

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



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD AL MÚLTIPLE
PRINCIPAL DE CARGA DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ”**

Realizado por:

JACKSON ALFREDO BUSTAMANTE CARDENAS

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2010

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



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD AL MÚLTIPLE
PRINCIPAL DE CARGA DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ”**

Realizado por:

JACKSON ALFREDO BUSTAMANTE CARDENAS

ASESORES

Ing. Gaetano Sterlacci

Asesor Académico

Ing. Rhonald Fuentes.

Asesor Industrial

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2010

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



**“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD AL MÚLTIPLE
PRINCIPAL DE CARGA DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ”**

JURADO:

El jurado hace constar que asigno a este Trabajo de Grado la calificación de:

APROBADO

Ing. Gaetano Sterlacci

Asesor Académico

Ing. Félix Payares
Jurado Principal

Ing. Carlos Da Silva
Jurado Principal

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

**“LOS TRABAJOS DE GRADO SON PROPIEDAD DE LA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER
UTILIZADOS PARA OTROS FINES CON EL
CONSENTIMIENTO DEL NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL
LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”**

DEDICATORIA

Esta Tesis se la dedico a Dios y Mis Padres.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por darme la oportunidad, la capacidad y la fuerza para lograr esta meta y por estar conmigo en todo momento.

A mis Padres gracias, este logro es en gran parte de Uds. por todo sus esfuerzos, por sus consejos, por su apoyo, por todo el amor, porque lo que soy se lo debo a Uds. los quiero viejos.

A Nena y Andy gracias por estar siempre pendiente, por su apoyo, por mostrarme los caminos a seguir, son una bendición tenerlos de hermanos los quiero.

A toda mi familia, abuela, tíos, tías, primos y primas que aunque no estuvieron cerca, siempre recibí su cariño y apoyo para seguir adelante.

A mi Gaby por motivarme y apoyarme siempre, por compartir esta etapa de mi vida y hacerla inolvidable.

A la Familia Sabino D'Aubeterre por su receptividad y cariño brindado durante mi carrera, siempre estaré agradecido.

A él Depto. de Ing. de instalaciones en PDVSA Refinería Puerto La Cruz, por la oportunidad de realizar este proyecto y por el apoyo, dedicación y experiencia recibida.

A todos mis amigos, en especial a los del Depto. de Ing. Mecánica, gracias por compartir todos esos buenos momentos durante la carrera.

A todos Muchas Gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó un Análisis Estático de Flexibilidad del Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto la Cruz, empleando el software de análisis de esfuerzos en tuberías CAESAR II. Se obtuvieron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, en tres casos diferentes de funcionamiento del sistema, estos esfuerzos se compararon con los permisibles por el código ASME B31.3, además se obtuvieron también las cargas sobre los pórticos que sostienen las tuberías que van hacia los tanques de carga. De los esfuerzos obtenidos en el sistema se registraron puntos en el sistema que se encuentran fuera de los límites de esfuerzos permisibles, tanto por cargas de expansión térmica como por cargas sostenidas. Debido a esto se realizaron propuestas donde se implementaron unos lazos de expansión para aliviar las cargas y desplazamientos excesivos encontrados y un soporte tipo +Y. Seguidamente se realizó un análisis de flexibilidad en el modelo propuesto, donde se verificó que el sistema se encuentra bajo los valores permisibles por los códigos y estándares internacionales de diseño.

CONTENIDO

	Pág.
RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN	18
1.1 Reseña histórica	18
1.2 Descripción general de la empresa.....	18
1.3 Ubicación geográfica.	20
1.4 Visión, misión, valores y objetivos de la corporación.	21
1.4.1 Visión:	21
1.4.2 Misión:	21
1.4.3 Valores:	21
1.4.4 Objetivos corporativos.	21
1.5 Organigrama de la empresa.....	22
1.6 Planteamiento de problema.	24
1.7 Objetivos	26
1.7.1 Objetivo general.....	26
1.7.2 Objetivos específicos.	26
CAPÍTULO II	27

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	27
2.1 Antecedentes.....	27
2.2 Sistemas de tuberías.....	28
2.3 Análisis de esfuerzos en tuberías.....	28
2.3.1 Análisis formal.....	29
2.3.2 Análisis informal.....	29
2.4 Tipos de esfuerzos en tuberías.....	30
2.4.1 Esfuerzos longitudinales.....	31
2.4.2 Esfuerzo circunferencial.....	34
2.4.3 Esfuerzo radial.....	35
2.4.4 Esfuerzo de corte (fuerzas laterales).....	36
2.4.5 Estado tridimensional de esfuerzos en una tubería.....	38
2.5 Teorías de falla.....	40
2.5.1 Teoría de Von Misses.....	40
2.5.2 Teoría de Tresca.....	41
2.5.3 Teoría de Rankine.....	41
2.6 Bases para el cumplimiento de los códigos.....	41
2.6.1 Cargas Primarias:.....	42
2.6.2 Características de las Cargas Primarias:.....	42
2.6.3 Cargas Secundarias:.....	43
2.6.4 Características de las Cargas Secundarias:.....	43
2.7 Manejo de las expansiones térmicas.....	44
2.7.1 Junta de expansión.....	45
2.7.1.1 Junta de Expansión Deslizante (slip joint).....	46
2.7.1.2 Junta de Expansión Tipo Fuelle (bellow joint).....	46
2.7.2 Lazo de expansión.....	46
CAPÍTULO III.....	48
METODOLOGÍA.....	48

3.1	Diseño de la investigación.....	48
3.2	Tipo de investigación.....	48
3.3	Población y muestra.....	49
3.3.1	Población.....	49
3.3.2	Muestra.....	49
3.4	Descripción del área objeto de estudio.....	49
3.4.1	Múltiple principal de carga (MPC).....	49
3.4.2	Área de carga.....	52
3.5	Condición actual de operación del Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto La Cruz.....	54
3.5.1	Casos de funcionamiento del Múltiple Principal de Carga considerados a estudio.....	55
3.5.1.1	Caso 1.....	55
3.5.1.2	Caso 2.....	57
3.5.1.3	Caso 3.....	59
3.6	Etapas de la investigación.....	60
3.6.1	Inicio.....	61
3.6.2	Recopilación de la Información.....	61
3.6.3	Elaboración de Isométricos.....	61
3.6.4	Verificación de los Códigos de Diseño.....	61
3.6.4.1	Norma PDVSA H-221.....	62
3.6.4.2	Código ASME B31.3.....	63
3.6.5	Elaboración del modelo tridimensional en CAESAR II.....	67
CAPÍTULO IV.....		71
ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD.....		71
4.1	Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 1.....	71
4.1.1	Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).....	71
4.1.2	Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).....	73

4.2	Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 2.....	75
4.2.1	Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).....	75
4.2.2	Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).	77
4.3	Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 3.....	79
4.3.1	Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).....	79
4.3.2	Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).	80
4.4	Cargas estáticas ejercidas sobre la soportería del sistema en estudio (Pórticos).....	82
CAPÍTULO V		83
PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA.....		83
5.1	Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 1 de funcionamiento.	84
5.1.1	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).	84
5.1.2	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).....	86
5.2	Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 2 de funcionamiento	88
5.2.1	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).	88
5.2.2	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).....	89
5.3	Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 3 de funcionamiento	91
5.3.1	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).	91
5.3.2	Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).....	92

CAPÍTULO VI	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1 Conclusiones.....	95
6.2 Recomendaciones.....	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXO A	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO B	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO C	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ.	20
FIGURA 1.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ.....	23
FIGURA 2.2. CARGAS AXIALES DE LA TUBERÍA.....	32
FIGURA 2.3. CARGAS DEBIDAS A PRESIÓN INTERNA.	32
FIGURA 2.4 MOMENTO FLECTOR DE LA TUBERÍA.....	34
FIGURA 2.5 ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL DE LA TUBERÍA.	35
FIGURA 2.6 CARGAS QUE GENERAN EL ESFUERZO RADIAL.....	35
FIGURA 2.7 FUERZA LATERAL ACTUANDO SOBRE LA TUBERÍA.	37
FIGURA 2.8 MOMENTO DE TORSIÓN QUE ACTÚA SOBRE LA TUBERÍA.....	37
FIGURA 2.9 ESTADO DE ESFUERZOS EN UNA TUBERÍA.	39
FIGURA 2.10 CIRCULO MOHR.	39
FIGURA 2.11 TIPOS LAZOS DE EXPANSIÓN.....	47
FIGURA 3.1 MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.	51
FIGURA 3.2 AGRIETAMIENTO EN SOPORTES (PÓRTICO).	54
FIGURA 3.3 AGRIETAMIENTO EN SOPORTES (PÓRTICO).	55
FIGURA 3.4 LÍNEAS EN OPERACIÓN DEL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA EN EL CASO 1.	57
FIGURA 3.6 LÍNEAS EN OPERACIÓN DEL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA EN EL CASO 3.	60
FIGURA 3.7 SOLDADURAS TÍPICAS PARA CONEXIONES A RAMALES.....	63
FIGURA 3.8 FACTOR DE REDUCCIÓN DE ESFUERZO.....	67
FIGURA 3.9 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA REALIZADO EN EL CAESAR II.....	68
FIGURA 3.10 INTERFAZ DE DATOS EN EL SOFTWARE CAESAR II.....	69

FIGURA 4.1 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PARA CARGAS SOSTENIDAS EN EL CASO 1.	72
FIGURA 4.2 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PARA CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL CASO 1.	74
FIGURA 4.3 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO POR CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 2.	76
FIGURA 4.4 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PARA CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL CASO 2.	78
FIGURA 4.5 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO POR CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 3.	80
FIGURA 4.6 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PARA CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL CASO 3.	81
FIGURA 4.7 IDENTIFICACIÓN DE LOS NODOS QUE REPRESENTAN LOS PÓRTICOS A REDISEÑAR.	82
FIGURA 5.1 LAZOS DE EXPANSIÓN Y SOPORTE PROPUESTO PARA MEJORA DEL SISTEMA.	84
FIGURA 5.2 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, POR CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 1.	85
FIGURA 5.3 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, DEBIDO A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL CASO 1.	87
FIGURA 5.4 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, POR CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 2.	89
FIGURA 5.5 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, DEBIDO A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL CASO 2.	90
FIGURA 5.6 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, POR CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 3.	92
FIGURA 5.7 ESFUERZOS MÁXIMOS EN EL MODELO PROPUESTO, DEBIDO A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL CASO 3.	93

FIGURA C.1 DIMENSIONES DE LOS LAZOS DE EXPANSIONES PROPUESTOS PARA LA
MEJORA DEL SISTEMA. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

FIGURA C.2 DISTANCIA DESDE LA CONEXIÓN SIMPLE DE RAMAL (NODO 18150) A LA
CUAL DEBE COLOCARSE EL SOPORTE +Y PROPUESTO PARA LA MEJORA DEL
SISTEMA. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA SEGÚN NORMA PDVSA H-221	62
TABLA 3.2 ESFUERZO PERMISIBLE BÁSICO A TENSIÓN (S) PARA EL MATERIAL A-53 GR. B.....	64
TABLA 4.1. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 1, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	71
TABLA 4.2. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS PARA EL CASO 1, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	73
TABLA 4.3. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 2, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	75
TABLA 4.4. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS PARA EL CASO 2, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	77
TABLA 4.5. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 3, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	79
TABLA 4.6. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A EXPANSIONES TÉRMICAS PARA EL CASO 3, EN EL MÚLTIPLE PRINCIPAL DE CARGA.....	81
TABLA 5.1. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 1, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL.....	85
TABLA 5.2 ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL CASO 1, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL...	86
TABLA 5.3. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 2, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL.....	88
TABLA 5.4 ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL CASO 2, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL...	90
TABLA 5.5. ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS SOSTENIDAS PARA EL CASO 3, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL.....	91

TABLA 5.6 ESFUERZOS MÁXIMOS DEBIDOS A CARGAS POR EXPANSIÓN TÉRMICA PARA
EL CASO 3, EN EL MODELO PROPUESTO Y COMPARACIÓN CON ESTADO ACTUAL... 93

TABLA A.1 FACTORES DE FLEXIBILIDAD E INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN CODOS
Y CONEXIONES. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

TABLA A.1 FACTORES DE FLEXIBILIDAD E INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN CODOS
Y CONEXIONES (*CONTINUACIÓN*)..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Reseña histórica

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), es una empresa del Estado Venezolano, que se encarga del desarrollo de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera. Regida por la Ley Orgánica que reserva al Estado, la Industria y el Comercio de los Hidrocarburos.

Fue creada por decreto presidencial N°1.123 el 30 de Agosto de 1975 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.

Tras la nacionalización de la industria petrolera en 1975, el Estado Venezolano, se reserva, por razones de conveniencia nacional, todo lo relativo a la exploración del territorio nacional en busca de petróleo, asfalto y demás hidrocarburos; a la explotación de yacimientos de los mismos; a la manufactura o refinación; al transporte por vías especiales y almacenamiento; al comercio interior y exterior, y a las obras que su manejo requiera.

1.2 Descripción general de la empresa

PDVSA es responsable de las operaciones de un considerable número de filiales bajo la guía y supervisión del Ministerio de Energía y Minas. Tiene la función

de planificar, coordinar supervisar y controlar las actividades de sus empresas operadoras y filiales, tanto en Venezuela como en el exterior. Se encarga de llevar adelante actividades en materia de exploración y producción para el desarrollo de petróleo y gas, bitumen y crudo pesado de la Faja del Orinoco, producción y manufactura de Orimulsión y explotación de los yacimientos de carbón.

Las actividades en exploración están dirigidas hacia la búsqueda de nuevas reservas de crudo liviano y mediano para sustentar los planes de crecimiento de la capacidad de producción, así como para profundizar el conocimiento de áreas prospecto.

PDVSA posee uno de los planteles refinadores más grandes del mundo, incluyendo las refinerías que posee en Venezuela, el Caribe, Estados Unidos y Europa. La corporación realiza actividades de comercio y suministro nacional e internacional a través de empresas propias o en asociaciones en el exterior. Cuenta con su propia flota de tanqueros para el transporte marítimo nacional e internacional. Posee oficinas de mercadeo e inteligencia en varias ciudades de Estados Unidos y Europa.

La Refinería Puerto La Cruz, es uno de los centros de procesamientos de crudo más importantes de PDVSA e integra un circuito de manufactura del petróleo extraído en los campos de los estados Monagas y Anzoátegui.

El distrito Puerto la Cruz está formado por un Complejo Refinador, constituido por la Refinería de Puerto La Cruz (RPLC), la cual comprende tanto las instalaciones de la antigua refinería de la Venezuelan Gulf Company, ahora Refinería PDVSA área Puerto La Cruz, así como la Refinería de la Sinclair Venezuela Oíl Co. ahora refinería PDVSA área El Chaure o Unidad de Destilación Atmosférica DA-3 y la Refinería PDVSA área San Roque.

Se destaca el distrito operacional Puerto La Cruz debido a que en éste se ubica la Refinería Puerto La Cruz, está constituida por las siguientes unidades de procesos: tres unidades de destilación atmosférica llamadas DA-1, DA-2 y DA-3, Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), Alquilación, Sistema de Tratamiento de Efluentes de Proceso, Sistema de Almacenaje de Crudo y Productos, Servicios Industriales, Hidroprocesos y Tratamiento y Recuperación de Azufre. La pasantía fue realizada específicamente en el departamento de Ingeniería de Plantas, de la Superintendencia de Ingeniería de Instalaciones, de la Gerencia Técnica de la Refinería Puerto La Cruz.

1.3 Ubicación geográfica.

La refinería Puerto la Cruz está ubicada en la Costa Nor-Oriental del país al este de la ciudad de Puerto la Cruz (Ver figura 1.1), Estado Anzoátegui, tiene facilidades de acceso a través del Mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción del Sur-Oriente.

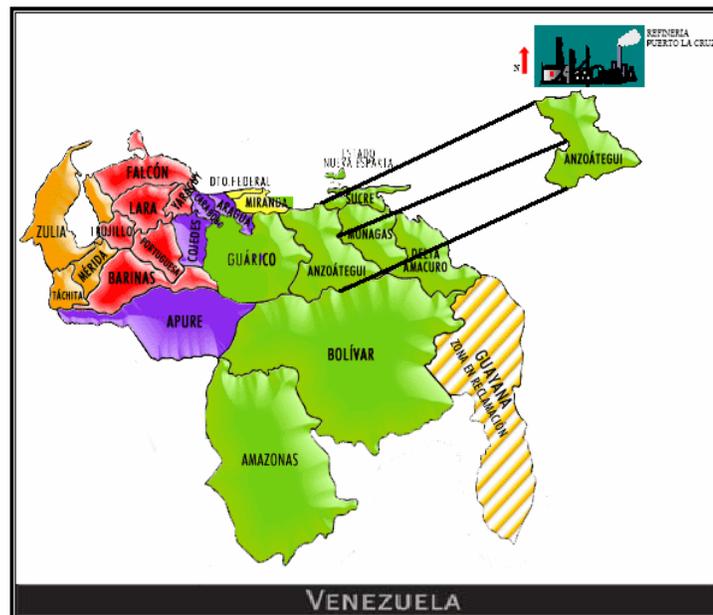


Figura 1.1 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto La Cruz.
Fuente: PDVSA ORIENTE, 2003.

1.4 Visión, misión, valores y objetivos de la corporación.

1.4.1 Visión:

Ser reconocido internacionalmente como la empresa líder de creación de valor en el negocio de producción de hidrocarburos, a través de aprovechamiento óptimo de sus yacimientos, la eficiencia operacional y la introducción oportuna de nuevas tecnologías, con gente de primera, preparada y motivada, preservando su integridad y de los activos, en total armonía con el medio ambiente y el entorno.

1.4.2 Misión:

Satisfacer las necesidades de energía de la sociedad, apoyándose en la excelencia de la gente y tecnologías de vanguardia, creando el máximo valor para la nación venezolana.

1.4.3 Valores:

Los valores de la empresa dirigen los negocios con la perspectiva de cumplir la visión y misión fundamentadas en los siguientes valores corporativos: integridad, respeto por la gente, equidad, responsabilidad social, seguridad y competitividad.

1.4.4 Objetivos corporativos.

- Incrementar las reservas de crudo, especialmente las de liviano y optimizar la explotación.
- Asegurar la disposición económica de volúmenes de crudo y productos con especial atención a los crudos pesados.

- Elaborar los productos con la calidad requerida por los mercados.
- Mantener una relación armónica con el entorno mediante el desarrollo de políticas de conservación ambiental.
- Asegurar los mejores resultados financieros.
- Asegurar que la organización desarrolle y disponga de un personal altamente calificado y mantengan los más altos estándares de calidad, protección integral y tecnológica.
- Desarrollar una cultura con un fuerte enfoque de negocio, que utiliza la calidad de gestión como instrumento normal de trabajo.

