 | Restricción en el eje Y + ubicada en el nodo 1545 | |
| 1760 | Restricción en el eje Y + ubicada en el nodo 1725 | |
| 1780 | Lazo de expansión N° 3 Ubicado entre los nodos 1830 y 1850 | |


CAPITULO V


CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES


5.1 CONCLUSIONES


El análisis estático de flexibilidad realizado a los cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3 de la Refinería Puerto la Cruz, generó una serie de resultados que permiten concluir que:


-  La evaluación del sistema de cabezales de vapor de la unidad de destilación atmosférica DA-3, a través del software CAESAR II V 4.5 dio como resultado la existencia de puntos que excedían los esfuerzos admisibles al el código ASME B31.1

-  El análisis estático de flexibilidad realizado al sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 de la Refinería de Puerto La Cruz fue determinante para verificar que existen problemas de flexibilidad principalmente en el cabezal de 180 lbs.





-  Los problemas de flexibilidad por cargas sostenidas ocasionados fundamentalmente por la ausencia de soportes en el sistema fueron solucionados mediante la mejora en el sistema de soportería de las tuberías.

-  Los lazos de expansión tridimensionales colocados en el cabezal de 180 lbs resultan ser una excelente propuesta para solucionar los problemas de flexibilidad para el caso de dilatación térmica, puesto que la instalación de estos lazos es mucho más económica en comparación con la instalación y mantenimiento de juntas de expansión, además los lazos de expansión permite mayor libertad a los desplazamientos por cargas térmicas.

-  Con el estudio de flexibilidad de las propuestas realizadas logra resolver el problema de altos niveles de esfuerzos, lo cual refleja la importancia de los lazos de expansión y de la reubicación de soportes en un sistema de tuberías.

-  La evaluación de las propuestas generadas para este sistema cumple de manera satisfactoria con los esfuerzos permisibles por el código ASME B31.1 para el caso de prueba hidrostática, carga sostenidas y para el caso de expansiones térmica.






5.2 RECOMENDACIONES

-  Se debería realizar un análisis dinámico de flexibilidad al sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 en vista de que este se encuentra conectado a equipos rotativos que generan vibraciones.
-  Luego de generar la ingeniería de detalle de las propuestas de mejoras del sistema de cabezales de vapor de la unidad DA-3 de la Refinería de Puerto La Cruz es recomendable que la empresa realice un estudio de confiabilidad de las mismas y determine cual de las opciones es más conveniente.
-  Realizar las modificaciones propuestas en el análisis, para garantizar configuraciones lo suficientemente flexibles que sean capaces de soportar las expansiones y contracciones provocadas por las cargas debidas al peso, presión y temperatura a las cuales están sometidos los sistemas de tuberías
-  Consultar a la sección de ingeniería de instalaciones sobre cualquier modificación o duda, sobre la propuesta de este sistema en el momento de ejecutar este proyecto.


BIBLIOGRAFIA CITADA

- [1] PDVSA Oriente, **“Manual instructivo de la Refinería Puerto La Cruz”**, Puerto la Cruz (2003)
- [2] Corrales, J. y Neptune, J. **“Estudio dinámico de flexibilidad del sistema de bombeo de residual de la Refinería Puerto la cruz”**. UDO. Puerto la Cruz .Venezuela (2001).
- [3] Molero Ysrael **“Análisis de Flexibilidad en las líneas de Succión y Descarga de las bombas GA-15-10 Y GA-7-10 de la casa de bombas en la Refinería de Puerto La Cruz”**, Unefa, Puerto Cabello (2004)
- [4] Rodrigo E. Armas, **“Análisis Estático de Flexibilidad de los Cabezales de Vapor de la Unidad DA-1 de la Refinería de PLC”**. (2007)
- [5] PDVSA. **“Libro de la Refinería de Puerto La Cruz”**. (1998).
- [6] Flexilatina Venezuela C.A **“Análisis estática de tensiones en tuberías-flexibilidad”** Puerto la cruz (2006)
- [7] Representaciones Caesar, **“Curso de Análisis de Esfuerzo en Tuberías”**, Dictado por Ing. Reynaldo Pinto, Refinería Puerto La Cruz, (2000).
- [8] FERDINAND P. BEER-E. RUSSEL JOHNSTON, JR **“MECANICA DE MATERIALES”**, 2^{da} Edición, editorial McGraw-Hill, Colombia (1993)
- [9] EGOR P POPOV, **“MECANICA DE MATERIALES”**, 9^{na} Edición, Editorial LIMUSA, México (1995)
- [10] Código ASME, **“ASME Code for Process Piping B31.1”**, USA (2002).
- [11] COADE, Engineering Software, **“CAESAR II Technical referente Manual”** Version 4.5 (2003)

**BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL**

-  Hurtado J.: **“Metodología de la investigación Holística”**, 3^a Edición. Editorial Sypal. Caracas (2000).
-  Rojas, C.: **“Manual para la Elaboración del proyecto y de la Tesis de Pregrado en Ingeniería”**, Puerto La Cruz, Venezuela (1998).
-  Bestillero, M. **“Introducción al análisis de flexibilidad de sistemas de tuberías”**, Mayo (2005).
-  Bastardo y Valdivia **“Mejoras al Sistema de Retiro y Condensado e Ingeniería Básica para el Diseño del Sistema de Recolección y Retorno de Condensado de DA-1 hacia Servicios Industriales”**, (2005).
-  PDVSA, **“Norma PDVSA H-221 Materiales de Tuberías”**, (1992)

ANEXOS

“TODOS LOS ANEXOS SE ENCUENTRAN DENTRO DEL CD ADJUNTO A ESTA TESIS, EN EL MISMO ORDEN QUE SE ENCUETRA LA SIGUENTE LISTA DE ANEXO”.

**LISTA DE ANEXOS****ANEXO A**

PLANOS ISOMETRICOS DEL SISTEMA DE CABEZALES

ANEXO B

DIAGRAMA DEL PROCESO DE LA UNIDAD DA-3

ANEXO C

FACTORES DE INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZO

ANEXO D

REPORTES DE ESFUERZOS POR SUSTENTACION DEL SISTEMA

ANEXO E

REPORTES DE ESFUERZOS POR DILATACION TERMICA DEL SISTEMA

ANEXO F

REPORTES DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS AL SITEMA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

| | |
|------------------|--|
| TÍTULO | "ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LOS CABEZALES DE VAPOR DE UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-3 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ" |
| SUBTÍTULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CÓDIGO CULAC / E-MAIL |
|----------------------------|--|
| RENGEL R., YENZON R | CVLAC: 16.818.925 E-MAIL: RENGEL_49@hotmail.com E-MAIL: |
| | CVLAC: E-MAIL: |
| | CVLAC: E-MAIL: |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Análisis de esfuerzo en tuberías, flexibilidad, dilatación, sustentación.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

| ÁREA | SUBÁREA |
|----------|---------|
| MECÁNICA | SÓLIDOS |
| | |
| | |

RESUMEN (ABSTRACT):

En este trabajo se realizó el análisis estático de flexibilidad del sistema de tuberías que conforman los cabezales de vapor de 180 lbs y 20 lbs de la unidad de destilación atmosférica tres (DA-3) de la Refinería Puerto la cruz. Se analizaron los esfuerzos en el sistema producidos por prueba hidrostática, cargas sostenidas y expansiones térmicas. Se encontró que el sistema de tuberías del cabezal de 20 lbs se encuentra dentro de los límites permisibles de esfuerzos. Se determino que el cabezal de 180 lbs presenta esfuerzos por encima de los permisibles, por lo que se plantearon modificaciones al sistema. Las modificaciones consistieron de la reubicación de soportes y el uso de lazos de expansión tridimensionales. A las propuestas se le realizó un análisis estático de flexibilidad y se determinó que permiten reducir los esfuerzos encontrados en el sistema a los valores permisibles por la norma.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

| APELLIDOS Y NOMBRES | ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|------|------|------|
| | ROL | CA | AS | X TU | JU |
| CARLOS GOMES | CVLAC: | 10.305.208 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| REINALDO VEGAS | ROL | CA | X AS | TU | JU |
| | CVLAC: | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| CARMEN GARCÍA | ROL | CA | AS | TU | X JU |
| | CVLAC: | 3.792.282 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| ANTONIO FRANCO | ROL | CA | AS | TU | X JU |
| | CVLAC: | 8.339.792 | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| | | |
|------------|------------|------------|
| 2009 | 04 | 04 |
| AÑO | MES | DÍA |

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|-------------------|--------------------|
| YENZON.doc | Application/msword |
| | |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:
INGENIERO MECÁNICO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:
PRE-GRADO

ÁREA DE ESTUDIO:
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

INSTITUCIÓN:
UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad De Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el Consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al consejo Universitario .”

AUTOR

RENGEL, YENZON R.

TUTOR

CARLOS GOMES

JURADO

Carmen García

JURADO

ANTONIO FRANCO

COORDINADOR DE SUBCOMISIÓN DE TESIS
DELIA VILLARROEL