1.5 Organigrama de la empresa

Las operaciones gerenciales de la Refinería Puerto La Cruz se detallan en el siguiente organigrama:

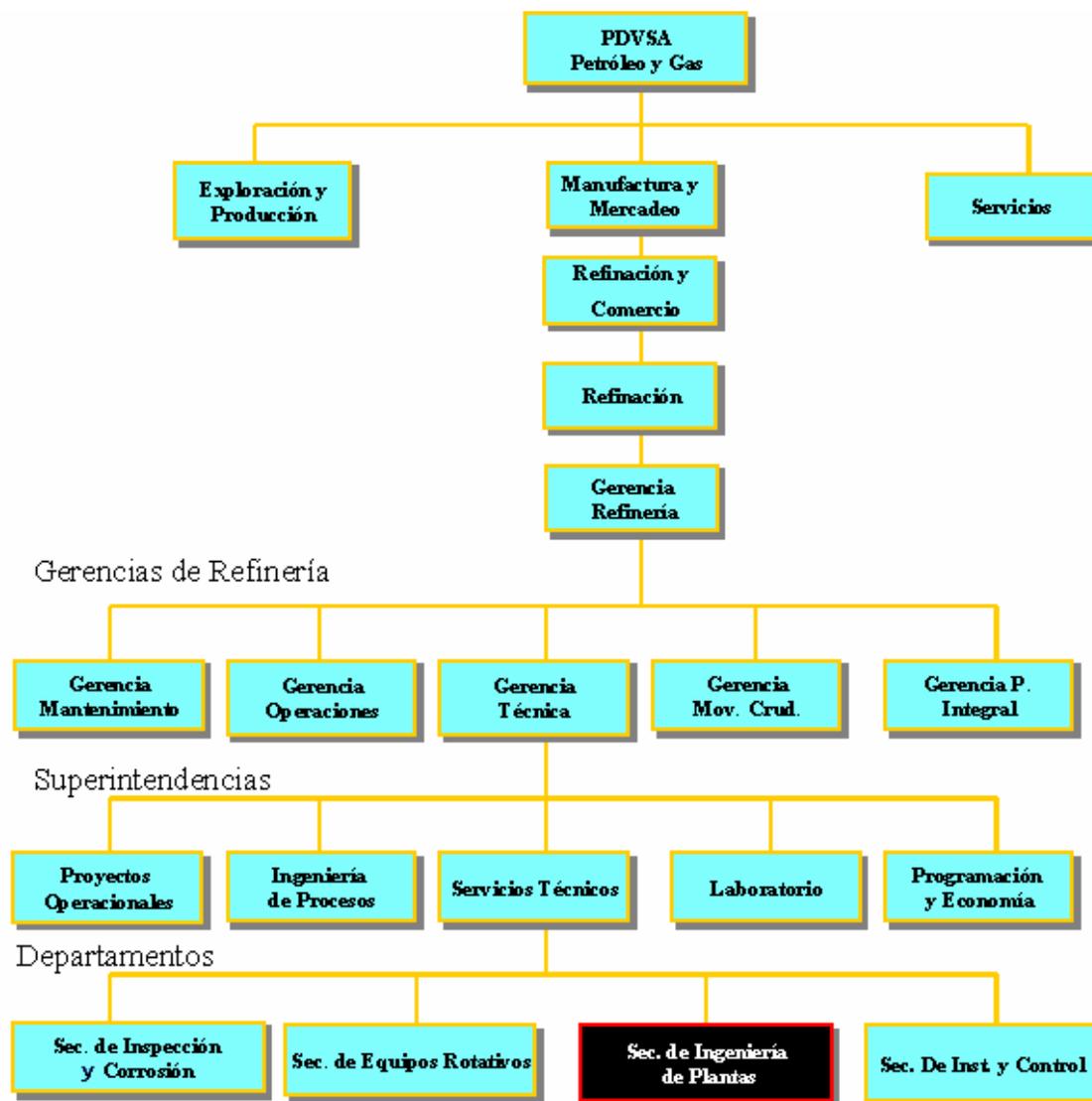


Figura 1.2 Estructura organizacional de la Refinería Puerto La Cruz
Fuente: PDVSA ORIENTE, 2003.

Este trabajo ha sido desarrollado en la sección de Ingeniería de Plantas, que se encuentra en el departamento Servicios Técnicos perteneciente a la Gerencia Técnica de la Refinería Puerto La Cruz.

1.6 Planteamiento de problema.

El petróleo extraído de los campos de producción de PDVSA-ORIENTE ubicados en la zona sur del estado Anzoátegui y zona norte del estado Monagas, es impulsado por estaciones de bombeo y transportado a través de oleoductos hacia la Refinería Puerto La Cruz, cabe destacar que estos sistemas de tubería tienen varios puntos de control llamados múltiples los cuales están compuestos por un conjunto de válvulas y son los encargados de guiar el crudo hasta donde se requiera, bien sea hasta otro múltiple o hacia un tanque.

Múltiple Principal de Carga (MPC) es el múltiple de mayor importancia que posee el sistema, ya que por el mismo se embarca aproximadamente el 90% del crudo que se exporta desde Oriente del país. Se encuentra ubicado en el área del Terminal Marino, frente al puesto de vigilancia. A través de este múltiple se recibe el crudo de las cuatro troncales en tanques del área de carga y se realizan las siguientes operaciones:

- ✓ Embarque desde tanques de carga, almacenaje, OSAMCO y El Chaure.
- ✓ Mezcla de Crudos.
- ✓ Transferencias entre tanques del área de carga.
- ✓ Transferencias entre tanques del área de carga y tanques del área de almacenaje.
- ✓ Transferencias desde tanques del Sistema OSAMCO a tanques del área de carga.

Los múltiples y tuberías de transporte de crudo son de vital importancia y en cierta medida, la capacidad productiva de cualquier refinería depende de ellas, por lo cual es indispensable conocer las condiciones actuales de flexibilidad en el sistema de tubería, para así garantizar el cumplimiento del código de diseño de tuberías, y de esta manera la permanencia en el transporte de crudo.

Debido a agrietamientos y deterioro que presentan los pórticos en donde se apoyan las tuberías que salen del múltiple hacia los tanques del área de carga, y al desconocimiento de la capacidad de flexibilidad que posee el sistema, motivado por ciertos indicios de agrietamiento en el paredón norte por donde atraviesan las tuberías que van del múltiple hacia muelles, surgió la necesidad de realizar un análisis estático de flexibilidad en el múltiple principal de carga, con la finalidad de determinar las condiciones actuales del sistema, observar su funcionamiento y comportamiento, a través de la construcción de el modelo tridimensional computarizado en el software CAESAR II (software especializado en el análisis de flexibilidad y/o esfuerzos en tuberías), y de esta manera se obtuvieron los puntos críticos del mismo, las cargas sobre los pórticos y a partir de estos resultados se propusieron algunas soluciones y mejoras para el funcionamiento de estos arreglos de tuberías y así tratar de alargar la vida útil de todo el sistema.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general.

Realizar un análisis estático de flexibilidad al múltiple principal de carga de la Refinería Puerto La Cruz.

1.7.2 Objetivos específicos.

- Definir las condiciones en las cuales se encuentra operando actualmente el múltiple principal de carga de la Refinería Puerto La Cruz.
- Elaborar un modelo tridimensional y análisis estático de flexibilidad del sistema, en el software CAESAR II.
- Determinar las cargas estáticas ejercida sobre la soportería del sistema en estudio.
- Evaluar los niveles de esfuerzos en las tuberías cuando están sometidas a cargas de presión y peso, cargas ocasionadas por expansiones térmicas, mediante el estudio estático de flexibilidad.
- Proponer algunas mejoras sobre la base de las desviaciones encontradas, para el funcionamiento de estos arreglos de tuberías.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes.

[1] Christian Urrieta realizó un análisis estático de flexibilidad de la línea de crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz, empleando el software de flexibilidad en tuberías CAESAR II. Se analizaron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, además se compararon las cargas en las boquillas de los diferentes equipos conectados al sistema con las permisibles por los distintos códigos que rigen a los mismos.

[2] Ysrael Molero realizó un análisis estático de flexibilidad en las líneas de succión y descarga de las bombas GA-15-10 y GA-7-10 de la Refinería Puerto la Cruz; analizó los esfuerzos y desplazamientos en la tubería por cargas sostenidas y por expansiones térmicas, también realizó una propuesta de modificación en las líneas de succión y descarga de la bomba GA-15-10. Seguidamente hizo un análisis de flexibilidad en el modelo propuesto donde recomendó la instalación de juntas de expansión para absorber los desplazamientos de la tubería.

[3] Luís Avalo realizó un estudio de flexibilidad al sistema de recibo de asfalto 60/70 de la Refinería de Puerto La Cruz usando el programa CAESAR II, bajo los criterios establecidos por el código ASME/ANSI B31.3. El estudio abarcó los tramos de tuberías comprendidas desde las instalaciones del Terminal marino de Guaragao (descargado por buques) hasta la conexión al tanque N° 21,

ubicado en el área de almacenaje de dicha refinería. A través de este estudio se pudo detectar una serie de puntos en la tubería donde los esfuerzos calculados superan a los valores máximos permisibles establecidos por el código aplicado.

2.2 Sistemas de tuberías

Las tuberías pertenecen a los elementos principales de plantas industriales y su objeto es el transporte de un medio líquido o gaseoso entre dos o más estaciones de procesos. La sustancia que atraviesa el tubo puede ser aún una mezcla de ambas fases. Las tuberías son cuerpos cilíndricos de sección circular que limitan a sus alrededores por una pared de espesor constante, creando así un cuerpo anular.

Los accesorios de las tuberías son elementos mecánicos convenientes para ensamblar o desarmar los sistemas de tuberías. Los componentes incluyen la tubería, protecciones, aislantes, bridas, válvulas y los dispositivos tales como juntas de expansión, etc. [4]

2.3 Análisis de esfuerzos en tuberías.

El estudio de flexibilidad en tuberías consiste en determinar a través de un análisis de esfuerzos si una tubería o línea posee la suficiente capacidad de absorber las cargas y desplazamientos que sobre ella inciden (peso de la tubería, la expansión térmica, las fuerzas producidas por la presión del fluido, vibraciones, terremotos y otras) para evitar someter cualquiera de sus componentes a esfuerzos superiores al admisible, solapar la tubería con otras tuberías o estructuras por efecto de expansiones térmicas. 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. [2]

Por otra parte existen dos modalidades de análisis de flexibilidad: El análisis *informal* y el análisis *formal*.

2.3.1 Análisis formal.

Es el que se lleva a cabo con un alto grado de exactitud en los resultados, para ello usa los métodos de cálculo, que envuelven largos y complicados procedimientos así como el uso de programas computacionales que son relativamente costosos, y emplean gran cantidad de tiempo para un grupo de ingeniería. [5]

2.3.2 Análisis informal.

Se basa en sencillas comparaciones con arreglos similares, que han cumplido satisfactoriamente con los requerimientos del servicio, no poseen una exactitud como el análisis formal ya que no se calcula y comparan esfuerzos, y depende en gran parte de la experiencia y juicio del ingeniero o diseñador.

Según el Código ASME B31.3, 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 cumple con la ecuación empírica:

$$\frac{D \cdot y}{(L - U)^2} \leq k1 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

D : diámetro nominal (pulgadas, mm);

Y : resultante del total de los desplazamientos térmicos que deben ser absorbidos por el sistema (pulgadas, mm);

L : longitud desarrollada de la tubería entre los dos anclajes (pies, m);

U : distancia en línea recta entre los anclajes (pies, m);

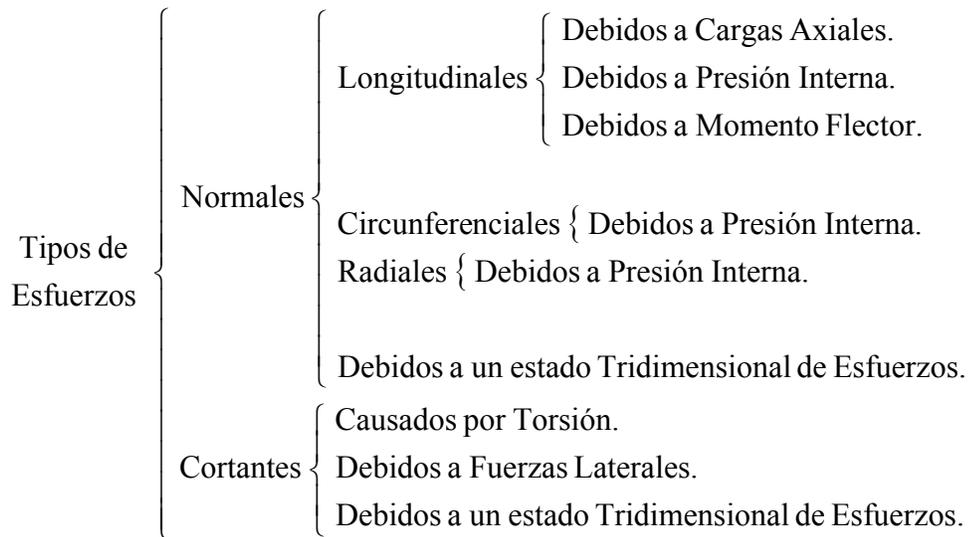
KI : 0.03 (sistema inglés) o 208.3 (Sistema Internacional)

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. [5]

2.4 Tipos de esfuerzos en tuberías.

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.

A continuación se muestra un esquema que resume los tipos de esfuerzos a los cuales se encuentra sometida una tubería [4]:



2.4.1 Esfuerzos longitudinales.

El esfuerzo longitudinal debido a cargas axiales puede apreciarse en la Figura 2.2 y se calcula de la siguiente manera: [6]

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

S_L : Esfuerzo longitudinal (Pa).

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

A_m : Área metálica de la tubería (m²); $A_m = (d_0^2 - d_i^2) \times \pi / 4$

d_0 : Diámetro externo de la tubería (m).

d_i : Diámetro interno de la tubería (m).



Figura 2.2. Cargas axiales de la tubería.

El esfuerzo longitudinal debido a la presión interna puede apreciarse en la Figura 2.3 y se calcula como se muestra a continuación: [6]

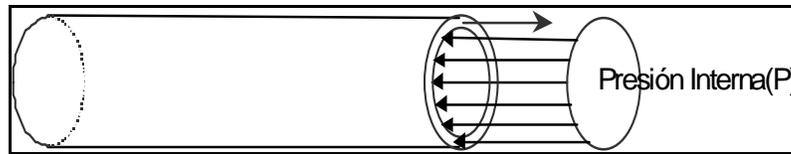


Figura 2.3. Cargas debidas a Presión Interna.

$$S_L = P \frac{A_i}{A_m} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

P : Presión interna (Pa).

S_L : Esfuerzo longitudinal (Pa).

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); $A_m = (d_0^2 - d_i^2) \times \pi / 4$

Sustituyendo términos para área interna y área metálica

$$S_L = P \frac{\pi d_i^2 / 4}{(d_0^2 - d_i^2) \pi / 4} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$S_L = P \frac{d_i^2}{d_0^2 - d_i^2} = P \frac{d_i^2}{(d_0 + d_i)(d_0 - d_i)} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Sustituyendo:

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

Donde:

d_m : Diámetro medio (m).

t : Espesor de la tubería (m).

Se tiene:

$$S_L = P \frac{d_i^2}{4d_m t} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Considerando: $d_i \approx d_m \approx d_0$

Se obtiene:

$$S_L = P \frac{d_0^2}{4t} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

d_0 : Diámetro externo de la tubería (m).

t : Espesor de la tubería (m).

Otro tipo de esfuerzo longitudinal que actúa sobre la tubería es el ocasionado por el momento flector, este puede apreciarse en la Figura 2.4 y se calcula con las ecuaciones mostradas a continuación. [6]

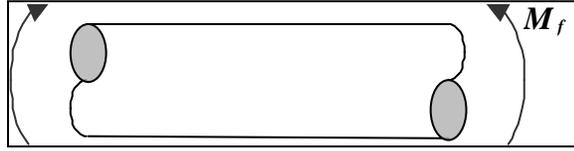


Figura 2.4 Momento Flector de la tubería.

$$S_L = M_f \frac{C}{I} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$S_{Lmax} = M_f \frac{R_0}{I} = \frac{M_f}{Z} \quad \text{Ec. 2.9}$$

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

$$S_{Ltotal} = \frac{F_{ax}}{A_m} + P \frac{d_0^2}{4t} + \frac{M_f}{Z} \quad \text{Ec. 2.10}$$

2.4.2 Esfuerzo circunferencial.

Este esfuerzo es ocasionado solo por la acción de la presión del fluido en el interior de la tubería (Ver Figura 2.5). [6]

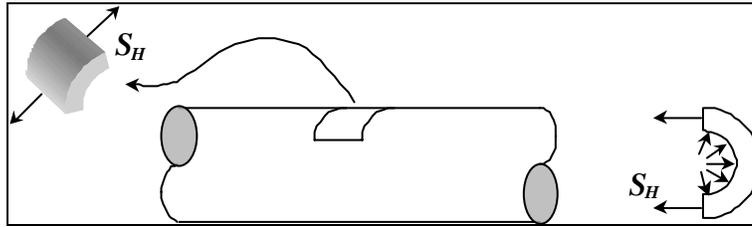


Figura 2.5 Esfuerzo Circunferencial de la tubería.

$$S_H = P \frac{d_i}{2t} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Pero empleando una aproximación conservadora:

$$S_H = P \frac{d_0}{2t} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

S_H : Esfuerzo de membrana circunferencial debido a la presión interna, (Pa).

P : Presión interna (Pa).

d_0 : Diámetro externo (m).

t : Espesor de la tubería (m).

2.4.3 Esfuerzo radial.

En la figura 2.6 se muestra el esfuerzo radial debido a la presión interna. [6]

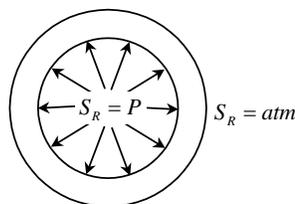


Figura 2.6 Cargas que generan el Esfuerzo Radial.

$$S_R = P \frac{\left(R_i^2 - \frac{R_i^2 R_0^2}{R^2} \right)}{(R_0^2 - R_i^2)} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

S_R : Esfuerzo radial debido a la presión interna (Pa).

R_i : Radio interno de la tubería (m).

R : Distancia radial en cualquier punto de la pared de la tubería (m).

Debido a que $S_R=0$ para $R=R_0$, punto en el cual el esfuerzo a flexión es máximo, tradicionalmente se ha considerado el esfuerzo radial igual a cero.

2.4.4 Esfuerzo de corte (fuerzas laterales).

Los esfuerzos de cortes son aplicados en la dirección paralela al plano perpendicular al eje de la tubería. Son originados por distintos tipos de fuerzas, dentro de las cuales se pueden mencionar la aplicación de la fuerza puntual como se muestra en la Figura 2.7. Este tipo de esfuerzos se encuentra distribuido en la sección de la tubería de manera que son iguales a cero en la fibra más externa y máximos en la fibra más interna. [6]

Los códigos consideran como punto de estudio para el cálculo de los esfuerzos, la fibra más externa de la tubería debido a que el esfuerzo a flexión es máximo en este punto. Ya que en este punto el esfuerzo de corte producto de las fuerzas laterales aplicadas es igual a cero, su magnitud no se considera en el cálculo del esfuerzo resultante por el código.

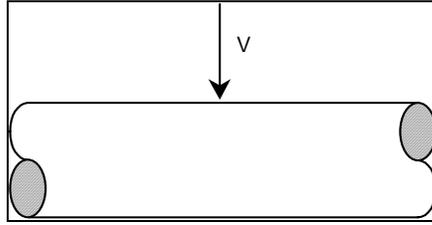


Figura 2.7 Fuerza Lateral actuando sobre la tubería.

$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A_m} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

τ_{\max} : Esfuerzo de corte máximo (Pa).

V : Carga transversal aplicada (N).

Existe otro tipo de *esfuerzo de corte* que es ocasionado *por torsión* (figura 2.8) y puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

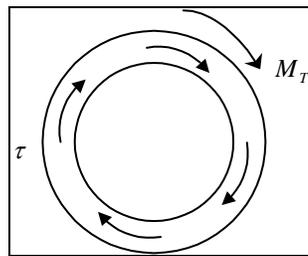


Figura 2.8 Momento de torsión que actúa sobre la tubería.

$$\tau = \frac{M_T \cdot R}{J} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Si $R = R_0$ entonces

$$\tau = \tau_{\max} = \frac{M_T \cdot R_0}{J} \quad \text{Ec. 2.16}$$

$$J = 2I ; Z = I / R_o$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_T}{2Z} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde:

R : Distancia radial al punto interno (m).

J : Momento Polar de Inercia de la tubería (m⁴).

M_T : Momento torsión interno, actuando sobre la sección transversal de la tubería, (N-m).

De las ecuaciones descritas anteriormente, se tiene que el esfuerzo cortante total que actúa sobre una sección transversal de la tubería es el que se expresa a continuación:

$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A_m} + \frac{M_T}{2Z} \quad \text{Ec. 2.18}$$

2.4.5 Estado tridimensional de esfuerzos en una tubería.

En la Figura 2.9 se puede observar un corte de la tubería, respecto al cual se puede asegurar que existe una variedad infinita de orientaciones bajo las cuales este cubo puede ser analizado. Por ejemplo, existe una orientación para la cual uno de los esfuerzos ortogonales es maximizado y los esfuerzos perpendiculares minimizados, en esta orientación los esfuerzos ortogonales son llamados esfuerzos principales, en cuyo caso los esfuerzos de corte son iguales a cero. Existe otra orientación, llamada del esfuerzo cortante máximo, para la cual los esfuerzos ortogonales son cero y el esfuerzo cortante es máximo, los valores de los esfuerzos principales y del esfuerzo cortante pueden ser determinados utilizando el círculo de Mohr (ver Figura 2.10), el

cual se obtiene graficando los esfuerzos normales (S_H , S_L) versus los esfuerzos de corte (τ). [6]

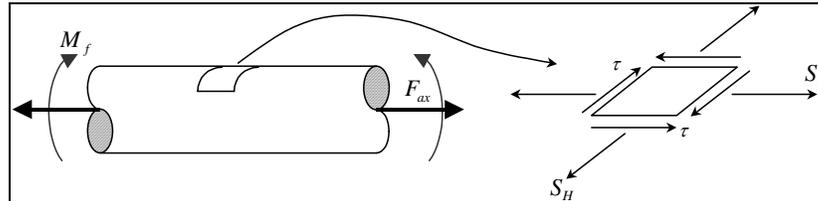


Figura 2.9 Estado de Esfuerzos en una Tubería.

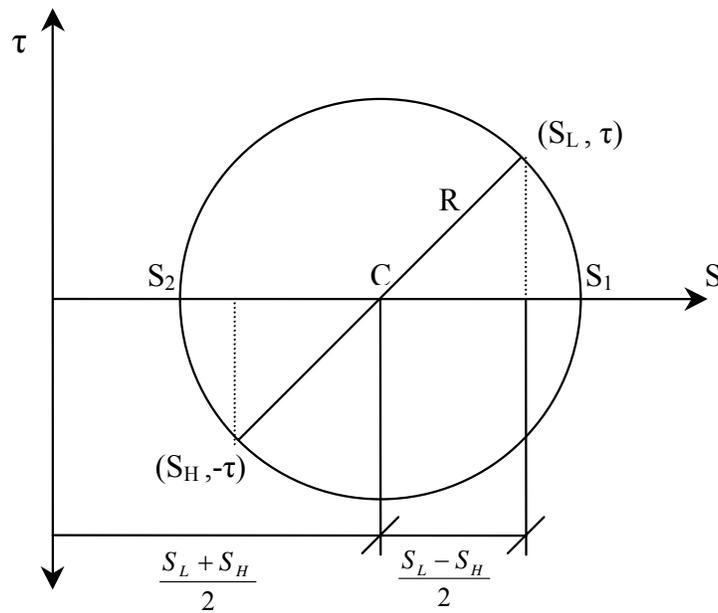


Figura 2.10 Círculo Mohr.

Las ecuaciones siguientes muestran la manera de calcular el radio del Círculo de Mohr (R), la ubicación del centro (C), el esfuerzo normal máximo y mínimo (S_1 y S_2) y el esfuerzo cortante máximo (τ_{max}).

$$R = \sqrt{\left(\frac{S_L - S_H}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$C = \frac{S_L + S_H}{2} \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$S_{1,2} = C \pm R = \frac{S_L + S_H}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$\tau_{\max} = R = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \text{Ec. 2.22}$$

2.5 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:

2.5.1 Teoría de Von Misses.

Teoría de Von Misses (Teorema del esfuerzo octaedral): “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”. [7]

$$\tau_{\text{oct}} = \frac{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}}{\sqrt{2}} < \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad \text{Ec. 2.23}$$

2.5.2 Teoría de Tresca.

Teoría de Tresca (Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo): “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 la condición de fluencia en un ensayo a tracción”. [7]

$$\tau_{\max} = \frac{S_1 - S_3}{2} < \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 2.24}$$

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

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2}}{2} \leq \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 2.25}$$

2.5.3 Teoría de Rankine.

Teorema del Esfuerzo Máximo (Rankine): “La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo principal máximo al cual se encuentra sometido, se hace igual al esfuerzo de fluencia en un ensayo a tracción”. [7]

2.6 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 cargas: [2]

Sostenida: originada por cargas primarias.

Expansión: originada por cargas secundarias.

2.6.1 Cargas Primarias:

Los tipos más comunes de cargas primarias con los 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]

2.6.2 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.

2.6.3 Cargas Secundarias:

Estas cargas son generadas por variaciones térmicas, cuando el sistema está operando al valor mínimo de temperatura tenderá a contraerse elásticamente (Ec. 2.26) y al no encontrar ninguna separación u holgura que le permita contraerse con libertad, la fuerza de tensión generada (Ec. 2.27) por la presión interna del fluido y por la contracción misma, se transmitirá a los pernos de las bridas y a 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. [2]

2.6.4 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).

$$\Delta = L * \alpha * \Delta T \quad \text{Ec. 2.26}$$

Donde:

Δ : Crecimiento térmico de la tubería, (m).

α : Coeficiente de expansión térmico del material, (1/ °C).

L: Longitud de la tubería, (m).

La fuerza necesaria para impedir el crecimiento térmico de la tubería está dada por:

$$F = A * E * \alpha * \Delta T \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde:

F : fuerza necesaria para impedir el crecimiento de la tubería, (N).

E : Modulo de elasticidad. (KPa)

A : área metálica transversal de la tubería (m^2).

2.7 Manejo de las expansiones térmicas

Para el manejo de estas cargas térmicas se debe tomar en cuenta su magnitud. El manejo de las expansiones térmicas se realiza empleando lazos de expansión o juntas de expansión. [2]

Al diseñar tuberías los soportes de éstas deben permitir el movimiento entre anclajes, parte de estos movimientos pueden ser absorbidos empleando juntas de expansión o lazos de expansión.

Previo al manejo de las cargas térmicas para el análisis de esfuerzos se 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: bombas, tanques intercambiadores de calor, enfriadores de aire, turbinas, etc.
- No se deberá intentar solucionar un problema térmico, sin antes haber solucionado los problemas de cargas sostenidas.

2.7.1 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: [6]

- Poca disponibilidad de espacio.
- Tubería de acero espacial, 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 existen dos tipos de Juntas de expansión las cuales son:

2.7.1.1 Junta de Expansión Deslizante (slip joint)

Esta Junta consiste en un tubo (cuerpo de la Junta) dentro del cual se desliza la tubería por la expansión y/o contracción térmica, siendo únicamente capaces de absorber movimientos axiales. Este tipo de Junta es particularmente usada cuando la temperatura es elevada y donde las expansiones y contracciones son de gran magnitud, siendo de mucha utilidad en las líneas de transporte de gran longitud y que no estén expuestas a movimientos vibratorios.

2.7.1.2 Junta de Expansión Tipo Fuelle (bellow joint)

Este tipo de Junta está formada por una sección flexible que consiste en uno o más fuelles metálicos, los cuales cuando se combina con ciertos accesorios proveen las características necesarias para absorber los movimiento lineales, usualmente este tipo de juntas son colocadas en tuberías de succión de las bombas y particularmente en equipos que generen fuertes vibraciones durante su funcionamiento.

2.7.2 Lazo de expansión

El lazo de expansión fue usado en el comienzo para contrarrestar los cambios dimensionales ocasionados por expansiones térmicas. Éste resulta simple y económico en tuberías de diámetros pequeños. A medida que los diámetros de la tubería se incrementan, la instalación de éstos se vuelve más compleja lo cual resulta en altos costos. Este accesorio tiene la desventaja que incrementa las pérdidas por fricción. Además, su gran tamaño y el peso que deben soportar, dificultan su utilidad y por lo tanto la forma como acomodarse en las instalaciones congestionadas. Son más seguros si se comparan con las juntas de expansión. Los lazos pueden ser simétricos o asimétricos (ver figura 2.11).

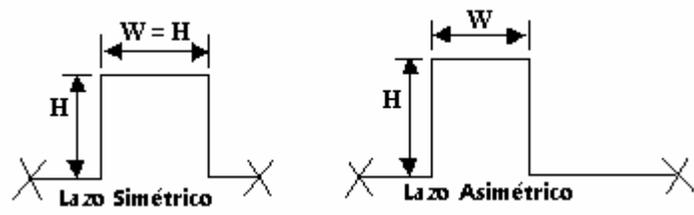


Figura 2.11 Tipos lazos de expansión.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación fue de campo, ya que los datos son de fuentes vivas y la información se recogió directamente de la realidad en el mismo sitio donde se presentaba la necesidad, es decir, en el Múltiple Principal de Carga en la Refinería de Puerto La Cruz.

El diseño de investigación de campo “Es aquel que permite que el investigador recaude información en el mismo sitio donde se presenta el problema” (Sabino, 1.997);

3.2 Tipo de investigación

Para la elaboración de este proyecto se empleó dos modalidades de investigación, una de tipo mixta que se define como “aquella que participa de la naturaleza de la investigación documental y la investigación de campo” (Zorrilla, 1993). Esta se usó para recopilar información de la situación actual del múltiple y obtener a través de consultas a manuales normas y códigos, conocimientos básicos para elaborar el proyecto, posterior a esto se utilizó una investigación descriptiva que consiste en “describir las estructuras de los fenómenos y sus dinámicas” (Sabino 1.992), la cual permitió enfocar la situación actual del funcionamiento del múltiple y sus condiciones.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población.

La población en la cual fue desarrollado este estudio está compuesta por el múltiple principal de carga, las tuberías que van del múltiple hacia los tanques del área de carga y las tuberías que van del múltiple hacia el mezclador L001 de La Refinería Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui.

3.3.2 Muestra.

En lo que respecta a la muestra de la investigación, se consideró todo el múltiple principal de carga, parte de las líneas que van del múltiple hacia los tanques del área de carga y parte de las líneas que van del múltiple hacia el mezclador L001 de La Refinería Puerto La Cruz, con el propósito de recaudar la mayor cantidad de información posible y determinar el comportamiento más real del sistema en estudio.

3.4 Descripción del área objeto de estudio.

3.4.1 Múltiple principal de carga (MPC).

Es el múltiple de mayor importancia que posee el sistema de transporte de crudo en la Refinería Puerto La Cruz, ya que por el mismo se embarca aproximadamente el 90% del crudo que se exporta desde el Oriente del país. Se encuentra ubicado en el área del Terminal frente al puesto de vigilancia. A través de este múltiple se recibe el crudo de las cuatro troncales en tanques del área de carga y se realizan las siguientes operaciones:

- Embarque desde tanques de carga, almacenaje, OSAMCO y El Chaure.
- Mezcla de Crudos.
- Transferencias entre tanques del área de carga.
- Transferencias entre tanques del área de carga y tanques del área de almacenaje.
- Transferencias desde tanques del Sistema OSAMCO a tanques del área de carga.

Para estas operaciones el múltiple cuenta con 252 válvulas motorizadas.

- A. Embarque: Esta operación se realiza por gravedad a través de las siete (7) líneas de embarque.
- B. Mezcla de Crudos: Esta operación se realiza utilizando el Mezclador L001 ubicado en el lado norte del Múltiple Principal de Carga; a este equipo se le interconectan dos corrientes de crudo (A-B) que se combinan según los requerimientos de la mezcla. Con este equipo se garantiza la calidad de los volúmenes a embarcar.
- C. Transferencia entre tanques del Área de Carga: Esta operación se realiza por gravedad desde el tanque de mayor altura al de menor altura utilizándose para esto cualquiera de las líneas de transferencia ó carga.
- D. Transferencia Área de Carga a Área de Almacenaje: Esta operación se realiza por gravedad o a través de bombas:

- E.* Bombas: Se realiza a través de dos líneas de transferencia de 16” y cinco bombas, ubicadas en el área de Almacenaje frente a los tanques 97x01y 97x02.
- F.* Transferencia desde tanques del Sistema OSAMCO a tanques del área de Carga: Esta operación se realiza a través del bombeo de crudo por la línea de transferencia No.7 de 36”, que va de la descarga de las bombas del sistema OSAMCO (P701A-P701E) al Múltiple Principal de carga, abriendo la válvula del tanque a transferir en el M.P.C.



Figura 3.1 Múltiple principal de carga.
Fuente: PDVSA-Oriente 2003.

3.4.2 Área de carga.

Los tanques ubicados en el patio de carga son servidos por el múltiple principal de carga y cada tanque posee una sola línea, por la cual reciben y entregan crudo. Estos tanques pueden recibir crudo directamente de las troncales y son empleados para el embarque de crudo a través de los muelles, lo cual se hace por gravedad.

Los crudos que se despachan a través del Terminal son recibidos desde los troncales T-51, T- 52, T-53, T-54-mesa y T-54-Santa Bárbara. Específicamente a través de la T-51 se recibe crudo Merey con una tasa media de 12 MBPH, crudo Mesa 28 es transportado por la T-52 a una tasa media de 1 MBPH. La Troncal 53 transporta el crudo Anaco Wax con una capacidad promedio de 1.8 MBPH. El crudo Mesa 30 llega por la Troncal 54 constituida por una línea de 26" de diámetro a razón de una tasa promedio de 20 MBPD y el crudo Santa Bárbara llega a través de la T 54-Santa Bárbara constituida por dos líneas de 16" de diámetro cada una, identificadas como Línea Marrón y Línea Blanca, con tasas de entrega de 10 MBPH respectivamente.

Algunos de estos crudos de acuerdo a la flexibilidad operacional existente pueden ser almacenados en sistemas de tanques pertenecientes al Patio de Carga. Estos sistemas de almacenamiento se especifican:

- Tanques 135xx.
- Tanques 165xx.
- Tanques 260xx.
- Tanque 470x1.

Los Tanques de la Serie 135xx son de 144 pies de diámetro por 48 pies de altura y tienen una capacidad nominal de 137.000 barriles. El sistema está constituido por 8 tanques ubicados entre 82 y 126 pies sobre el nivel del mar. Tienen una línea recibo/succión de 20" que convergen en el Múltiple Principal de Carga.

El tanque 135x1 se encuentra fuera de servicio, los tanques 135x2 y 135x3 están dispuestos para almacenar los crudos Mesa 30 y Merey, los 135x5, 135x6, 135x7 y 135x8 crudo Santa Bárbara, Merey, Mesa 30 y Anaco Wax. El sistema de almacenamiento de crudo depende de la capacidad operacional del sistema.

Los Tanques 165x1 y 165x2 tienen una capacidad promedio de 165.000 barriles, con una altura de 59 y 61 pies respectivamente y diámetros de 144 pies. El tanque 165x1 está ubicado a 154 pies sobre el nivel del mar y mientras que el 165x2 está a 150 pies. Las líneas de recibo/succión son de 20" y convergen en el Múltiple Principal de Carga. Ambos tanques están dispuestos para almacenar crudo Mesa.

Los Tanques de la Serie 260xx dispuestos para el almacenamiento de crudo son cuatro (4) y cada uno tiene una capacidad promedio de 265.000 barriles. Están ubicados entre 180 y 246 pies de altura sobre el nivel del mar. Las líneas de recibo/succión de los tanques 260x1/3 salen del Múltiple Principal de Carga de 30" pero antes de llegar a pie de tanque tienen una reducción a 26", mientras que la línea correspondiente al 260x4 se mantiene de 30" de diámetro. Los tanques 260x1 y 260x2 tienen 166 pies de diámetro por 58 y 53 pies de altura respectivamente, mientras que el tanque 260x3 tiene 180 pies de diámetro por 58 pies de altura. Estos tres tanques típicamente almacenan crudo Mesa 30, Merey y Santa Bárbara. El 260x4 almacena Crudo Santa Bárbara y Mesa 30 está dimensionado en 166 pies de diámetro por 48 pies de altura.

El Tanque 470x1 dispuesto para el almacenamiento de crudo Merey, tiene 300 pies de diámetro por 52 pies de altura. Tiene una capacidad nominal de 492.073 barriles y está ubicado a 305 pies sobre el nivel del mar. Este tanque tiene una línea recibo/succión de 30" de diámetro.

3.5 Condición actual de operación del Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto La Cruz.

Actualmente el Múltiple Principal de Carga se encuentra operando normalmente, realizando las diferentes operaciones que allí son requeridas, pero parte de su soportería presenta notables daños de agrietamiento, como se muestran en las figuras 3.2, 3.3.



Figura 3.2 Agrietamiento en soportes (pórtico).



Figura 3.3 Agrietamiento en soportes (pórtico).

3.5.1 Casos de funcionamiento del Múltiple Principal de Carga considerados a estudio.

Debido a que el Múltiple Principal de Carga realiza diferentes operaciones de movimiento de crudo, se realizó el análisis de flexibilidad con tres distintos casos de funcionamiento para obtener mejores resultados. Los casos analizados son los siguientes:

3.5.1.1 Caso 1.

En este caso, el Múltiple Principal de Carga realiza 3 operaciones simultáneas las cuales se describen a continuación:

- Embarque de crudo por la línea de carga N°5 “Mesa” desde los tanques (135X4 – 260X1 – 260X3) del área de carga, estas líneas que realizan este movimiento operan con una presión, temperatura y densidad de 517 KPa (75Psig), 32°C (90°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.
- Transferencia de crudo “Mesa” desde tanques del Sistema OSAMCO por la línea de transferencia N°7 al tanque (135X8) del área de carga, estas líneas que realizan este movimiento operan con una presión, temperatura y densidad de 827KPa (120Psig), 40°C (104°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.
- Embarque de crudo “Anaco Wax” por la línea de carga N°3, desde tanques de almacenaje a través de las líneas de transferencia N°3 y 4, estas líneas que realizan este movimiento operan con una presión, temperatura y densidad de 620KPa (90Psig), 32°C (90°F) y 819Kg/m³ respectivamente.
- El resto de las líneas del Múltiple Principal de Carga que no están dentro de estas operaciones, se encuentran empacadas con crudo a una presión, temperatura y densidad aproximadas de 344KPa (50Psig), 27°C (80°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.

Este caso a pesar de no ser normalmente aplicado en el sistema, es de interés estudiarlo porque es el de mayor exigencia operacional al Múltiple Principal de Carga. Esta información fue suministrada por la Gerencia de Movimientos de Crudo y Productos en el Terminal marino de Guaraguao. En la figura 3.4 se identifican las líneas operativas del Caso 1.

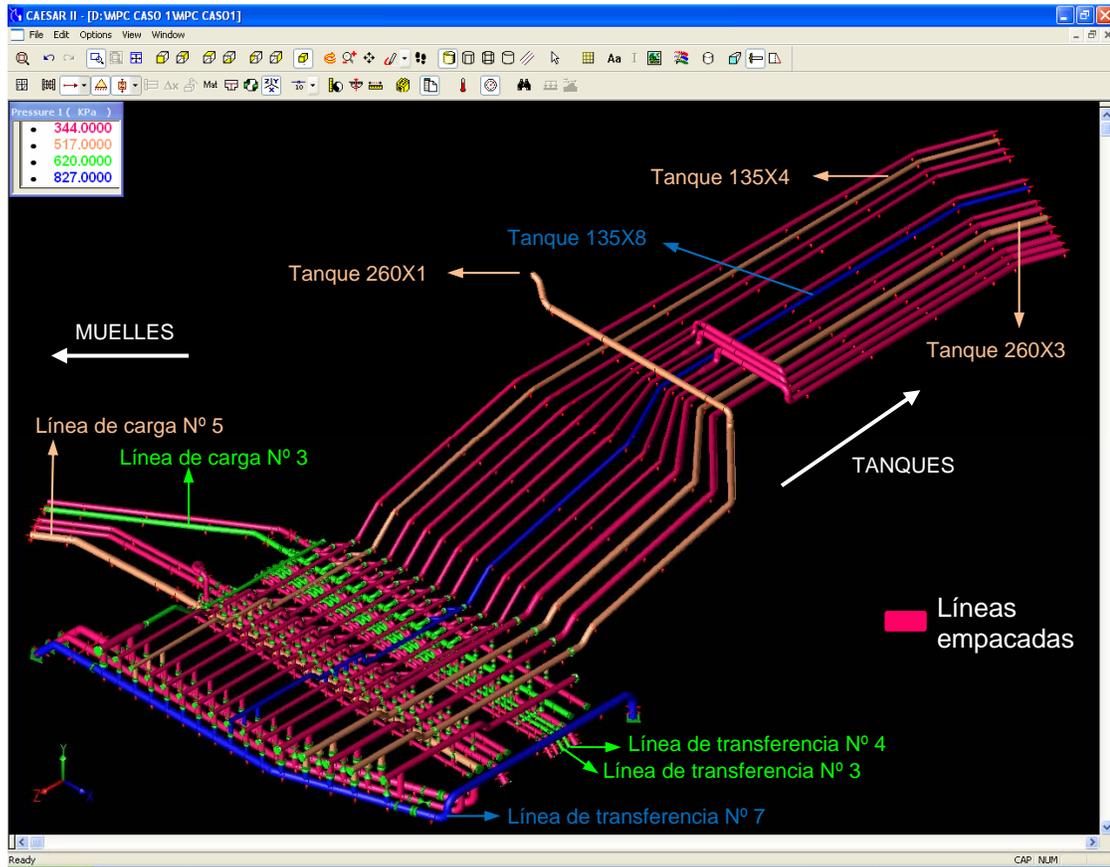


Figura 3.4 Líneas en operación del Múltiple Principal de Carga en el Caso 1.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2 Caso 2.

En este caso, el Múltiple Principal de Carga realiza una sola operación la cual se describe a continuación:

- Transferencia de crudo “Merey” por medio de las líneas de transferencia N°3 y N°4 al tanque (135X1) del área de carga, estas líneas que realizan este movimiento operan con una presión, temperatura y densidad de 965KPa (140Psig), 41°C (106°F) y 957Kg/m³ respectivamente.

- El resto de las líneas del Múltiple Principal de Carga que no están en esta operación, se encuentran empacadas con crudo a una presión, temperatura y densidad aproximadas de 344KPa (50Psig), 27°C (80°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.

Este caso fue seleccionado ya que es uno de las operaciones que se hace con mayor frecuencia en el sistema. Dicha información fue suministrada por la Gerencia de Movimientos de Crudo y Productos en el Terminal marino de Guaragua. En la figura 3.5 se identifican las líneas operativas del Caso 2.

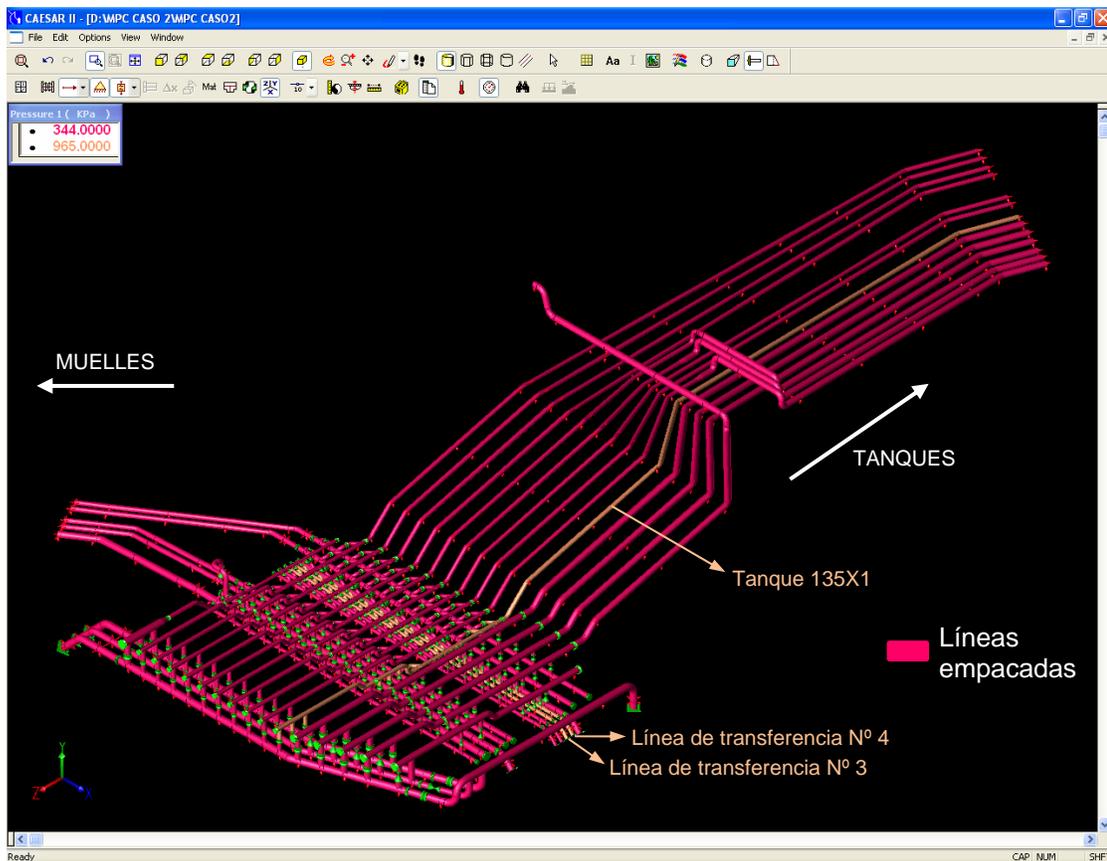


Figura 3.5 Líneas en operación del Múltiple Principal de Carga en el Caso 2.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.3 Caso 3

En este caso, el Múltiple Principal de Carga realiza una sola operación la cual se describe a continuación:

- Embarque de crudo “Mesa” por medio de la línea de Carga N° 6 desde el tanque (135X1) del área de carga, estas líneas que realizan este movimiento operan con una presión, temperatura y densidad de 827KPa (120Psig), 40°C (104°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.
- El resto de las líneas del Múltiple Principal de Carga que no están en esta operación, se encuentran empacadas con crudo a una presión, temperatura y densidad aproximadas de 344KPa (50Psig), 27°C (80°F) y 880Kg/m³ (30°API) respectivamente.

Este caso, como el anterior, es el otro que con mayor frecuencia opera el sistema. Dicha información fue suministrada por la Gerencia de Movimientos de Crudo y Productos en el Terminal marino de Guaraguao. En la figura 3.6 se identifican las líneas operativas del Caso 3.

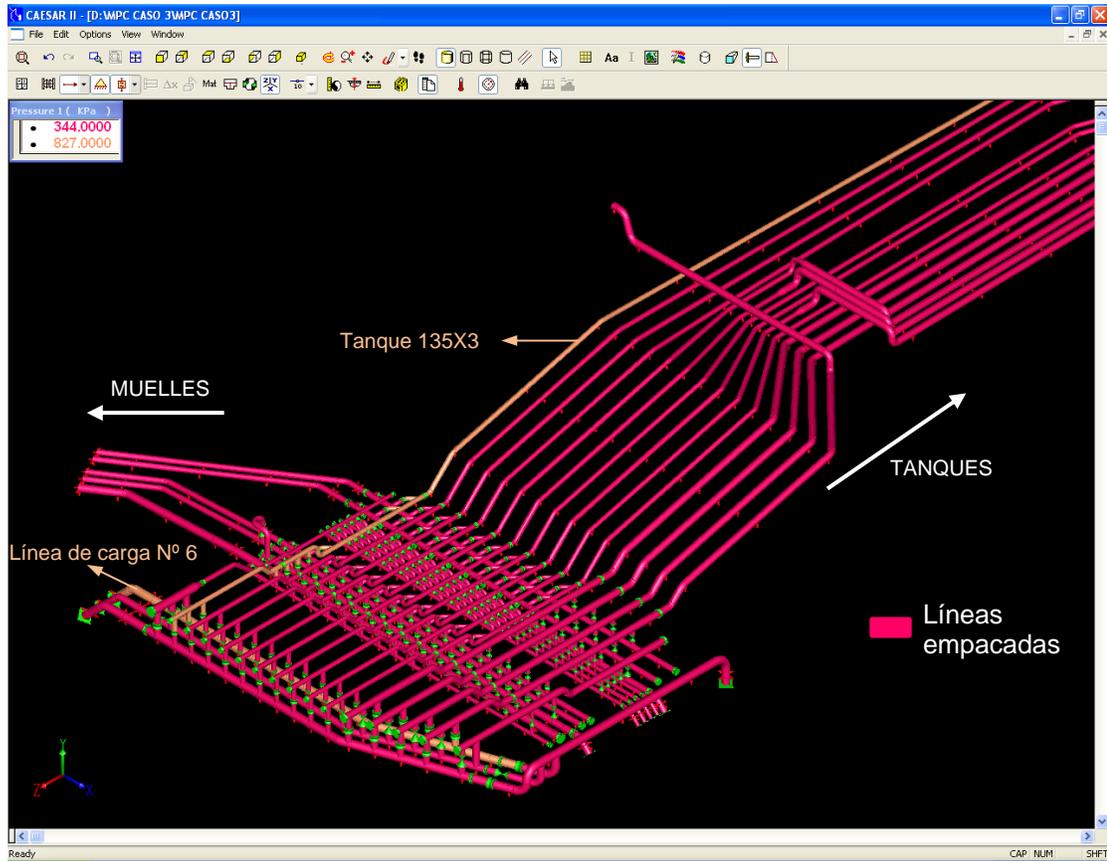


Figura 3.6 Líneas en operación del Múltiple Principal de Carga en el Caso 3.
Fuente: Elaboración propia.

3.6 Etapas de la investigación.

Para el desarrollo eficiente del proyecto y el logro de los objetivos planteados fue necesario cumplir con una serie de etapas. A continuación se describen las etapas cumplidas en este trabajo.

3.6.1 Inicio

Fue la primera etapa de este trabajo, y comprendió la introducción a la empresa, así como la selección del trabajo a realizar, y posteriormente un reconocimiento del área de almacenamiento de crudo.

3.6.2 Recopilación de la Información

La recopilación de información fue realizada a través de la consulta a bibliografías relativas al tema de investigación, los manuales del software CAESAR II V.4.5, la inspección visual del área donde se realizó el estudio y las entrevistas informales con el personal que opera en dicha área.

3.6.3 Elaboración de Isométricos

En esta etapa se midieron las tuberías en estudio, y se recolectó la información de campo necesaria sobre los accesorios de las mismas, entre los cuales se tienen: tipos de válvulas, tipos de soportes y su ubicación en las tuberías, las especificaciones de accesorios como bridas, codos, tes, entre otros. En esta fase también se recolectó la información necesaria y disponible en campo sobre los equipos (bombas y tanques), todo esto sirvió para elaborar el modelo tridimensional del sistema de tuberías en el CAESAR II.

3.6.4 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 códigos de diseño:

- Norma PDVSA - Materiales de Tuberías (H-221).
- Código ASME B31.3: “Tuberías de Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo” (Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping).

3.6.4.1 Norma PDVSA H-221

Estas especificaciones de ingeniería contienen los requerimientos específicos para la selección de materiales que serán usados en la construcción y fabricación de todas las tuberías de proceso y servicio. Según el servicio del sistema de tuberías debe asignarse un índice de servicio, y por tratarse de servicio de crudo se encontró que las tuberías del sistema de almacenamiento de crudo corresponden a la clase AA1, según esta norma. En la tabla 3.1 se muestran las especificaciones para las clases AA1.

Tabla 3.1. Especificaciones de la tubería según norma PDVSA H-221.

Especificaciones	Clase AA1
Material	Acero al Carbono (ASTM A-53 Gr. B)
Servicio	Petróleo (Crudo)
Corrosión permitida	1.5875mm (0,0625")
LIMITES DE PRESION(kg/cm²)/TEMP.(°C)	14 kg/cm ² a 204°C 6,62 kg/cm ² a 399°C

Fuente: Norma PDVSA H-221(2009).

Esta norma de tuberías, también contempla tres tipos de conexiones de ramales a cabezales, los cuales pueden observarse en la figura 3.7, nótese que en el tipo de conexión de ramal con placa de refuerzo, el espesor mínimo de la placa depende del espesor del cabezal.

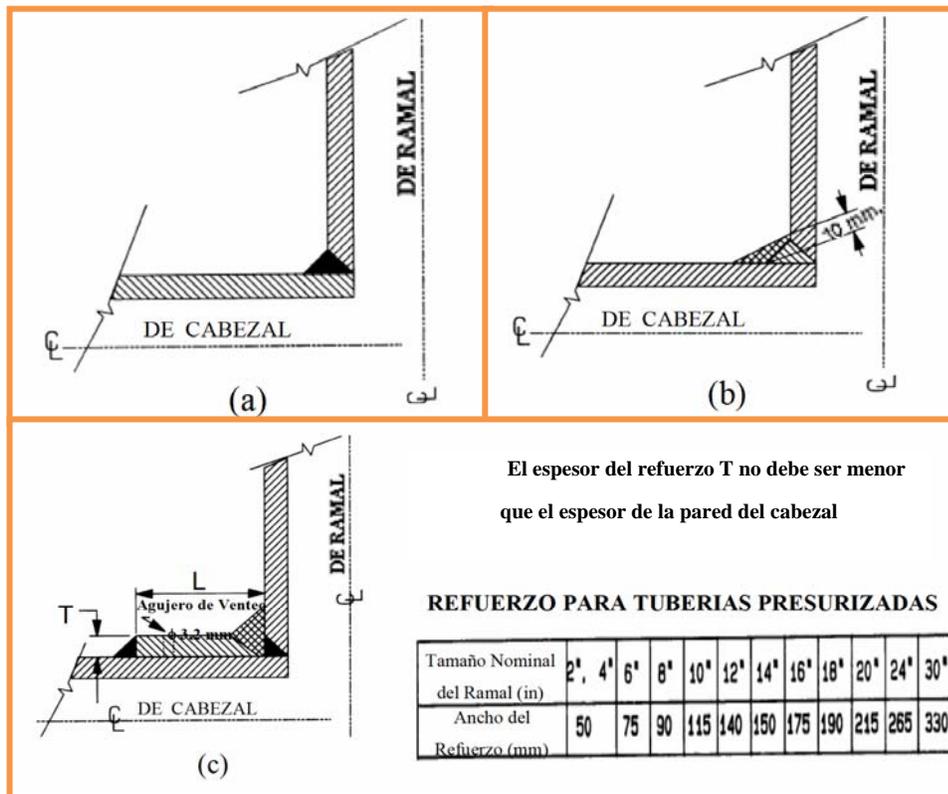


Figura 3.7 Soldaduras típicas para conexiones a ramales.
 a) Con un solo paso de soldadura, b) Con un paso de soldadura adicional,
 c) Con placa de refuerzo. Fuente: Norma PDVSA H-221(2009)

3.6.4.2 Código ASME B31.3.

El Código ASME B31 para tuberías de presión consiste en varias secciones publicadas individualmente, siendo cada una de ella un Estándar Nacional Estadunidense. El Código de Tuberías de Presión B31.3 para tuberías de proceso: tuberías que se encuentran típicamente en las refinerías de petróleo, químicos, farmacéuticos, textiles, papel, semiconductores, y las plantas criogénicas, y plantas de procesamiento, y de terminales.

Este Código establece en su parágrafo 302.3 que el esfuerzo básico (S) para el material de las tuberías, depende de la temperatura de servicio y pueden observarse

en la tabla 3.2, los valores de este esfuerzo para el material A-53 Gr. B a diferentes temperaturas (°F). A partir de los valores de la tabla 3.2, se pueden determinar los esfuerzos permisibles a tensión (igual a S), a corte ($0,8.S$) y a compresión (no debe exceder S).

Los requerimientos de diseño de este código cubren aquellas tuberías, bridas, válvulas, accesorios diversos y las porciones que resistan presión de otros componentes de la tubería. También incluye a los soportes y otros equipos necesarios para prevenir la sobrepresión contenida en los componentes. Las cargas que se requieren considerar son la presión, el peso (vivo, muerto y bajo cargas de prueba); impacto (por ejemplo, golpe de ariete), viento, terremoto (donde aplique), y aquellas cargas resultantes de expansiones y contracciones térmicas.

Tabla 3.2 Esfuerzo Permissible Básico a Tensión (S) para el Material A-53 Gr. B.

Temperatura °C	S KPa
37,78	137.895,60
93,33	137.895,60
148,89	137.895,60
204,44	137.895,60
260	130.311,35
315,56	119.279,70
343,33	117.211,26
371,11	113.763,87
398,89	89.632,14
426,67	74.463,63
454,44	59.984,59
482,22	44.816,07

Fuente: Código ASME Sección B 31.3 (2008).

Las ecuaciones de diseño y límites de esfuerzos, usadas en este código son las siguientes:

- **Esfuerzos debidos a cargas sostenidas:** La suma de los esfuerzos longitudinales S_L (ver ecuación 2.10) debidos a presión, peso y otras cargas sostenidas no debe exceder S_h (Esfuerzo permisible básico a la temperatura máxima del metal). El espesor de tubo empleado en los cálculos de S_L deberá ser el espesor nominal menos el permisible por corrosión y erosión.
- **Esfuerzos debidos a expansiones térmicas:** El rango de esfuerzos por desplazamientos S_E no deberá exceder el valor de S_A .

$$S_E \leq S_A \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4S_t^2} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$S_t = \frac{M_t}{2Z} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

S_A : Rango de esfuerzo permisible por desplazamiento.

S_b : Esfuerzo de flexión resultante, (KPa).

S_t : Esfuerzo torsional, (KPa).

M_i : Momento flexionante en el plano, (N.m).

M_o : Momento flexionante fuera del plano, (N.m).

i_i : Factor de intensificación de esfuerzo en el plano.

i_o : Factor de intensificación de esfuerzo fuera del plano.

Z: Módulo de sección de la tubería (m^3).

M_t : Momento torsional, (N.m).

$$\text{Cuando } S_h \leq S_L \rightarrow S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$\text{Cuando } S_h > S_L \rightarrow S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad \text{Ec. 3.6}$$

S_c : Esfuerzo permisible básico a la temperatura mínima del metal

f : Factor de reducción de rango de esfuerzo, calculado mediante la ecuación 3.7 ó por medio de la figura 3.8 (302.3.5 del código ASME B 31.3).

$$f = 0,6 \cdot (N)^{-0,2} \leq f_m \quad \text{Ec. 3.7}$$

N: numero de ciclos

$f_m = 1,2$ para materiales ferrosos con resistencia ultima a rotura $\leq 517\text{MPa}$ (75 ksi) a 371 °C (700 °F). de lo contrario $f_m = 1$.

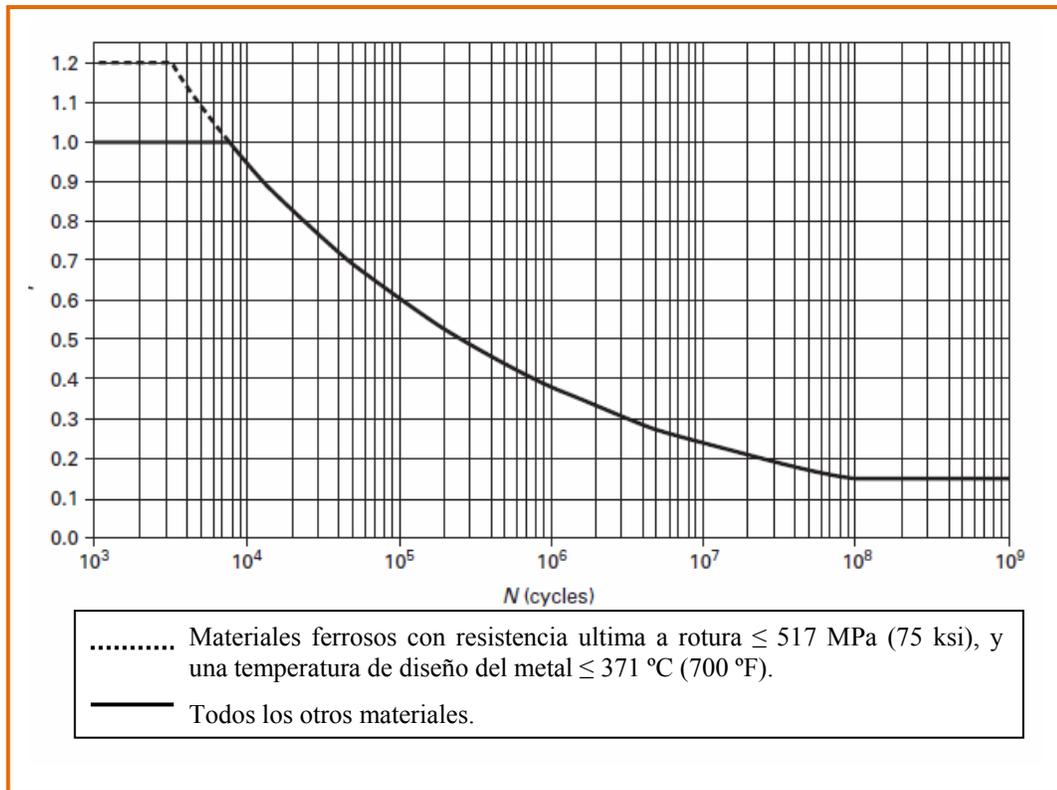


Figura 3.8 Factor de reducción de esfuerzo.
Fuente: Código ASME Sección B 31.3 (2008).

3.6.5 Elaboración del modelo tridimensional en CAESAR II.

Mediante el uso del Software CAESAR II en su versión 4.5 se generó un modelo tridimensional del Múltiple Principal de Carga. Este software es una poderosa herramienta computacional que permite realizar el análisis estático de Flexibilidad de un sistema de tuberías. La Figura 3.9 muestra el modelo tridimensional del Sistema realizado en el CAESAR II.

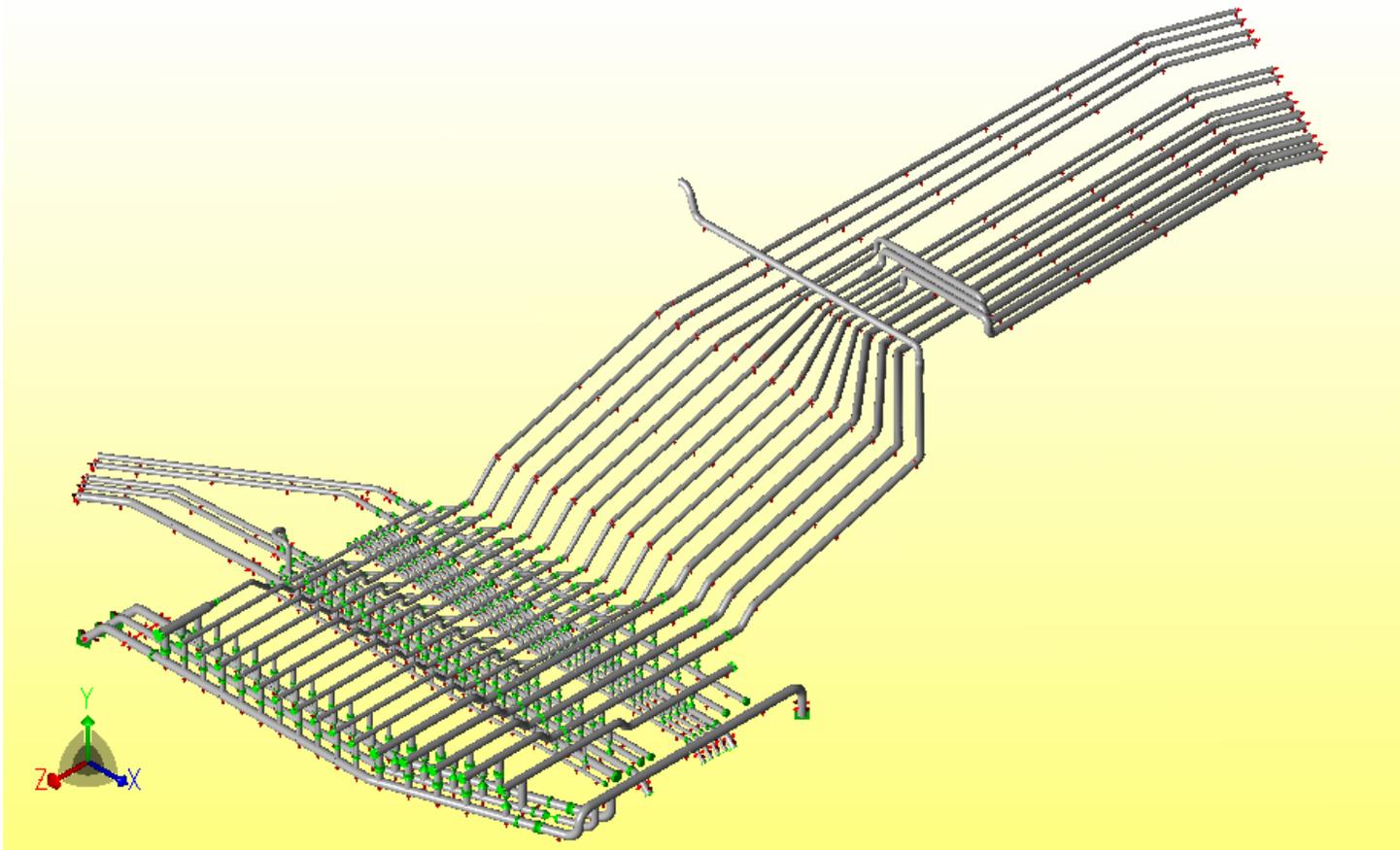


Figura 3.9 Modelo tridimensional del Múltiple Principal de Carga realizado en el CAESAR II.

Para la realización del modelo fue necesario introducir al software por medio de su interfaz (como se muestra en la figura 3.10), la siguiente información:

- Material de las tuberías y propiedades del fluido.
- Longitud, espesor y diámetro de las tuberías.
- Tipos de válvulas y sus respectivas características.
- Soportes, anclajes y restricciones de la tubería.
- Accesorios tales como: codos, tes, entre otros.
- Esfuerzos admisibles y códigos de tuberías a comprobar.

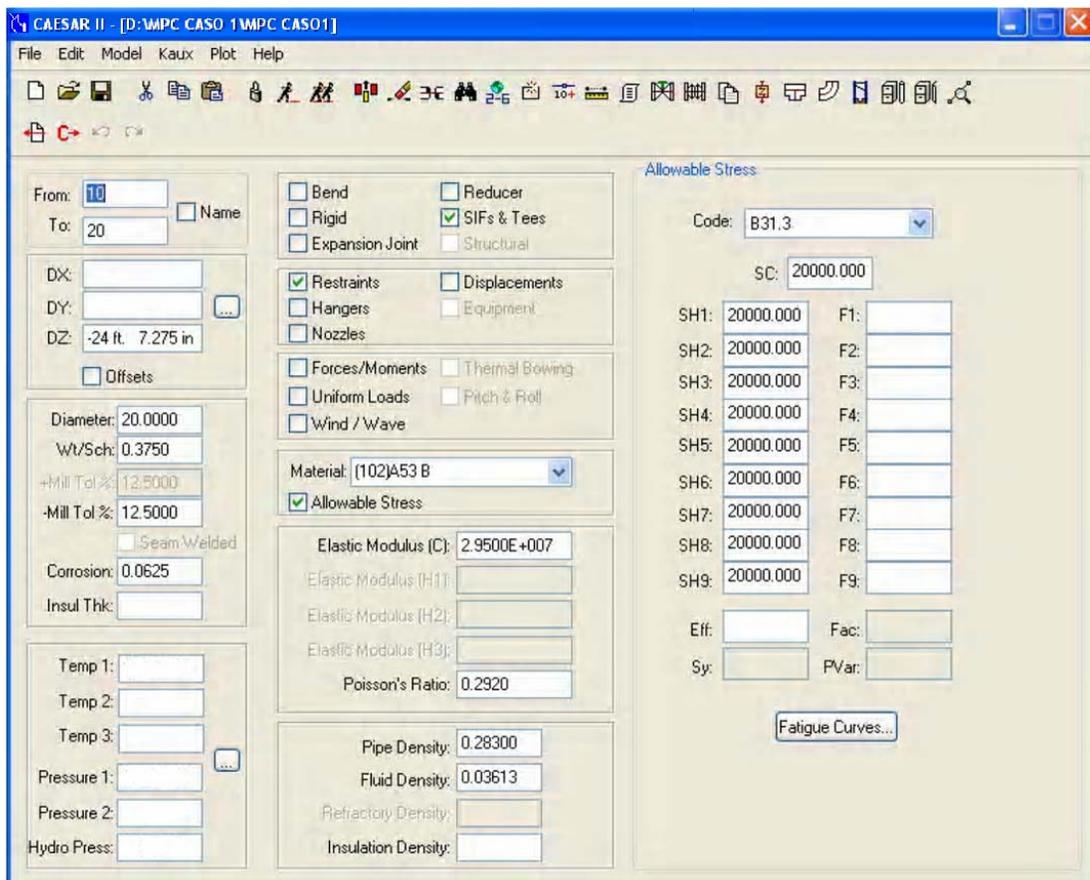


Figura 3.10 interfaz de datos en el Software CAESAR II.

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.

Es importante mencionar que el CAESAR II V4.50, permite al usuario restringir cualquiera de los seis grados de libertad antes mencionados. Además es posible realizar cualquier combinación de restricciones ya sean del tipo traslacional y/o rotacional. Por lo que es posible restringir un único grado de libertad o sólo un sentido del mismo. Estas combinaciones permiten simular cualquier tipo de soporte que tenga el sistema que se desee analizar.

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.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD

En esta sección, se detallan los resultados obtenidos del Análisis Estático de Flexibilidad al Múltiple Principal de Carga. Cabe destacar que como el estudio consta de tres Casos operacionales del sistema, cada uno de ellos fue modelado en un archivo diferente del software.

En el análisis se efectuaron evaluaciones de esfuerzos en las tuberías ocasionados por cargas sostenidas (peso, presión) y por cargas ocasionadas debido a expansiones térmicas; todo esto de acuerdo con el código ASME B31.3.

4.1 Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 1.

4.1.1 Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se presentan la Tabla 4.1 y la Figura 4.1 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas sostenidas para el Caso 1 de funcionamiento, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.1. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 1, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
10120	74180,94	-3026,81	84592,06	137895,6	61

Tabla 4.1. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 1, en el Múltiple Principal de Carga. (Continuación).

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
18120	94603	1054,9	99277,94	137895,6	72
18150	168791,11	-330,95	172590,14	137895,6	125
18160	96175,29	2399,38	99884,68	137895,6	72
18170	110909,43	1027,32	116225,31	137895,6	84
27120	108510,05	6,89	111895,39	137895,6	81

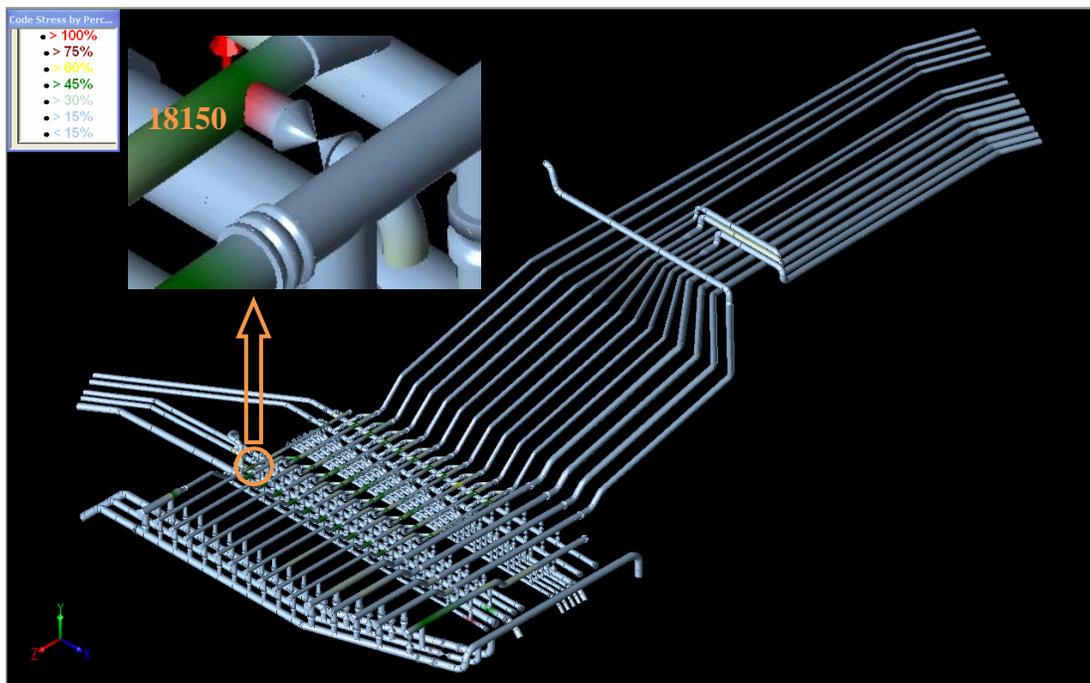


Figura 4.1 Esfuerzos máximos en el modelo para cargas sostenidas en el Caso 1.

En la Tabla 4.1 se puede observar que en el Caso 1, cuando el Sistema está sometido a cargas sostenidas, se genera en el nodo **18150** un esfuerzo mayor que el esfuerzo admisible en un **25%**, este nodo simula la conexión simple de ramal (sin

refuerzo) que hay en la Línea de succión/recibo del tanque 135X3 con el tramo que va hacia la Línea 30. Por si solo este resultado implica la generación de modificaciones en el sistema que permitan solventar la situación antes señalada. El resto de los esfuerzos se encuentra totalmente dentro de los límites del esfuerzo admisible establecido por el código. Es importante señalar que la modificación que se realizará debe ser de forma tal que no incremente los niveles de esfuerzos en el resto del sistema, es decir, sin afectar la condición de permisibilidad en la que se encuentran los nodos cercanos a dicha modificación.

4.1.2 Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se presentan la Tabla 4.2 y la Figura 4.2 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas por Expansión Térmica, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.2. Esfuerzos máximos debidos a Expansiones Térmicas para el Caso 1, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	230609,71	-3185,39	230699,34	206843,41	112
1173	186310,75	-3723,18	186469,33	206843,41	90
6120	180974,19	3702,50	181132,77	206843,41	88
6135	253079,80	-3702,50	253190,12	206843,41	122
6140	189696,09	3916,24	189861,56	206843,41	92
6170	240779,51	-3916,24	240917,41	206843,41	116

Tabla 4.2. Esfuerzos máximos debidos a Expansiones Térmicas para el Caso 1, en el Múltiple Principal de Carga. (*Continuación*)

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
6220	222067,08	-3923,13	222211,87	206843,41	107
6270	213731,29	-3854,18	213876,08	206843,41	103
18110	295868,81	8363,37	296365,23	206843,41	143
22130	205726,45	1909,85	205760,92	206843,41	99

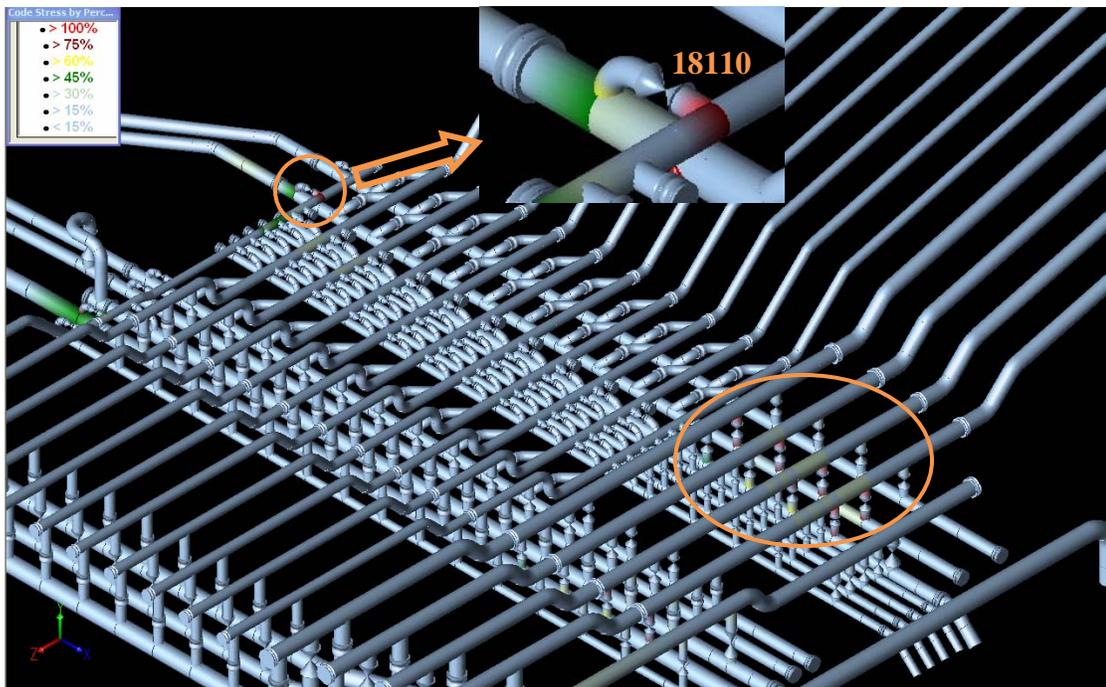


Figura 4.2 Esfuerzos máximos en el modelo para cargas por expansión térmica en el Caso 1.

En los resultados mostrados en la tabla 4.2 se observa que para esta simulación se obtuvieron varios nodos donde el esfuerzo resultante sobrepasa el esfuerzo admisible y por lo tanto no cumplen con el código ASME B31.3, siendo el nodo **18110** con el mayor esfuerzo, **43%** por encima del admisible, este nodo simula

una conexión simple de ramal (sin refuerzo). Los nodos **6120 6135, 6140, 6170, 6220, 6270** tienen la particularidad de que están en los ramales que se unen a la Línea de Carga N°3, por lo que a partir de esto se identificó que esta línea, en la parte que va del Múltiple al mezclador L001, presenta desplazamiento axial lo cual hace que se produzca el esfuerzo en el nodo **18110** y por consiguiente se transmiten desplazamientos que producen los sobreesfuerzos en los nodos anteriormente mencionados. Todos estos nodos que sobrepasan el esfuerzo admisible simulan conexión simple de ramal, al igual que ocurrió para el Caso 1 con Cargas sostenidas, se presentan en los cambios bruscos de dirección, debido a que en los cambios de direcciones (codos y tes) los factores de intensificación de esfuerzos son mayores que en los tramos rectos.

4.2 Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 2.

4.2.1 Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se presentan la Tabla 4.3 y la Figura 4.3 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas sostenidas para el Caso 2 de funcionamiento, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.3. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 2, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
8120	70533,60	-2585,54	82799,42	137895,6	60
18150	168894,54	-317,16	170549,28	137895,6	124

Tabla 4.3. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 2, en el Múltiple Principal de Carga. (Continuación)

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
18160	95996,02	2364,91	97568,03	137895,6	71
18170	111529,96	1034,22	114708,46	137895,6	83
24300	78166,12	-206,84	83392,37	137895,6	60
27120	108565,21	6,89	111950,55	137895,6	81

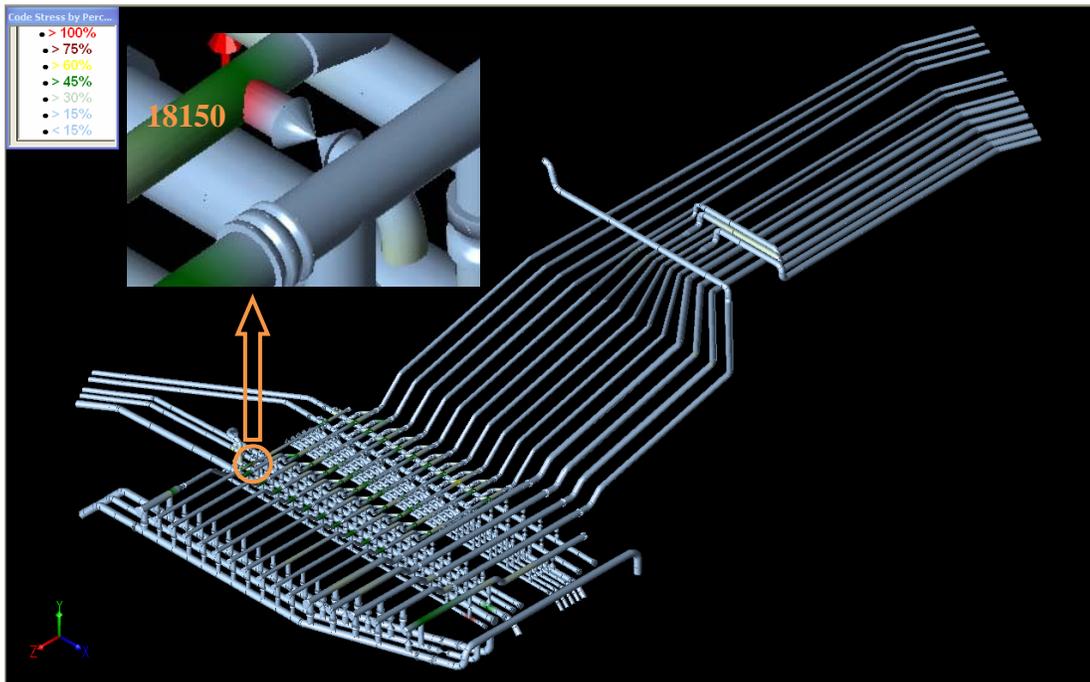


Figura 4.3 Esfuerzos máximos en el modelo por cargas sostenidas para el Caso 2.

En la Tabla 4.3 se puede observar los mayores esfuerzos presentes, por carga sostenida para el Caso 2 de funcionamiento en el Múltiple Principal de Carga, donde al igual que en el Caso 1, se genera en el nodo **18150** el mayor esfuerzo, con un esfuerzo resultante que sobrepasa el admisible en un **24%**, este nodo simula la conexión simple de ramal (sin refuerzo) que hay en la Línea de succión/recibo del

tanque 135X3 con el tramo que va hacia la Línea 30. Es importante recalcar que al realizar alguna mejora al sistema, se deben mantener en los otros nodos esta situación de permisibilidad con respecto al código.

4.2.2 Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se presentan la Tabla 4.4 y la Figura 4.4 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas por Expansión Térmica, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.4. Esfuerzos máximos debidos a Expansiones Térmicas para el Caso 2, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	214862,03	-3219,86	214965,46	206843,41	104
1173	181353,40	-3619,76	181505,09	206843,41	88
2295	171893,76	1992,59	171942,03	206843,41	83
2305	232491,99	2447,65	232547,15	206843,41	112
3295	181629,19	1316,90	181649,88	206843,41	88
3305	206471,09	1647,85	206491,77	206843,41	100
6380	174320,73	-3640,44	174479,31	206843,41	84
18110	247467,45	5391,72	247715,66	206843,41	120
28120	183690,73	-923,90	183704,52	206843,41	89
28130	176506,37	-1130,74	176527,06	206843,41	85

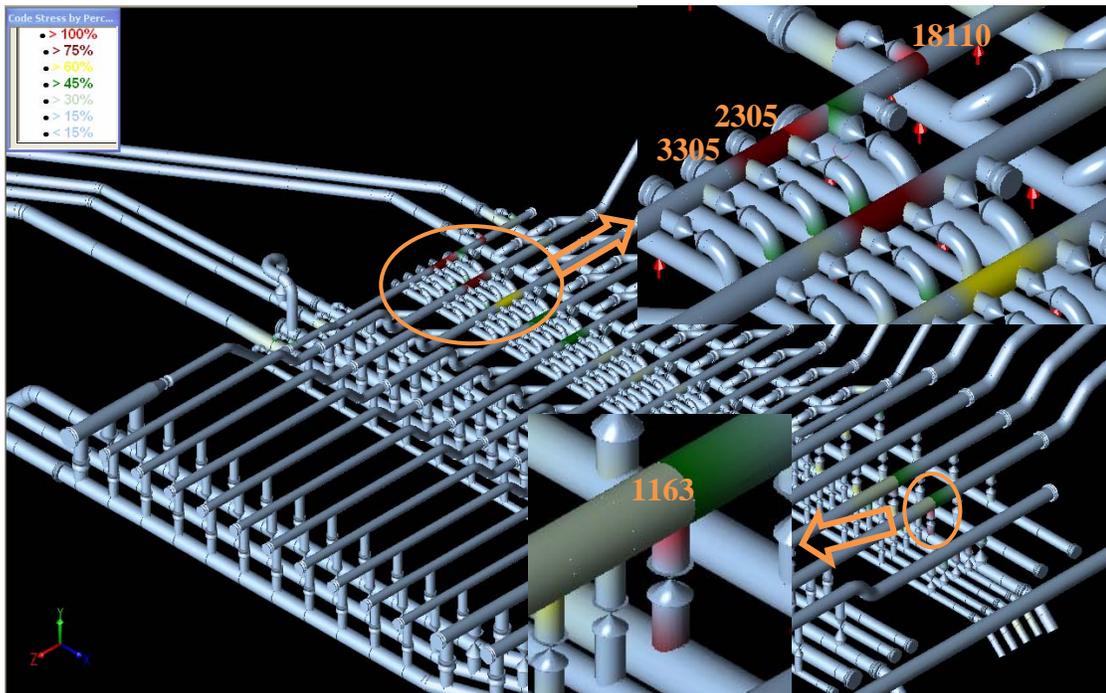


Figura 4.4 Esfuerzos máximos en el modelo para cargas por expansión térmica en el Caso 2.

En los resultados mostrados en la tabla 4.4 se observa que para esta simulación se obtuvieron cuatro nodos donde el esfuerzo resultante sobrepasa el esfuerzo admisible y por lo tanto no cumplen con el código ASME B31.3, al igual que en el Caso 1 de esfuerzos por Expansión Térmica, el nodo **18110** presenta el mayor esfuerzo, con un **20%** por encima del admisible, este nodo simula una conexión simple de ramal (sin refuerzo). Por otra parte se presentan mismos y nuevos nodos con sobreesfuerzos (**1163**, **2305**, **3305**) los cuales siguen siendo conexiones simples de ramal (sin refuerzo) que representan cambios bruscos de dirección, por lo que estas se ven afectadas directamente por las dilataciones de las líneas a cuales están soldadas por ello se ve que están normalmente relacionadas con una línea principal del Múltiple.

Debido a lo antes expuesto el sistema debe ser sometido a modificaciones que le permitan absorber los movimientos ocasionados por la dilatación y así disminuir los esfuerzos de manera tal que se ajuste a lo establecido en el código.

4.3 Análisis de Flexibilidad para funcionamiento Caso 3.

4.3.1 Evaluación de Esfuerzos por Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se presentan la Tabla 4.5 y la Figura 4.5 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas sostenidas para el Caso 3 de funcionamiento, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.5. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 3, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)			Admisible	Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante		
17120	73098,46	-2930,28	83571,63	137895,6	61
18120	94382,65	972,16	96940,61	137895,6	70
18150	168729,06	-344,74	170383,81	137895,6	124
18160	96189,08	2420,07	97754,19	137895,6	71
18170	111240,38	1034,22	114418,88	137895,6	83
27120	108579,00	6,89	111964,34	137895,6	81

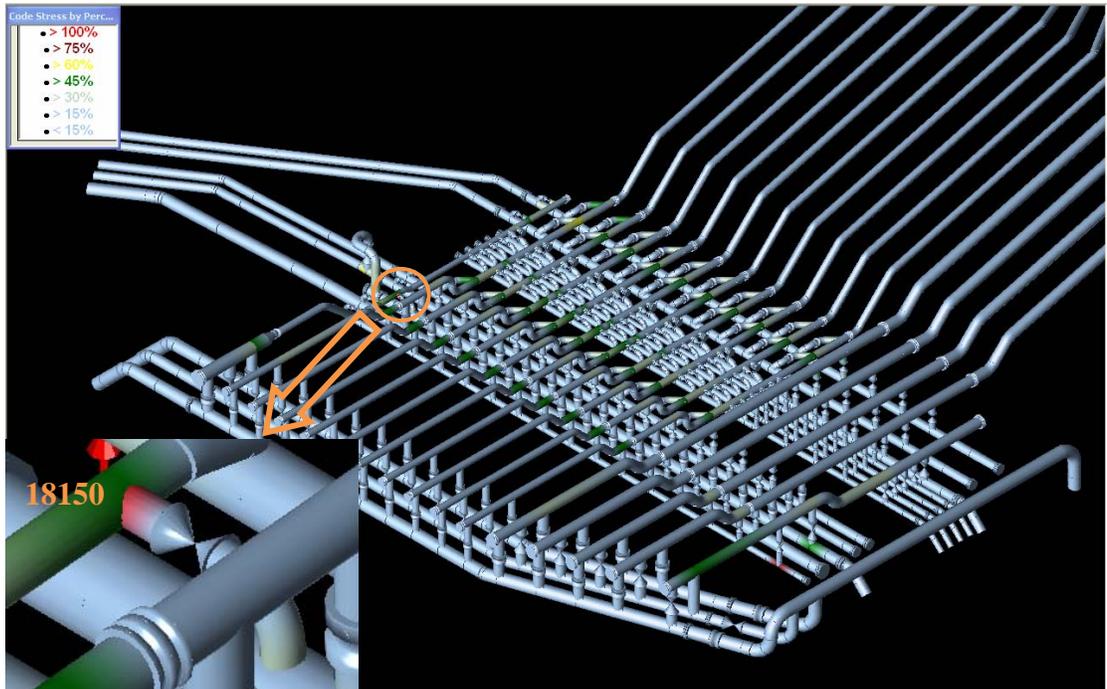


Figura 4.5 Esfuerzos máximos en el modelo por cargas sostenidas para el Caso 3.

En la Tabla 4.5 se observan los mayores esfuerzos presentes, por carga sostenida para el Caso 3 de funcionamiento en el Múltiple Principal de Carga, donde al igual que en los dos Casos anteriores, se genera en el nodo **18150** el mayor esfuerzo, con un esfuerzo resultante que sobrepasa el admisible en un **24%**, este nodo simula la conexión simple de ramal (sin refuerzo). El resto de los nodos no presentan problemas ya que cumplen con el código.

4.3.2 Evaluación de Esfuerzos por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se presentan la Tabla 4.6 y la Figura 4.6 con los mayores esfuerzos del Múltiple Principal de Carga obtenidos, cuando sobre él se simulan las cargas por Expansión Térmica, también se muestra el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3.

Tabla 4.6. Esfuerzos máximos debidos a Expansiones Térmicas para el Caso 3, en el Múltiple Principal de Carga.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	138943,61	-3406,02	139115,98	206843	67
1173	122003,14	-3771,44	122244,45	206843	59
17130	114515,40	-1385,85	114549,88	206843	55
18110	144700,75	3385,34	144866,23	206843	70
18160	110550,91	-1896,06	110619,85	206843	53
23250	111088,70	-1179,01	111109,38	206843	54
26260	112515,92	1482,38	112557,29	206843	54

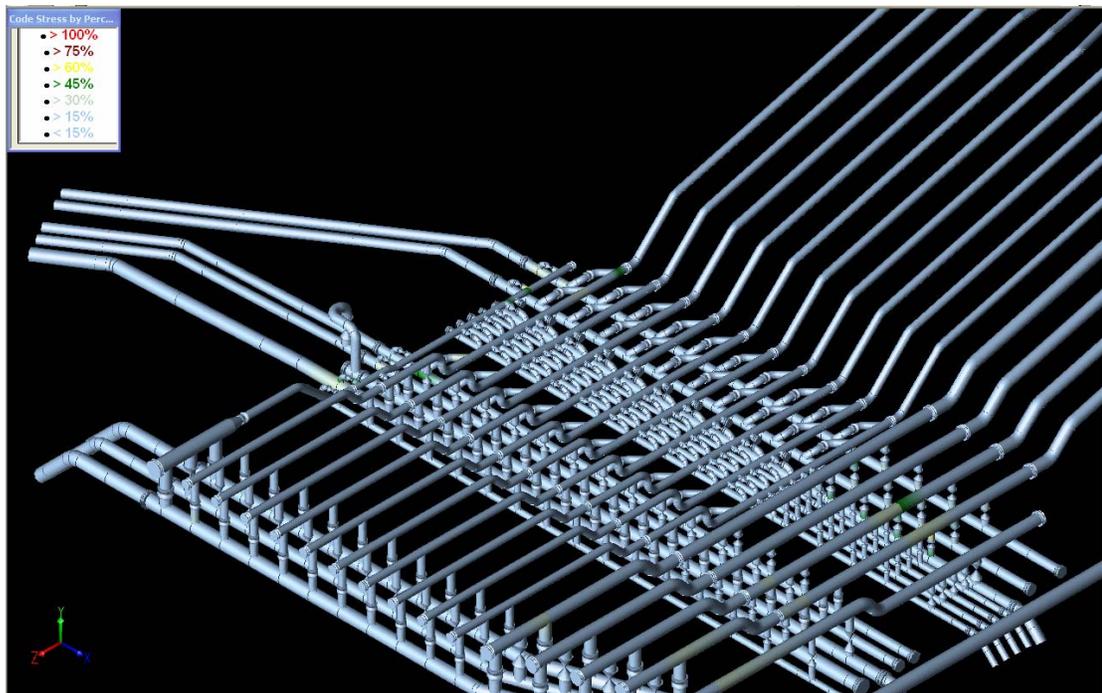


Figura 4.6 Esfuerzos máximos en el modelo para cargas por expansión térmica en el Caso 3.

En la tabla 4.6, de forma general se puede afirmar que todos estos esfuerzos por cargas sostenidas se encuentran dentro de lo establecido por el código de diseño ASME B31.3, esto implica que en el Múltiple para el Caso 3 de funcionamiento no presenta problemas de flexibilidad y por ende no hace falta ninguna modificación por parte de este caso.

4.4 Cargas estáticas ejercidas sobre la soportería del sistema en estudio (Pórticos)

Las cargas ejercidas sobre los pórticos que soportan las líneas que van del Múltiple Principal de Carga hacia los tanques en el cerro de Carga, las cuales fueron requeridas por la empresa para el rediseño de los mismos se encuentran en el **Anexo B**. En la figura 4.7 se observa la distribución y los nodos pertenecientes a la soportería de los pórticos.

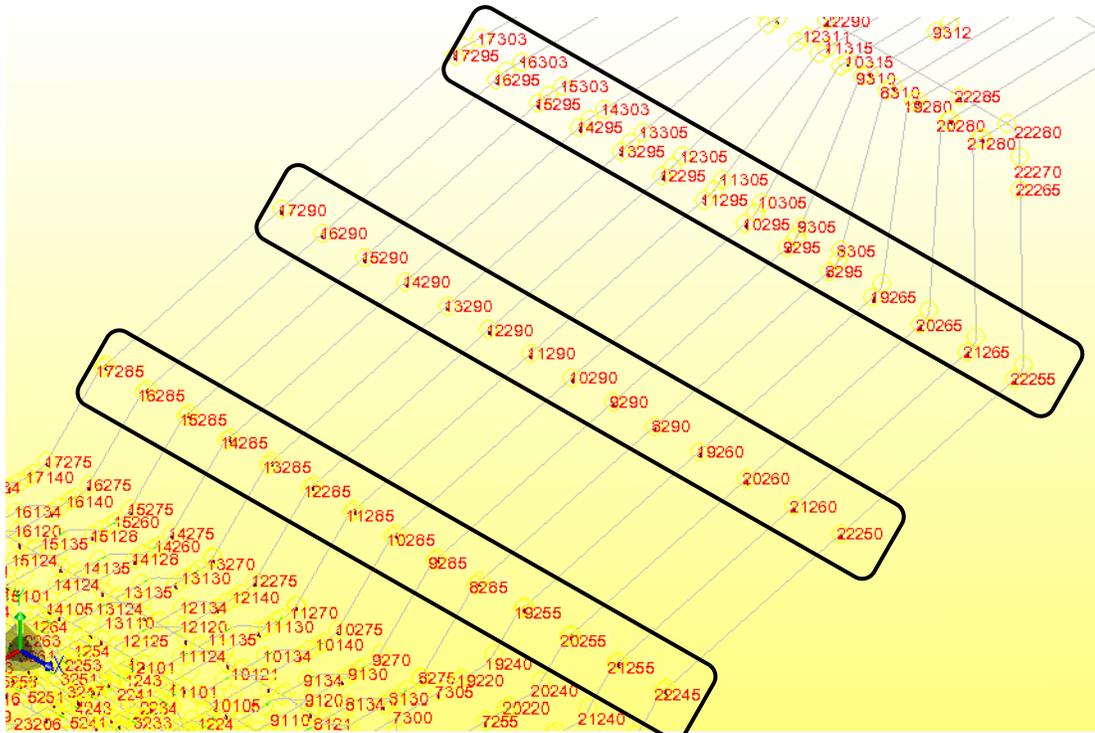


Figura 4.7 Identificación de los nodos que representan los pórticos a rediseñar.

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA

Es de gran importancia señalar que los esfuerzos causados por dilatación térmica a los que se encuentran sometidos los componentes del Múltiple Principal de Carga mostrados en el Capítulo 4, son más significativos que los esfuerzos causados por las cargas sostenidas, ya que presenta más puntos donde se sobrepasa el esfuerzo admisible y con un mayor porcentaje sobre este.

La propuesta consiste en dos lazos de expansión, en las líneas de carga 3 y 4, los cuales permiten bajar las cargas en las conexiones simples de ramal que están presentando problema de flexibilidad, y así cumplir con los valores permisibles por el código ASME B31.3. Los lazos propuestos absorben los desplazamientos en el eje axial de las líneas de carga 3 y 4 que van hacia el mezclador L001, estas estaban produciendo desplazamientos por dilataciones térmicas los cuales arrastraban a su paso las conexiones simples de ramal produciendo en ellos los sobreesfuerzos vistos en el capítulo anterior. También se consideró un soporte de apoyo +Y (nodo 18155) en el punto más adecuados según el espacio en campo, cerca del nodo (18150) que presentó falla bajo cargas sostenidas. La figura 5.1 que se muestra a continuación presenta el modelo tridimensional del nuevo arreglo.

Los lazos de expansión son elementos que permiten gran flexibilidad en las tuberías y más integridad mecánica, pero hay que tomar en cuenta consideraciones de espacio físico disponible en campo. Para solventar los problemas de espacio físico disponible, es donde tienen importancia las juntas de expansión, pero son más sensibles a falla en comparación con los lazos de expansión. En este caso el espacio

físico está disponible para el modelo planteado, lo cual llevo a decirnos por los lazos de expansión.

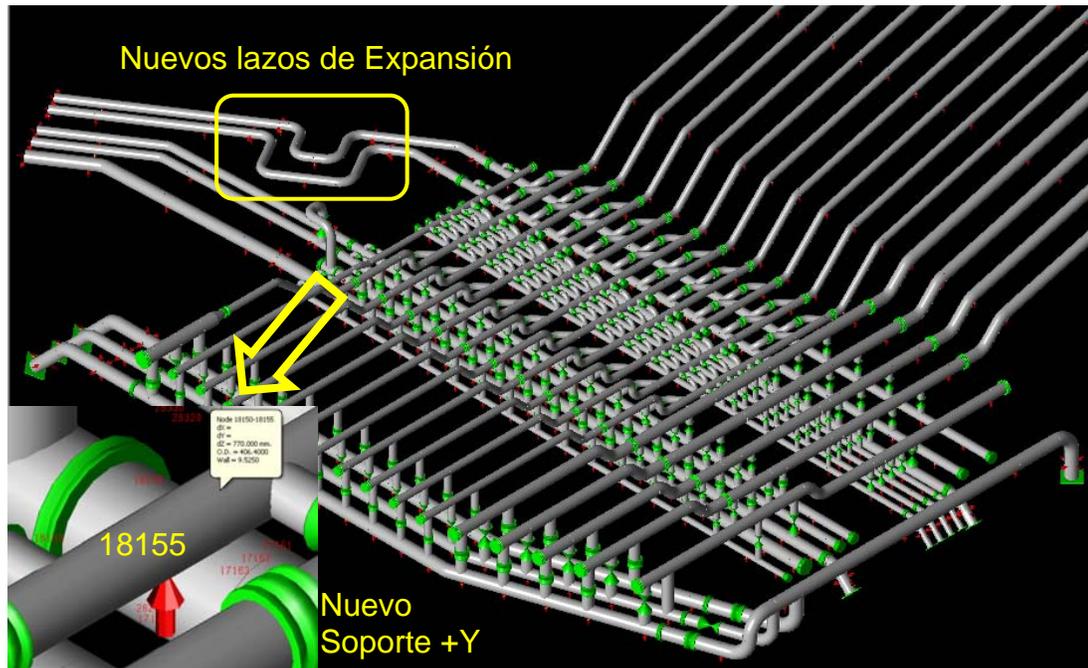


Figura 5.1 Lazos de expansión y soporte propuesto para mejora del sistema.

5.1 Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 1 de funcionamiento.

5.1.1 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se muestran la Tabla 5.1 y la Figura 5.2 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas sostenidas, para el caso 1 de funcionamiento.

Tabla 5.1. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 1, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
10120	73967,20	-3006,12	84385,21	137895,6	61
18120	36976,71	1434,11	43051,01	137895,6	31
18150	79751,92	-524	85274,64	137895,6	62
18160	85274,64	2109,80	93837,96	137895,6	68
18170	86508,81	1323,80	91783,31	137895,6	67
27120	108620,37	13,79	112005,70	137895,6	81

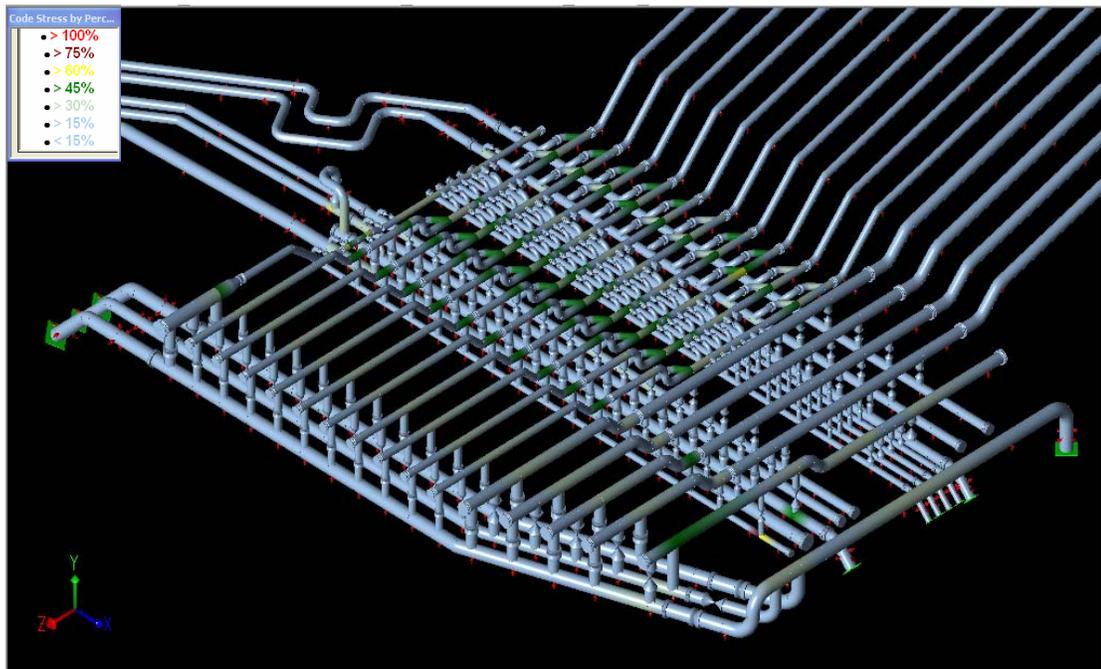


Figura 5.2 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, por cargas sostenidas para el Caso 1.

Se puede observar que el mayor esfuerzo presente actualmente en el nodo **18150** con **125%** del admisible, se redujo a **62%** con el arreglo propuesto, además el resto de los esfuerzos calculados con los nuevos arreglos se mantienen por debajo del

esfuerzo admisible, lo que indica que la modificación realizada no elevó los esfuerzos en la tubería por cargas sostenidas, y el sistema cumple con el código ASME B31.3.

5.1.2 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se muestran la Tabla 5.2 y la Figura 5.3 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas debidas a expansión térmica, para el caso 1 de funcionamiento.

Tabla 5.2 Esfuerzos máximos debidos a cargas por expansión térmica para el Caso 1, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	97767,98	-461,95	97767,98	206843,41	47
1173	66803,53	-661,90	66817,31	206843,41	32
6120	70395,71	930,80	70423,28	206843,41	34
6135	97774,88	-930,80	97788,67	206843,41	47
6140	74994,52	675,69	75008,31	206843,41	36
6170	93624,22	-675,69	93631,11	206843,41	45
6220	81579,04	-620,53	81585,93	206843,41	39
6270	51917,69	-730,85	51938,38	206843,41	25
18110	69196,01	-358,53	69196,01	206843,41	33
22130	179657,29	1392,75	179684,87	206843,41	87

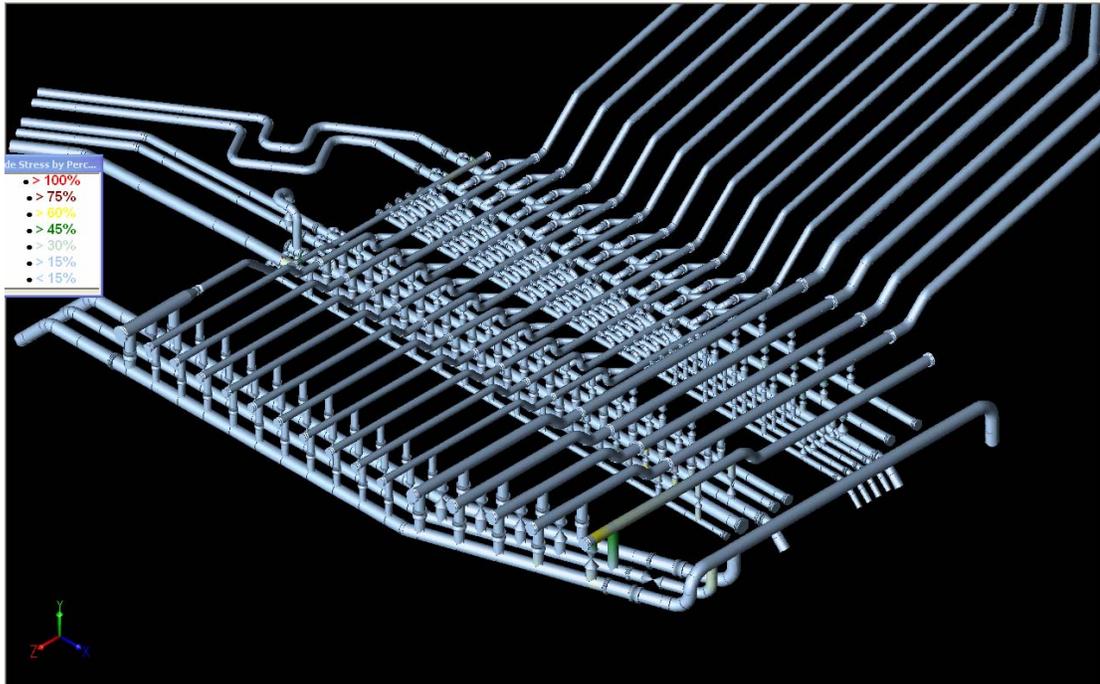


Figura 5.3 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, debido a cargas por Expansión Térmica para el Caso 1

En este caso de cargas por expansión térmica se puede observar que el mayor esfuerzo presente actualmente en el nodo **18110** con **143%** del admisible, se redujo a **33%** con el arreglo propuesto, así como también los nodos **1163**, **6135**, **6170**, **6220**, **6270**, que sobrepasaban el esfuerzo admisible se corrigieron con este nuevo arreglo propuesto. El resto de los esfuerzos calculados con los nuevos arreglos se mantienen por debajo del esfuerzo admisible, lo que indica que la modificación realizada no elevó los esfuerzos en la tubería por cargas sostenidas, y el sistema cumple con el código ASME B31.3.

5.2 Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 2 de funcionamiento

5.2.1 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se muestran la Tabla 5.3 y la Figura 5.4 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas sostenidas, para el caso 2 de funcionamiento.

Tabla 5.3. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 2, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)			Admisible	Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante		
7420	110592,27	365,42	112598,66	137895,6	82
8120	70457,76	-2544,17	82723,57	137895,6	60
18150	80138,03	-468,85	82751,15	137895,6	60
18160	89818,30	2068,43	92500,37	137895,6	67
18170	84523,11	1296,22	87618,87	137895,6	64
24300	78503,97	-213,74	83744,00	137895,6	61
27120	108834,11	6,89	112219,44	137895,6	81

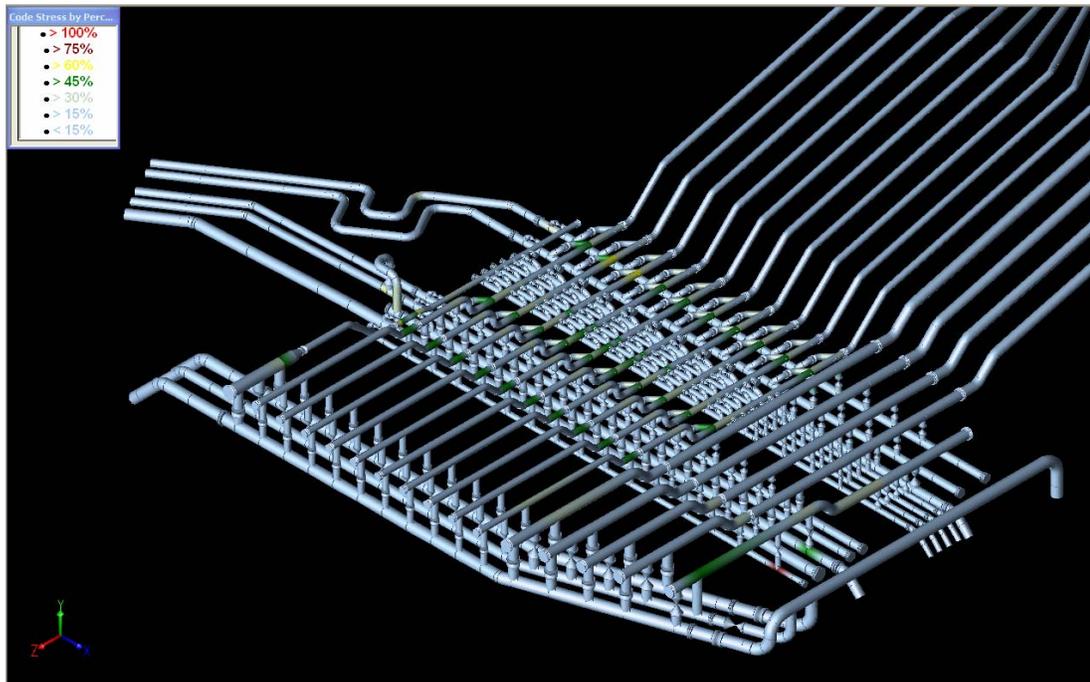


Figura 5.4 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, por cargas sostenidas para el Caso 2.

Al igual que en el análisis de la propuesta para el caso 1 bajo cargas sostenidas se observa, que el mayor esfuerzo presente actualmente en el nodo *18150* con **124%** del admisible, se redujo a **60%** con el arreglo propuesto, y el resto de los esfuerzos calculados con los nuevos arreglos continúan por debajo del esfuerzo admisible, lo que indica que la modificación realizada no elevó los esfuerzos en la tubería por cargas sostenidas, y el sistema cumple con el código ASME B31.3.

5.2.2 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se muestran la Tabla 5.4 y la Figura 5.5 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas debidas a expansión térmica, para el caso 2 de funcionamiento.

Tabla 5.4 Esfuerzos máximos debidos a cargas por expansión térmica para el Caso 2, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	50518,05	289,58	50524,95	206843,41	24
1173	39500,20	179,26	39500,20	206843,41	19
2295	137219,92	2282,17	137295,76	206843,41	66
2305	166308,99	2895,81	166412,41	206843,41	80
3295	152002,32	1199,69	152016,11	206843,41	73
3305	181946,35	2040,85	181987,72	206843,41	88
6380	42134,00	399,90	42147,79	206843,41	20
18110	58536,68	-117,21	58536,68	206843,41	28
28120	178760,97	-20,68	178760,97	206843,41	86
28130	186517,59	-241,32	186517,59	206843,41	90

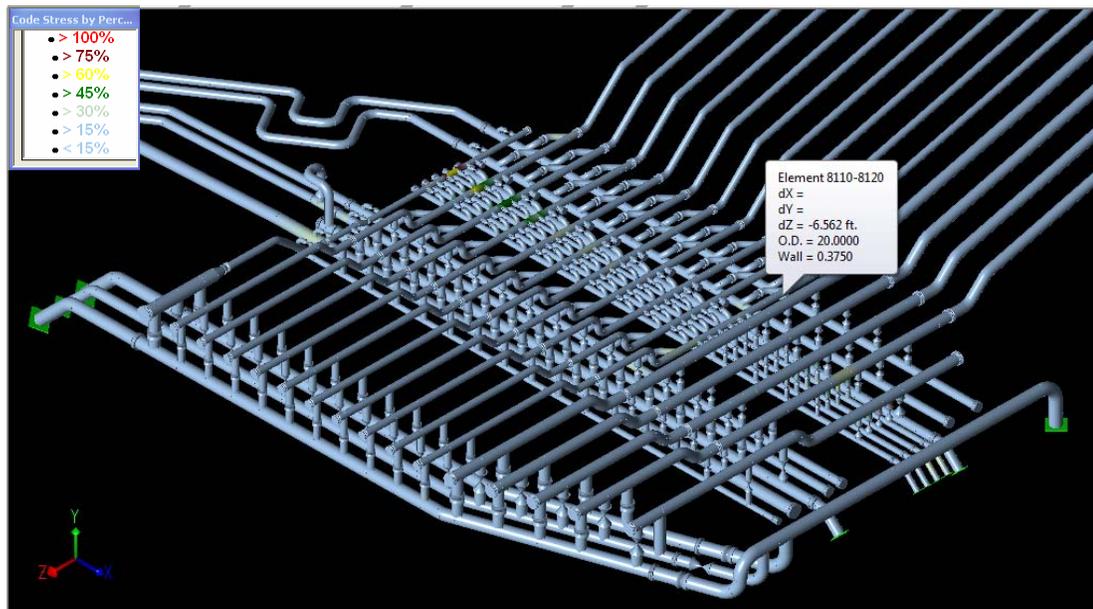


Figura 5.5 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, debido a cargas por Expansión Térmica para el Caso 2.

En la tabla anterior es posible ver que el mayor esfuerzo presente en el nodo **18110**, actualmente con **120%** del esfuerzo admisible se reduce a **28%**, también se observa al igual que en las 3 tablas anteriores que con la propuesta de mejora para el sistema, los otros esfuerzos que sobrepasan actualmente el admisible (**1163**, **2305**, **3305**) y el resto de los esfuerzos están por debajo del admisible, lo cual indica que el sistema posee flexibilidad y cumple con el código ASME B31.3

5.3 Análisis de Flexibilidad del modelo propuesto, con el Caso 3 de funcionamiento

5.3.1 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas Sostenidas (SUS).

A continuación se muestran la Tabla 5.5 y la Figura 5.6 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas sostenidas, para el caso 3 de funcionamiento.

Tabla 5.5. Esfuerzos máximos debidos a cargas sostenidas para el Caso 3, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
17120	70175,07	-2647,60	80682,72	137895,6	59
18120	37321,45	1441,01	40637,83	137895,6	29
18150	78890,07	-468,85	81620,41	137895,6	59
18160	90783,57	2047,75	93507,01	137895,6	68
18170	83992,21	1303,11	87094,86	137895,6	63
27120	108834,11	6,89	112219,44	137895,6	81

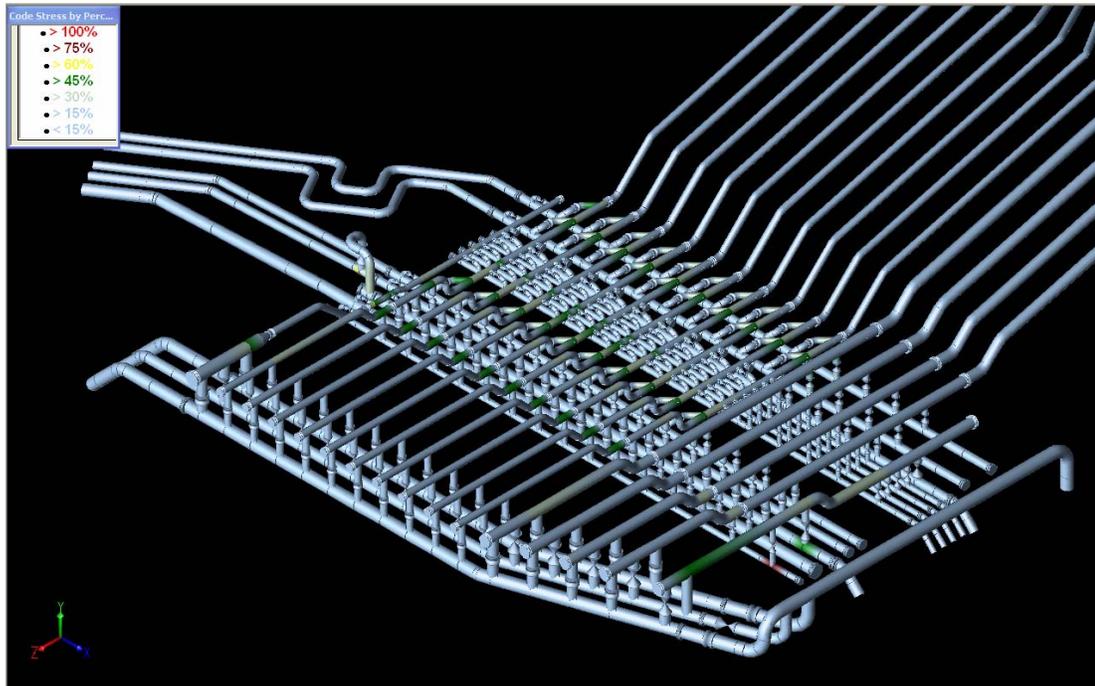


Figura 5.6 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, por cargas sostenidas para el Caso 3.

En este análisis se puede ver de nuevo que la propuesta cumple satisfactoriamente, ya que corrige el sobreesfuerzo por carga sostenida para el caso 3 de funcionamiento, presente en el nodo **18150** llevándolo de **124%** del esfuerzo admisible a **59%** colocándose dentro del rango admisible, sin alterar el resto de los esfuerzos en el sistema y cumpliendo con el código ASME B31.3.

5.3.2 Evaluación del modelo propuesto bajo Cargas por Expansión Térmica (EXP).

A continuación se muestran la Tabla 5.6 y la Figura 5.7 donde se observan los mayores esfuerzos obtenidos de la simulación del modelo propuesto para mejoras del sistema, cuando es evaluado por cargas debidas a expansión térmica, para el caso 3 de funcionamiento.

Tabla 5.6 Esfuerzos máximos debidos a cargas por expansión térmica para el Caso 3, en el modelo propuesto.

Nodo	Esfuerzos (KPa)				Porcentaje %
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1163	6894,78	-399,90	6943,04	206843	3
1173	6798,25	-151,69	6805,15	206843	3
17130	96520,03	2268,38	96630,34	206843	47
18110	33853,37	-958,37	33915,42	206843	16
18160	62080,60	-730,85	110619,85	62094,39	30
23250	85998,59	-882,53	86019,28	206843	42
26260	67479,21	96,53	67479,21	206843	33

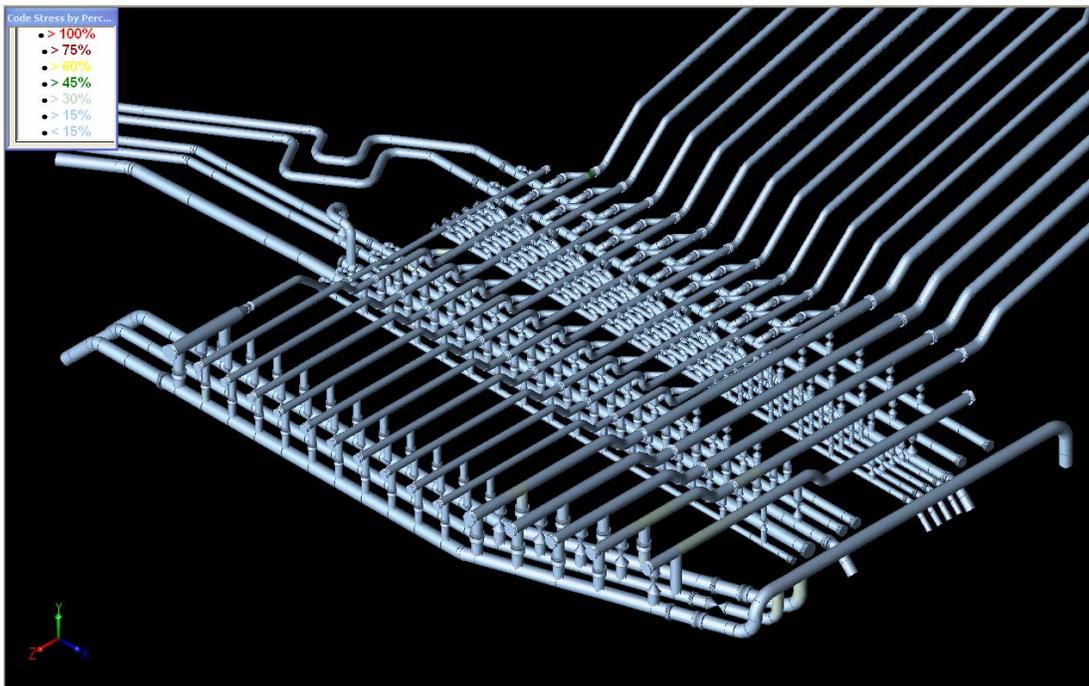


Figura 5.7 Esfuerzos máximos en el modelo propuesto, debido a cargas por Expansión Térmica para el Caso 3.

En este caso el modelo propuesto no genera una mejora como tal, ya que el sistema con el caso 3 de funcionamiento y bajo cargas por expansión térmica, no presentaba sobreesfuerzos, sin embargo con los cambios propuesto, los esfuerzos en el modelo siguen estando dentro del rango admisible y con porcentajes aun más bajos, lo cual brinda más flexibilidad al sistema y cumple con el código ASME B31.3.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

Con base en los resultados obtenidos mediante el desarrollo de este análisis, se concluye:

1. El Análisis de Flexibilidad realizado al Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto La Cruz fue determinante para verificar que existen problemas de flexibilidad en las tuberías del mismo, esto ocasionado fundamentalmente por cargas debido a expansión térmica.
2. Los mayores esfuerzos por expansión térmica, se presentaron en los cambios de direcciones de las tuberías (codos y conexiones), siendo el nodo **18110** donde se registro el mayor esfuerzo por este tipo de carga.
3. El mayor y único esfuerzo que sobrepaso el admisible por cargas sostenidas se registró en una conexión simple de ramal, en el nodo **18150**.
4. El modelo presenta resultados totalmente diferentes al evaluar los esfuerzos por cargas de expansión térmica, con los distintos casos de funcionamiento presentes en el Múltiple Principal de Carga, y presenta resultados muy parecidos al evaluar los esfuerzos por cargas sostenidas en los diferentes casos de funcionamiento.

5. Con el estudio de flexibilidad de la propuesta realizada, se verificó que el modelo satisface las diferentes operaciones del sistema cumpliendo con las especificaciones normadas por PDVSA H-221 y el código ASME B31.3, lo cual refleja la importancia de los lazos de expansión en un sistema de tuberías.

6.2 Recomendaciones.

1. Realizar el análisis dinámico de flexibilidad al Múltiple Principal de Carga para asegurar el perfecto estado de este sistema.
2. Realizar planos isométricos de todo el sistema con identificación de soportes y accesorios lo cual permitirá agilizar y tener información más precisa y actualizada, en el momento que se desee realizar alguna modificación de este.
3. Verificar restricciones y apoyos para determinar si existen restricciones inactivas, de manera que algunas tuberías del sistema no estén apoyadas o presenten libres desplazamientos donde no deberían.
4. Implementar las mejoras propuestas en este documento, para minimizar las cargas presentes en el sistema y asegurar que los esfuerzos no sobrepasen el admisible por el código ASME B31.3. Es importante tener en cuenta que deben realizarse siguiendo exhaustivamente las geometrías dispuestas en las mejoras y colocando los soportes que se indican en las mismas. Cualquier cambio, por más pequeño que parezca puede generar sobreesfuerzos, ocasionar daños en el sistema e incumplir con el código.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía citada.

- [1] URRIETA CHRISTIAN **“Análisis estático de flexibilidad de la línea de crudo de la unidad de destilación atmosférica da-1 de la refinería Puerto La Cruz”**. UDO. Puerto la Cruz .Venezuela (2008).
- [2] MOLERO YSRAEL **“Análisis estático de flexibilidad en las líneas de succión y descarga de las bombas GA-15-10 y GA-7-10 de casa de bombas en la refinería Puerto La Cruz.”** UNEFA. Puerto Cabello. Venezuela (2004).
- [3] LUÍS AVALO **“Estudio de flexibilidad al sistema de recibo de asfalto de la refinería 60/70 de la Refinería de Puerto La Cruz”** UDO. Puerto la Cruz .Venezuela (1997)
- [4] GRACIANO CARLOS **“Análisis de flexibilidad de sistemas de tuberías”**, Caracas, Venezuela (2006).CÓDIGO ASME, **“ASME B31.3 Tuberías Para Procesos (Químicos y refinerías de Petróleo)”**, USA (1993).
- [5] CÓDIGO ASME, **“ASME B31.3 Tuberías Para Procesos (Químicos y refinerías de Petróleo)”**, USA (1993).
- [6] KELVIN GARCÍA **“Análisis de flexibilidad en las líneas de succión de las bombas de transferencia y de los tanques de almacenamiento de crudo de la refinería Puerto La Cruz”** UDO. Puerto la Cruz .Venezuela (2008).
- [7] DE CASTRO CARLOS ARMANDO **“Teorías de falla bajo cargas estáticas”**, Bogotá, Colombia.

Bibliografía adicional

- BRICEÑO MARÍA ISABEL **“Guía para la elaboración de informes técnicos y tesis de grado”** Mérida, Venezuela (2005).
- COADE, ENGINEERING SOFTWARE **“Caesar II Technical Reference Manual”** versión 4.50, Junio (2004).
- EGOR P POPOV, **“Mecánica de Materiales”** ,9na Edición, Editorial LIMUSA, México (1995).
- FERDINAND P. BEER–E. RUSSELL JOHNSTON, JR, **“Mecánica de Materiales”** ,2da. Edición, Editorial McGraw-Hill, Colombia (1993).
- **“Manual Instructivo de la Refinería Puerto La Cruz”**, (2000)
- PDVSA, **“Descripción de procesos operativos de la gerencia de movimiento de crudos y productos”** Septiembre (2005).
- REPRESENTACIONES CAESAR **“Curso de Análisis de Esfuerzo en Tuberías”**, Dictado por Ing. Reinaldo Pinto, Refinería Puerto La Cruz, Noviembre (2000).
- R&M TRAINING GROUP, **“Análisis de flexibilidad de tuberías nivel avanzado usando el Caesar II”**, octubre 2006.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	Análisis estático de flexibilidad al Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto La Cruz.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E- MAIL	
Bustamante C. Jackson A.	CVLAC:	17.466.829
	E MAIL:	jacksonbustamante@gmail.com
	CVLAC:	
	E MAIL:	
	CVLAC:	
	E MAIL:	

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Flexibilidad

Análisis

Esfuerzos

Estatico

Tuberia

Caesar II

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	
	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

Se realizó un Análisis Estático de Flexibilidad del Múltiple Principal de Carga de la Refinería Puerto la Cruz, empleando el software de análisis de esfuerzos en tuberías CAESAR II. Se obtuvieron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, en tres casos diferentes de funcionamiento del sistema, estos esfuerzos se compararon con los permisibles por el código ASME B31.3, además se obtuvieron también las cargas sobre los pórticos que sostienen las tuberías que van hacia los tanques de carga. De los esfuerzos obtenidos en el sistema se registraron puntos en el sistema que se encuentran fuera de los límites de esfuerzos permisibles, tanto por cargas de expansión térmica como por cargas sostenidas. Debido a esto se realizaron propuestas para la mejora del sistema. Seguidamente se realizó un análisis de flexibilidad en el modelo propuesto, donde se verificó que el sistema se encuentra bajo los valores permisibles por los códigos y estándares internacionales de diseño.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_ MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Gaetano, Sterlacci	CVLAC:	8.871.360			
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Rhonald, Fuentes	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Carlos, Da Silva	CVLAC:	3.358.186			
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Félix, Payares	CVLAC:				
	E_ MAIL				
	E_ MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	05	11
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Análisis de Flexibilidad.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: Depto. Ing. Técnica/ Refinería Puerto La Cruz (OPCIONAL)

TEMPORAL: 6 Meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE/ NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“Los trabajos de grado son 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 participará al Consejo Universitario”.

Bustamante C. Jackson A.

AUTOR

Gaetano Sterlacci

TUTOR

Carlos Da Silva

JURADO

Félix Payares

JURADO

Diógenes Suárez

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS