

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



**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO A SER INSTALADO DESDE
EL ÁREA MAYOR OFICINA (AMO) HASTA EL ÁREA DE
TRAMPAS DE HERRAMIENTAS SAN JOAQUÍN”**

Realizado por:
LUIS ALEJANDRO OCHOA AMUNDARAIN

*Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial
para optar el Título de*

INGENIERO MECÁNICO

Puerto la Cruz, Enero de 2009.

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



**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO A SER INSTALADO DESDE
EL ÁREA MAYOR OFICINA (AMO) HASTA EL ÁREA DE
TRAMPAS DE HERRAMIENTAS SAN JOAQUÍN”**

ASESORES

Prof. Orlando Ayala R.
Asesor Académico

Ing. Mec. Geobanny Guerra
Asesor Industrial

Puerto la Cruz, Enero de 2009.

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



**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO A SER INSTALADO DESDE
EL ÁREA MAYOR OFICINA (AMO) HASTA EL ÁREA DE
TRAMPAS DE HERRAMIENTAS SAN JOAQUÍN”**

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Orlando Ayala R.
Asesor Académico

Prof. Anabelis Rodríguez
Jurado Principal

Prof. Henry Espinoza
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Enero de 2009.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grados son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrá ser utilizado a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo de grado culmino otra etapa de mi vida, logro otra meta trazada, la que nunca pude haber alcanzado sin la ayuda de muchas personas que siempre han estado a mi lado apoyándome:

Mis padres, Osvaldo y Milena, no tengo como agradecerles todo lo que han hecho por mí, siempre orientándome, motivándome a avanzar cada día más, celebrando mis logros, levantándome en las caídas, no puedo pedir más de uds.... LOS AMO.

Mi hermano Oswaldo a pesar que tenemos varios años que no vivimos juntos, siempre he contado con tu apoyo, con los años cada vez es son menos frecuentes las visitas y conversaciones, pero sé que siempre contaré contigo. Te quiero kike. Gracias por siempre estar cuando te he necesitado.

Jessica, como te puedo agradecer... desde hace ya más de dos años que he podido contar contigo y has hecho tanto por mi que pareciera que has estado toda la vida a mi lado, No me puedo imaginar que sería de este logro sin ti, si tu has sido uno de los pilares principales de este trabajo, has sido mi motivación, eras quien me daba fuerzas para seguir cada vez que había un tropiezo... Siempre aconsejándome como hacer las cosas para que no tuviera problemas, siempre brindándome tu ayuda cuando la necesite y cuando no también y se que lo seguirás haciendo en mil metas más que faltan por lograr... Eres una persona muy especial en mi vida no tienes idea lo que significas para mi niñita linda.. Eres mi mejor amiga, mi novia mi todo... gracias por estar a mi lado en todo momento y hacerme crecer junto a ti. Este logro es tuyo también, te mereces todo. Te amo.

Mis amigos de toda la vida.... Quienes siempre me han brindado de su amistad y apoyo para que esta meta se hiciera realidad, Omar, Steven, Gazelith, Patricia y

Mariale (tu no de tan allá pero te considero así). Los quiero demasiado significan mucho para mi.

Juvenal y Tadeo... fueron y son mis hermanitos que encontré en la universidad, mucha gente piensa que de la UDO no sale nada bueno y uds demuestran que es así jejeje mentira, me siento muy afortunado de haber contado con uds y se que lo puedo seguir haciendo, mil gracias mis hermanos por estar siempre que los necesité a mi lado se les quiere mucho.

Fueron tantas noches de estudio, tantos amaneceres en casas de diferentes compañeros, pero como olvidar donde siempre fui recibido como en mi casa... Sra. Edith (Maita) gracias por toda su colaboración, apoyo y consejos a lo largo de toda la carrera. Se le quiere mucho Maita.

Caracas, Igor, José Félix, Simoncito, Luis Daniel, Eduardo, Carla, Indira, Virginia, Luis José, Luis Villanueva, Barbara, Luis Loco, Manuel, Rodolfo, Jesús, Javier, Julio, Naty, Inmo, Luis Daniel, Marco, Chacón, Paolucci, Culo, Álvaro (el asco) Peluche, Juan P, Cesar Maduro, Angélica, con uds he compartido muy buenos momentos, y he tenido la suerte de poder aprender algo de cada uno, que de una u otra forma me ayudo a lograr esta meta, gracias por estar y brindarme su apoyo cuando lo he necesitado.

Prof. Luis Martínez, Orlando Ayala padre e hijo quienes no solo me enseñaron de una materia y en el caso del Prof. Ayala (padre) me guiara en mi tesis.. Si no que con muchas conversaciones a las que siempre han estado dispuestos a compartir conmigo, ayudaron a formarme como persona y profesional mil gracias.

Rolando Ayala, quien sin ningún beneficio personal siempre me brindó su colaboración para lograr esta meta.

En Inelectra no solo tuve la oportunidad de realizar mi pasantía de grado e iniciar mi carrera profesional si no de conocer personas de que a pesar del poco tiempo que

llevamos conociéndonos, me han brindado su apoyo de forma incondicional, Virgi te debo mucho, me diste las herramientas, consejos y apoyo para realizar este trabajo sin dejar de incluir la amistad que me has brindado eres una excelente persona. Geobanny, siempre buscaste el tiempo y la forma de ayudarme a resolver mis dudas y de guiarme, gracias por asesorarme en este trabajo.. sin dejar de incluir a las demás amistades como la de Daniel (shifu), María (Negra), Mariita, Rosy, Zandra (Srta. Gocha), Luisana, Juan Pablo, Eduardo, Jonh, Jonathan, Oscar, Super Mor, Geraldine, Sra. Adoración, Sr Álvaro, Luis Urdaneta, Gabriel, Jesús Rodríguez, todos uds mi han brindado de su apoyo y conocimiento siempre que lo he necesitado mil gracias por ser tan buenos amigos.

DEDICATORIA

Dedicada a mi familia, quienes siempre han sido mi inspiración, y me han guiado para lograr mis metas, nunca han dudado de mí y siempre han estado a mi lado apoyándome en los momentos buenos y malos, dándome sabios consejos que siempre me han traído buenos resultados, los amo. Siempre contarán conmigo.

A Jessica (Niñita) por siempre estar a mí ahí brindándome todo el amor y apoyo que me has dado, siempre muy pendiente de mí ayudándome en todo lo que necesito, solo estando a mi lado haces que todo sea más fácil y tenga sentido, siempre me impulsas a mejorar más, y has sido mi motivación para alcanzar este y otros logros que he tenido. Te amo bella eres mi todo.

A mis mejores amigos: Omar y Juvenal quienes siempre han estado a mi lado, a pesar de mil diferencias que han existido, siempre apoyándome de manera incondicional en todo lo que he necesitado, me han demostrado que siempre puedo contar con uds, forman parte de mi vida, los amo a los dos por ser como son y por enseñarme lo que es una amistad, siempre pueden contar conmigo como yo lo he hecho con uds, son los mejores.

RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el diseño mecánico propuesto para el nuevo sistema de transferencia de petróleo a ser instalado desde el Área Mayor Oficina hasta el Área de Trampas de Herramientas de San Joaquín mediante un análisis de flexibilidad y evaluación de golpe de ariete. Primeramente se chequearon los espesores seleccionados para las diferentes líneas del sistema de transferencia de manera de comprobar que cumplan con el valor permisible por la norma ASME B31.4. Mediante el análisis de flexibilidad realizado con los resultados del software CAESAR II se garantizó que los esfuerzos: por expansión térmica, sostenidos y eventos ocasionales (sismos) no excedan los valores máximos permisibles. La evaluación del golpe de ariete permitió determinar que el efecto de la sobrepresión generada por el cierre instantáneo de la válvula de bloqueo ubicada en la trampa de recibo, no compromete la integridad del sistema mecánico ni sobrepasa el valor permisible por la norma sin necesidad de seleccionar algún sistema de mitigación del efecto de golpe de ariete, por último se seleccionaron los soportes del oleoducto según las cargas reportadas por el análisis de flexibilidad. Con la evaluación realizada se garantiza la integridad mecánica del nuevo sistema de transferencia, al cumplir con los requerimientos de la norma ASME B31.4 y las necesidades del cliente.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
CONTENIDO	V
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	18
1.1 Presentación de la Empresa	18
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo General	21
1.3.2 Objetivos Específicos	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2.1 Antecedentes de la Investigación	23
2.2 Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías	24
2.3 Análisis de Flexibilidad por Computadora	24
2.3.1 Soportería	25
2.4 Golpe de Ariete	27
CAPÍTULO III: CÁLCULOS GENERALES	35
3.1 Verificación de Espesores de Tuberías	38
3.2 Análisis de Flexibilidad	43
3.2.1 Condiciones del sitio	43
3.2.2 Características del fluido	45
3.2.3 Filosofía de operación	45
3.2.4 Descripción del modelo implantado	48
3.3 Simulaciones	49
3.4 Golpe de Ariete	62
3.4.1 Determinación de la velocidad de la onda del golpe de ariete	63
3.4.2 Determinación de la magnitud de la sobrepresión inicial	64
3.5 Selección de soportes	65
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
4.1 Conclusiones	76
4.2 Recomendaciones	77
BIBLIOGRAFÍA	78
APÉNDICE	80

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.2.1 – Esquema actual del sistema de transferencia desde AMA Este y AMO hasta el Patio de Tanques Anaco	13
Figura 1.2.2 – Esquema del nuevo sistema de transferencia de crudo desde AMA ESTE y AMO hasta el Patio de Tanques Anaco	14
Figura 2.4.1 – Esquema de expansión de la tubería producto del cierre una válvula	21
Figura 2.4.2 - Esquema del avance de la onda de presión	22
Figura 2.4.3 - Esquema de la onda de depresión	22
Figura 2.4.4 - Esquema de la normalización del efecto del golpe de ariete	23
Figura 3.1 - Sistema de transferencia de petróleo desde el Centro Operativo Mata R hasta Área de trampas de herramientas de San Joaquín	28
Figura 3.2 - Modelo implantado de la trampa de envío TE-33001 y líneas asociadas	29
Figura 3.3 - Modelo implantado de trampa de recibo TR-33002 y líneas asociadas	29
Figura 3.4 - Inicio del lateral Mata R hasta su punto de entierre	29
Figura 3.2.1 - Filosofía de operación 1E1 [Fuente Propia]	39
Figura 3.2.2 - Filosofía de Operación 1F1 [Fuente Propia]	39
Figura 3.3.1 - Bayoneta típica para pasos de ríos y vías	47
Figura 3.3.2 - Tramo superficial en la estación de válvulas la ceibita (salida)	48
Figura 3.3.3 - Tramo superficial en la estación de válvulas la ceibita (entierre)	48
Figura 3.3.4 - Modificación de bayonetas típicas	50
Figura 3.3.5 - Tramo superficial modificado en la estación de válvulas la ceibita (salida)	52
Figura 3.3.6 - Tramo superficial modificado en la estación de válvulas la ceibita (entierre)	52
Figura 3.5.1 - Ubicación de los soportes a la salida de la trampa de envío TE-	60

33001 (Planta)	
Figura 3.5.2 - Ubicación de los soportes a la salida de la trampa de envío TE-33001 (Elevación)	61
Figura 3.5.3 - Ubicación de los soportes en la estación de válvulas la ceibita (Planta)	61
Figura 3.5.4 - Ubicación de los soportes en la estación de válvulas la ceibita (Elevación)	62
Figura 3.5.5 - Ubicación de los soportes a la llegada de la trampa de recibo TR-33002 (Planta)	62
Figura 3.5.6 - Ubicación de los soportes a la llegada de la trampa de recibo TR-33002 (Elevación)	63
Figura 3.5.7 - Soporte MA-02-47 seleccionado	64
Figura 3.5.8 - Soporte accesorio PL-40-06	65
Figura 3.5.9 - Plancha base PL-10-04	66

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 3.1 - Líneas evaluadas	30
Tabla 3.1.1 - Espesores de pared de tuberías y materiales según especificación PDVSA HA-211-POT (E9)	31
Tabla 3.1.2 - Espesores de pared de tuberías y materiales según especificación PDVSA HA-211-POT (B9)	32
Tabla 3.1.3 - Valores de Mínimo Esfuerzo de fluencia especificado y factor de unión longitudinal	33
Tabla 3.1.4 - Espesores de tuberías mínimos calculado y seleccionados	35
Tabla 3.2.1 - Características de los modelos de suelos	37
Tabla 3.2.2 - Características de las corrientes asociadas a la filosofía de operación 1E1	40
Tabla 3.2.3 - Características de las corrientes asociadas a la filosofía de operación 1F1	45
Tabla 3.3.1 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de diseño	45
Tabla 3.3.2 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de operación	46
Tabla 3.3.3 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías bajo carga ocasional (sismo) en condiciones de operación 1E1	53
Tabla 3.3.4 - Desplazamientos obtenidos en los nodos 7010 y 3110	53
Tabla 3.3.5 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de diseño	54
Tabla 3.3.6 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de operación	54
Tabla 3.3.7 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías bajo carga ocasional (sismo) en condiciones de operación 1E1	54
Tabla 3.3.8 - Máximos desplazamientos y rotaciones del sistema de tuberías en condiciones de operación 1E1	55
Tabla 3.5.1 - Cargas sobre los soportes	59
Tabla 3.5.2 - Cargas y alturas máximas	64

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación de la Empresa

INELECTRA SACA, fundada en 1968 en Venezuela, es una empresa que abarca toda la cadena de servicios desde los estudios de factibilidad, ingeniería, procura, gerencia de construcción y construcción directa, hasta actividades de operación y mantenimiento.

En sus 40 años de operaciones ha ejecutado más de 1500 proyectos integrales para el sector petrolero, petroquímico e industrial, incluyendo proyectos mayores IPC suma global. Esta gestión representa más de 28 millones de horas-hombre de servicios profesionales.

La capacidad total acumulada de manejo de crudo y gas de las instalaciones de producción diseñadas y/o construidas por la empresa, está por encima de 1.250.000 barriles por día y unos 42,48 metros cúbicos estándar por día de tratamiento y compresión de gas.

En Venezuela, INELECTRA SACA ha participado en la ingeniería, procura y construcción de más de 20 plantas de generación de electricidad para el sector eléctrico y la industria petrolera. Estos proyectos incluyen las dos mayores plantas termoeléctricas en operación en el país con una capacidad instalada de 3.800 MW.

En el segmento de plataformas marítimas, la compañía cuenta con una vasta experiencia en el diseño, suministro y fabricación de plataformas para producción de hidrocarburos costafuera y de plataformas habitacionales.

1.2 Planteamiento del Problema

Para el diseño de los sistemas de tuberías es necesario realizar el estudio de los diferentes esfuerzos (Análisis de flexibilidad) a los que puedan estar sujetos dichos sistemas durante su operación. Se debe garantizar que no existan fallas en los materiales ni se produzcan deformaciones excesivas en las tuberías y demás elementos del sistema que puedan traer consigo el colapso del mismo. Los sistemas de tuberías que transportan hidrocarburos están sujetos a cambios bruscos en sus condiciones hidráulicas debido a características propias de operación, tales como paradas de emergencia y cierre de válvulas que generan un fenómeno conocido como golpe de ariete. Este fenómeno puede ocasionar serios daños mecánicos a las tuberías por las sobrepresiones, depresiones y pulsaciones que éste genera, por lo que es muy importante su estudio para su mitigación de manera de garantizar la integridad y seguridad del sistema.

El actual sistema de transferencia de petróleo, desde Área Mayor Anaco (AMA) y Área Mayor Oficina (AMO) hasta el Patio de Tanques Anaco (PTA) está conformado por cinco oleoductos o laterales instalados en tres corredores de tuberías. Estos laterales son: Lateral Mata R desde la Descarga Mata R principal hasta la Estación la Estación Principal de Válvulas Anaco (EPVA); Lateral Santa Rosa desde el Complejo Santa Rosa hasta la EPVA; Lateral Parafinoso desde la Estación Santa Rosa 1 hasta el Patio de Tanques Anaco; Lateral Chimire desde la EPVA hasta el Patio de Tanques Anaco y el Lateral Menegrande desde la EPVA hasta el Patio de Tanques Anaco (ver figura N° 1.1 y N°1.2). Estos oleoductos han estado en operación durante un tiempo superior al estipulado en su diseño, lo que ha incrementado considerablemente la frecuencia de fallas y reparaciones en la mayoría de las líneas del oleoducto, que impactan directamente sobre la seguridad y continuidad de las operaciones de transferencia de crudo y aumentan la probabilidad de daños a terceros y ambientales. Por ende la Superintendencia de Ingeniería y Proyectos de PDVSA GAS ANACO solicitó a INELECTRA SACA el desarrollo del proyecto *“Reemplazo del Sistema de Transferencia de Petróleo desde AMA Este y AMO hasta Patio de Tanques*

"Anaco" de manera que se garantice la continuidad de las operaciones al máximo volumen previsto para los próximos 20 años de forma óptima y segura.

El lateral Mata R, al igual que los demás laterales del sistema, debe cumplir con todas las normativas internacionales y de PDVSA así como las demás exigencias del cliente con respecto a la seguridad y durabilidad, por lo cual se hace necesaria la evaluación de su diseño mecánico mediante un análisis de flexibilidad y golpe de ariete al oleoducto. De esta manera se determinarían los efectos que puedan generar los esfuerzos y sobrepresiones sobre el oleoducto y establecer las medidas correctivas y mitigantes, que son los objetivos del presente trabajo de grado.

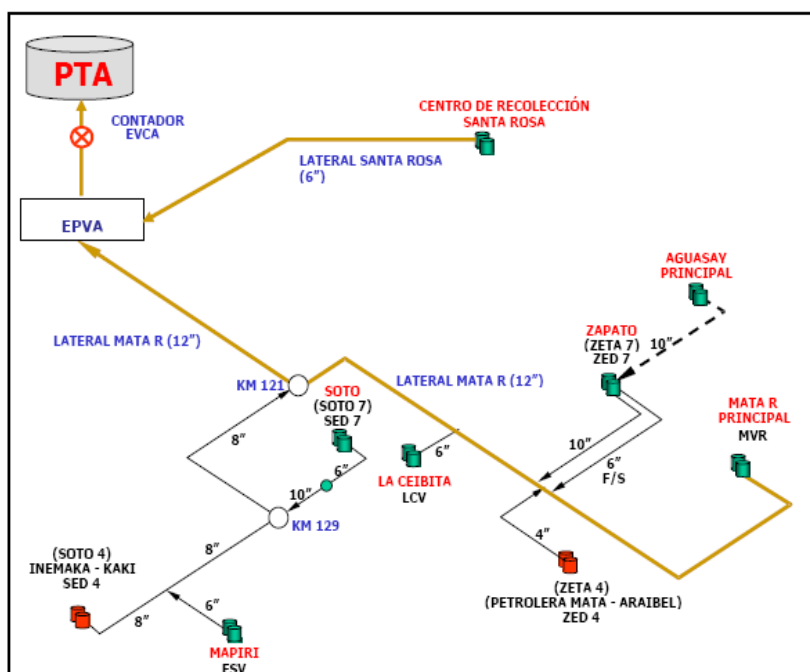


Figura 1.2.1 - Esquema actual del sistema de transferencia desde AMA Este y AMO hasta el Patio de Tanques Anaco [Fuente Propia].

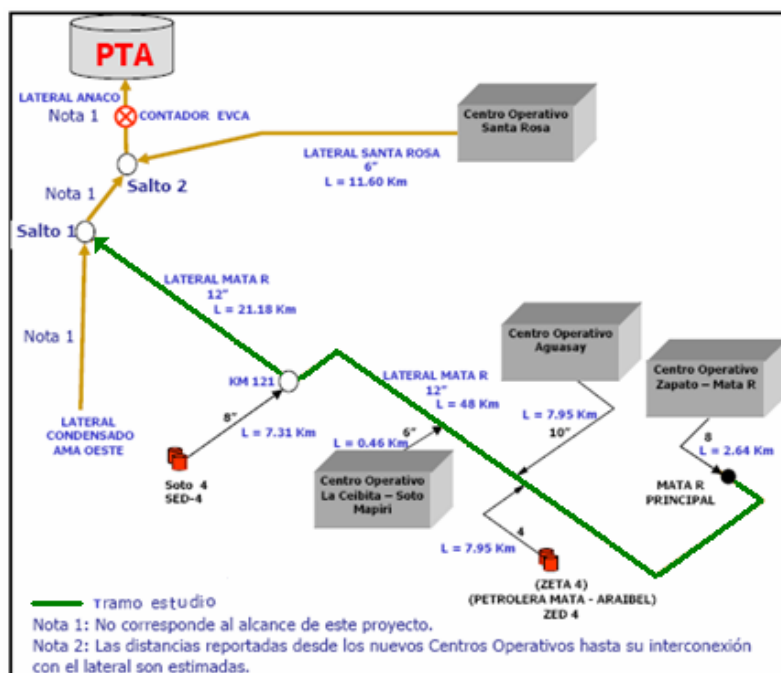


Figura 1.2.2 - Esquema del nuevo sistema de transferencia de crudo desde AMA ESTE y AMO hasta el Patio de Tanques Anaco [Fuente Propia].

En función a lo planteado la evaluación del diseño se realizará mediante la simulación del lateral en el software CAESAR II v5.0, el cual permite determinar los esfuerzos en el oleoducto, y servirá para determinar el efecto que tiene la sobrepresión generada por el golpe de ariete después de ser determinada por una metodología de cálculo. Se compararán los resultados que se obtendrán con los valores permisibles tanto de esfuerzos como de sobrepresión estipulados en la norma ASME B 31.4, en la cual está basado el diseño del oleoducto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el diseño mecánico del sistema de transferencia de petróleo a instalarse desde el Área Mayor Oficina (AMO) hasta el área de trampas de herramientas San Joaquín.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Estimar los posibles esfuerzos generados sobre el oleoducto mediante un análisis de flexibilidad.
2. Calcular la sobrepresión generada por el efecto del golpe de ariete en el oleoducto.
3. Determinar el efecto de la sobrepresión y onda de golpe de ariete en el oleoducto.
4. Seleccionar el sistema para la mitigación del efecto del golpe de ariete en el oleoducto.
5. Seleccionar los soportes del oleoducto según los resultados del análisis de flexibilidad y golpe de ariete.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

En el año 2001, Corrales E., José J. y Neptune R., José F. [1] realizaron un estudio dinámico de flexibilidad del sistema de bombeo de residual, de la refinería de Puerto la Cruz, utilizando mediante programas especializados en los análisis de flexibilidad (Caesar II v4.2 y Ansys v5.4), con la finalidad de evaluar los niveles de esfuerzos a los que estaba sometido el sistema de tuberías. La relación de este con el presente trabajo es el estudio de flexibilidad en sistemas de tuberías por medio del software Caesar II v5.0 el cual es una versión más reciente pero está basado en los mismos principios, es por ello que se hace referencia a dicho estudio.

En el año 2003 Ayala H., Rolando F. [2] realizó la optimización de una herramienta computacional para el estudio del fenómeno de golpe de Ariete en una línea de tuberías con la finalidad de usar un modelo matemático más adaptado al fenómeno del golpe de Ariete, en este trabajo se hace la deducción de las ecuaciones de Golpe de Ariete y los efectos del mismo, las cuales serán usadas en el presente trabajo.

En el año 2007, Sánchez V., Ángel G. [3] realizó un estudio de flexibilidad del sistema de tuberías de descarga de suspensión de Bauxita Molida del Área 32 a 31 de CVG Bauxilum, con la finalidad de solventar los diferentes inconvenientes que presentaba este sistema de tuberías que generaban retrasos en la producción. A pesar de ser un sistema tuberías totalmente diferente, en este también se hace uso de la herramienta informática Caesar II y se plantea una metodología para el análisis de flexibilidad por computadora que será de gran apoyo para la ejecución de este proyecto.

2.2 Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías

El análisis de flexibilidad de tuberías consiste en determinar si una línea posee la suficiente capacidad para absorber las cargas que inciden sobre ella tales como:

- El propio peso de la tubería.
- La expansión térmica.
- Las fuerzas producidas por la presión del fluido.
- Vibraciones, terremotos y otras.

Uno de los factores que pueden aumentar o disminuir la flexibilidad de una tubería es su configuración geométrica. [4]

El análisis de flexibilidad se debe realizar para asegurar el cumplimiento de los códigos, normas en las prácticas de ingeniería. Específicamente esto incluye la verificación de los esfuerzos en las tuberías, las fuerzas y los momentos resultantes en boquillas de equipos, soportes y uniones bridadas. [5]

Los sistemas de tuberías deben poseer la flexibilidad suficiente de manera que la expansión o la contracción térmica, así como los movimientos de soportes y equipos, no conduzcan a:

- Falla de la tubería o de los soportes por esfuerzos excesivos o fatiga.
- Fugas en las juntas.
- Falla de las boquillas de los equipos conectados (recipientes a presión, bombas, turbinas.), por reacciones excesivas.

2.3 Análisis de Flexibilidad por Computadora

Programas como el CAESAR II están disponibles para ejecutar análisis detallados de los esfuerzos en sistemas de tuberías con muchas ramificaciones. Este programa

está desarrollado para ambiente Windows y su principal función es el modelaje, análisis y diseño de sistemas de tuberías, objetivo que logra mediante el estudio de aspectos fundamentales del análisis de tuberías como:

- Esfuerzos por carga sostenida, expansión térmica y operacional en la tubería.
- Esfuerzos y reacciones en boquillas de equipos rotativos y recipientes a presión, según las normas API.
- Modelaje y selección de soportes.
- Cálculo de desplazamientos y deflexiones en las tuberías.

A diferencia de los métodos simplificados este programa de computación puede ejecutar el análisis de esfuerzos y cargas aplicadas en la tubería de una forma precisa.

[3]

2.3.1 Soportería

La selección y el diseño de soportes para tuberías es una parte importante en el estudio ingenieril de cualquier instalación de procesos industriales. El diseño de sistemas de tuberías para altas presiones y temperaturas, tiende a ser crítico en puntos como, el efecto de cargas concentradas en soportes de estructuras, cargas sobre equipos conectados debido al peso de la tubería y en las tolerancias de los soportes respecto a tuberías y estructuras; siendo estos tomados en consideración en las primeras etapas de un proyecto.

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

- Los soportes de tubería deben ser instalados lo más cercano posible a cargas concentradas como válvulas, bridas, etc.

- La localización de soportes no debe interferir con los requerimientos de mantenimiento. Desde el punto de vista de esfuerzos en tuberías y por economía, el mejor lugar para colocar un soporte es instalándolo directamente en el equipo; sin embargo esta localización puede ofrecer dificultades, por las restricciones causadas a los componentes del equipo, restricciones en su configuración, los requerimientos del fabricante del equipo o necesidades de espacio para su operación o mantenimiento.
- Tanto para el ruteo de las tuberías como para la localización de sus soportes, se debe tomar en cuenta o consultar toda la información disponible y planos generados por las demás disciplinas, para evitar interferencias con los requerimientos de espacio de electricidad, instrumentación y control, equipos mecánicos y de estructuras futuras o existentes.
- Los soportes deben ser localizados cerca de estructuras existentes de acero para maximizar la facilidad de diseño y construcción, y minimizar las cantidades suplementarias de acero, necesario para transmitir las cargas a las estructuras metálicas nuevas y al piso. En el ruteo de la tubería se debe considerar este punto.
- Generalmente es preferible reducir el espaciamiento entre soportes donde sea necesario simplificar el diseño y utilizar las estructuras de soporte disponibles (por ejemplo en un pipe-rack), que tomar plena ventaja del espaciamiento máximo permisible y verse forzado a adicionar nuevas estructuras de soporte a las estructuras civiles y de acero, disponibles o existentes.
- La localización de soportes se debe hacer con cuidado extremo a que una vez que el análisis de la tubería haya sido completado, ningún soporte podrá ser relocalizado sin causar cambios significativos en los niveles de esfuerzos en la tubería o cambios en las reacciones sobre los equipos adyacentes al soporte cambiado y muy posiblemente se necesitará de un nuevo análisis. [7]

2.4 Golpe de Ariete

El golpe de ariete es una onda de presión dinámica generada en el flujo de una tubería que resulta de un retardo o aceleración brusca en el fluido. Este fenómeno es ocasionado por la transformación brusca de energía cinética del fluido en energía de presión o viceversa. Estas transformaciones generan ondas elásticas que se manifiestan como variaciones en la presión y velocidad del flujo, y en las propiedades del fluido, y viajan a lo largo de la tubería con velocidad cercana a la del sonido. [8]

El golpe de ariete por agua es la descarga dinámica de presión que resulta de las rápidas transformaciones de la energía cinética de un fluido en presión cuando el flujo se detiene repentinamente. El cierre repentino de una válvula puede causar golpe de ariete por agua. El golpe de ariete por vapor es la excesiva vibración de la tubería, que ocurre debido a las burbujas de vapor formadas en una corriente fría de líquido. El aumento de la presión producto del golpe de ariete, pueden ser lo suficientemente grande para romper la carcasa de la bomba o reventar las tuberías, por lo tanto, este debe ser considerado en el diseño de tuberías. [9]

Las ondas de presión pueden ser positivas (sobrepresiones) o negativas (depresiones). Las sobre presiones originadas pueden aumentar la presión total interna hasta llegar a superar la presión máxima admisible, lo que puede ocasionar daños mecánicos graves a las tuberías y accesorios. Las ondas de presión negativas pueden disminuir la presión total hasta generar cavitación, separación de la columna de líquido o el colapso de la tubería por efectos de la presión externa.

En el caso de cierre instantáneo de la válvula, para el instante de cierre $0 < t < l/a$, se genera una onda de presión positiva como se muestra en la figura 2.4.1-b que se mueve aguas arriba frenando el fluido a sus pasos hasta lograr su reposo, comprimiéndolo y dilatando las paredes de la tubería. [8]

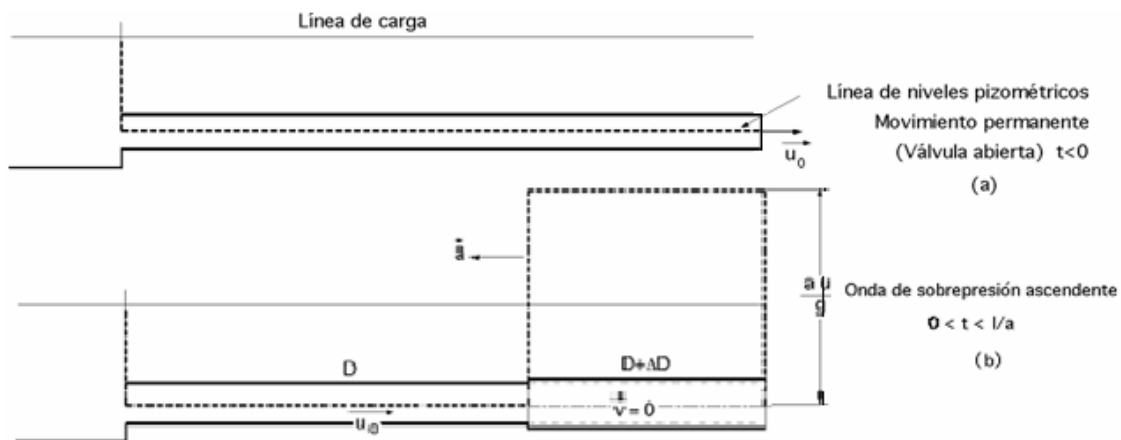


Figura 2.4.1 - Esquema de expansión de la tubería producto del cierre una válvula [8]

En la figura 2.4.2-a se muestra que la onda cuando alcanza al extremo aguas arriba de la tubería en un tiempo $t=l/a$, todo el fluido se encuentra bajo una presión adicional. Como la altura del tanque se mantiene constante, se tiene un desbalance en el momento en que llega la onda de presión, lo que ocasiona que el fluido comience a circular en sentido contrario. La presión en el fluido vuelve al valor que tenía antes del cierre de la válvula, la tubería recupera sus dimensiones originales y el fluido adquiere una velocidad V_0 en sentido contrario al original como se muestra en la figura 2.4.2-b para $l/a < t < 2l/a$. En la figura 2.4.2-c la onda ha llegado a la válvula y se han restablecido las condiciones normales en la tubería con excepción de la velocidad del fluido V_0 que ahora tiene dirección hacia el tanque. [6]

En la figura 2.4.3 se aprecia como la válvula está cerrada no se puede mantener flujo a través de ella y por lo tanto se desarrolla una presión negativa. Esta onda de presión se propaga nuevamente aguas arriba frenando el fluido y expandiéndolo debido a la baja presión, ocasionando que se contraigan las paredes de la tubería. [6]

Cuando esta onda de presión negativa llega al extremo superior de la tubería $t=3l/a$, el fluido se encuentra en reposo con una presión menor, de la que tenía antes del cierre como se indica en la figura 2.4.4-a.

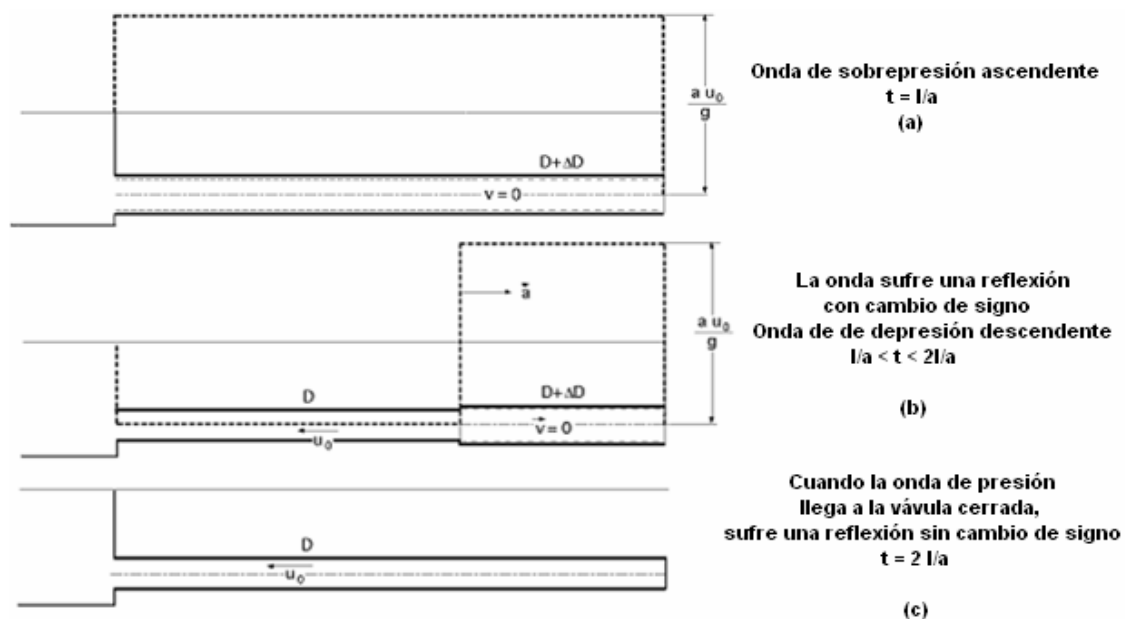


Figura 2.4.2 - Esquema del avance de la onda de presión [8]

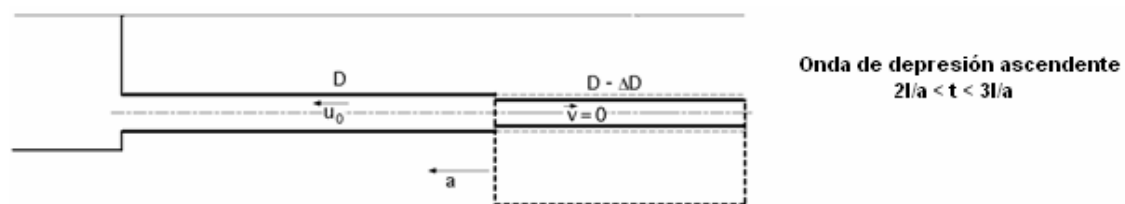


Figura 2.4.3 - Esquema de la onda de depresión [8]

En la figura 2.4.4-b las condiciones que presenta el sistema tienen nuevamente un desbalance en el tanque lo que provoca que el fluido comience a moverse otra vez hacia la válvula. En la figura 2.4.4-c se aprecia el momento que la onda llega a la válvula todas las condiciones son exactamente iguales a las que se tenían antes del cierre, ocurrido $4l/a$ segundos antes. [6]

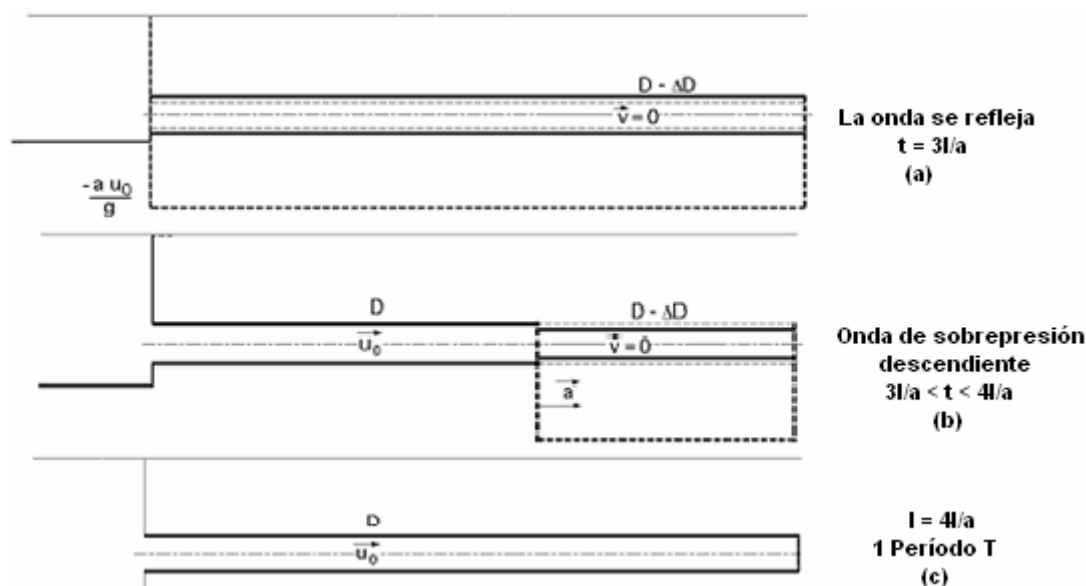


Figura 2.4.4 - Esquema de la normalización del efecto del golpe de ariete [8]

El estudio del golpe de ariete fue hecho en primer lugar por Joukowski, mientras que la solución completa del problema fue dada por Allievi. El cálculo de la sobrepresión depende del tiempo de cierre de la válvula (t_c). Por tanto, el cierre puede ser:

- Rápido: $0 < t_c < 2t$. La presión máxima es la misma que en el cierre instantáneo; aunque la curva de presiones en la tubería en función del tiempo sea distinta. En el cierre rápido una onda de presión no tiene tiempo de ir al estanque, reflejarse y volver a la válvula, antes de que termine medio ciclo. Por ejemplo, en una tubería de acero de 1000 metros de longitud, habría que cerrar la válvula en menos de 2 segundos para que existiera cierre instantáneo y se alcanzaran las presiones máximas. A partir de este tiempo, los rebotes en forma de depresión provenientes del depósito harían que el incremento de presión no fuese tan elevado.
- Lento: $t_c > t$. La presión máxima es menor que en el caso precedente. Este último caso es más frecuente en la práctica. En definitiva, el tiempo de cierre es, por tanto, un factor fundamental para la reducción de la intensidad del golpe de ariete. [7]

Las ecuaciones fundamentales del régimen transitorio se obtienen aplicando la ecuación de continuidad y de movimiento a un elemento fluido, tomando en cuenta la variabilidad temporal de la presión y velocidad del flujo, y la elasticidad del fluido y de la tubería. Las variables dependientes son la altura de presión (piezométrica) H y la velocidad promedio en una sección transversal V . Las variables independientes son la distancia x y el tiempo t , con lo que se tiene que $H=H(x, t)$ y $V=V(x, t)$. Estas constituyen un sistema de ecuaciones en derivadas parciales no lineales cuya solución analítica es excesivamente compleja, por lo que se recurre a procedimientos numéricos. La simplificación de estas ecuaciones conlleva a dos ecuaciones (Ec. 2.4.1 y Ec. 2.4.2) llamadas “Ecuaciones fundamentales del Golpe de Ariete” (soluciones de Allievi), cuyas soluciones son:

$$H - H_o = F \left| t - \frac{x}{a} \right| + f \left(t + \frac{x}{a} \right) \quad \text{Ec. 2.4.1}$$

$$V - V_o = \frac{g}{a} \left[F \left| t - \frac{x}{a} \right| + f \left(t + \frac{x}{a} \right) \right] \quad \text{Ec. 2.4.2}$$

Donde:

H [ft]: Altura Piezométrica.

H_o [ft]: Altura Piezométrica en régimen permanente.

F : Onda de presión que se propaga en dirección $-x$.

t [seg]: Tiempo.

x [millas]: Distancia.

a [ft/s]: Velocidad de propagación de la onda elástica.

f : Onda de presión que se propaga en dirección $+x$.

V [ft/s]: Velocidad del fluido.

V_o [ft/s]: Velocidad del fluido en régimen permanente.

g [ft/s²]: Aceleración de la gravedad.

Para obtener estas soluciones se despreció el efecto de la fricción y la variación en la velocidad del fluido a lo largo de la tubería, además de asumir que la velocidad de la onda a es mucho mayor que la velocidad del fluido en régimen permanente.

Como las ecuaciones fueron deducidas para cierre de una válvula, la distancia x está medida desde el extremo aguas abajo de la tubería, debido a que la perturbación inicial ocurre en este punto y luego se propaga aguas arriba. Entonces la dirección positiva de V es la dirección decreciente de x .

Los cambios localizados que se producen en la presión y velocidad del flujo se propagan a lo largo de la tubería con una velocidad cercana a la velocidad del sonido en ese medio, pero afectada por la elasticidad de la tubería. La velocidad de propagación a de la onda elástica en tuberías que transportan líquidos está determinada por las propiedades del fluido, la geometría y las propiedades elásticas de la tubería, la cual es definida en el trabajo de grado de Ayala, Rolando mediante la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{\gamma}{g \cdot k} \left(\frac{D_i}{e} \cdot C_1 + \frac{K}{E} + 1 \right)}} \quad \text{Ec. 2.4.3}$$

Donde:

D_i : Diámetro interno.

e : Espesor de la tubería.

K : Compresibilidad del líquido.

E : Modulo de elasticidad de la tubería.

γ : Peso específico del fluido.

g : Gravedad.

C_1 : Constante según el tipo de restricción de la tubería.

El módulo de compresibilidad K promedio para hidrocarburos es función de la temperatura y de la densidad relativa API, y viene dado por una aproximación de la gráfica del anexo IV:

$$K = 10^{5.722708 - 0.00819 \cdot \text{API} - 0.00219 \cdot T} \quad \text{Ec. 2.4.4}$$

Donde:

T : Temperatura del fluido.

$^{\circ}\text{API}$: Grado API, Densidad relativa del petróleo según el Instituto de petróleo Estadounidense.

Los estudios de golpe de ariete han sido desarrollados en su mayoría para sistemas de transporte de agua, pero existen ciertas diferencias importantes en relación a los oleoductos, las tuberías que transportan crudos son muy largas, están constituidas de acero dúctil y presentan pérdidas por fricción considerables. Además, los hidrocarburos respecto al agua son:

- Menos densos.
- Más viscosos.
- Poseen una presión de vapor mayor.

En tuberías largas y casos de fricción muy alta, como son los oleoductos, ocurre que la caída de presión a lo largo de la tubería en estado estacionario puede ser mucho mayor que la magnitud de la onda de presión inicial generada, por ejemplo por el cierre de una válvula. Por efectos de la fricción la magnitud de esta onda disminuye a medida que se desplaza aguas arriba, fenómeno conocido como atenuación.

Por otro lado ocurre que la magnitud de la onda muchas veces no es suficiente para detener el fluido a su paso. Cuando la onda de presión se transmite en la tubería, la presión del fluido aguas arriba es mucho mayor debido a la fricción, esta diferencia de presión es transmitida aguas abajo y se suma al aumento de presión inicial debido al cierre de la válvula. Esto ocasiona que la presión en válvula continúe aumentando un

cierto tiempo después de que se generó la primera onda. Este fenómeno de aumento de presión que sucede después de la onda de presión es llamado “line pack”. [4]

CAPÍTULO III: CÁLCULOS GENERALES

Luego de realizar el estudio bibliográfico, se inició la evaluación del diseño mecánico del sistema de transferencia de petróleo y se comprobó si los espesores de pared de las diferentes líneas de tuberías que conforman el sistema, cumplen con los valores permisibles en la norma ASME B 31.4. Luego se le realizó el análisis de flexibilidad con el que se determinó si el sistema de tuberías es lo suficientemente flexible para soportar los esfuerzos generados por el propio peso del sistema, la expansión térmica generada por los cambios de temperatura y las cargas ocasionales producto de sismos y golpe de ariete con el cual se seleccionaron y dimensionaron los soportes del oleoducto.

En las siguientes figuras se muestra el sistema de transferencia y las diferentes líneas que lo componen:

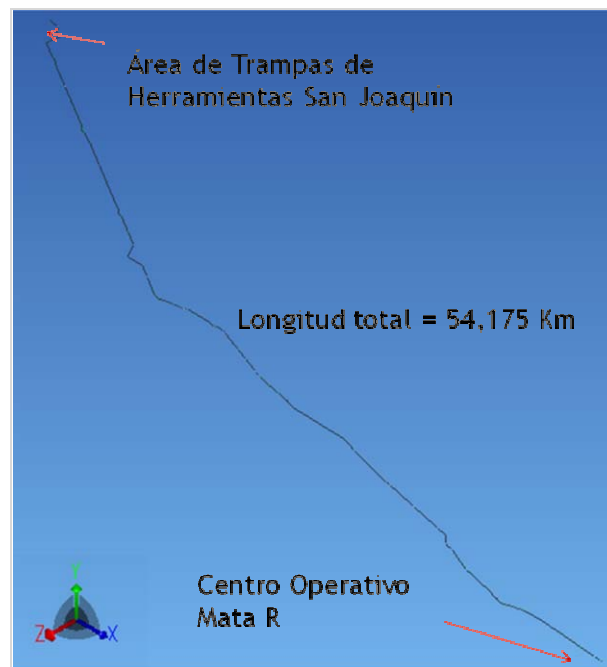


Figura 3.1 - Sistema de transferencia de petróleo desde el Centro Operativo Mata R hasta Área de trampas de herramientas de San Joaquín

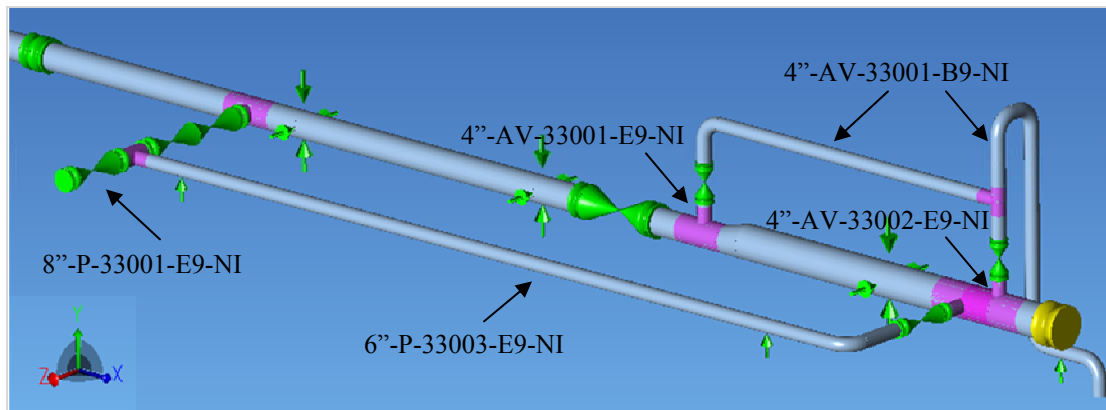


Figura 3.2 - Modelo implantado de la trampa de envío TE-33001 y líneas asociadas

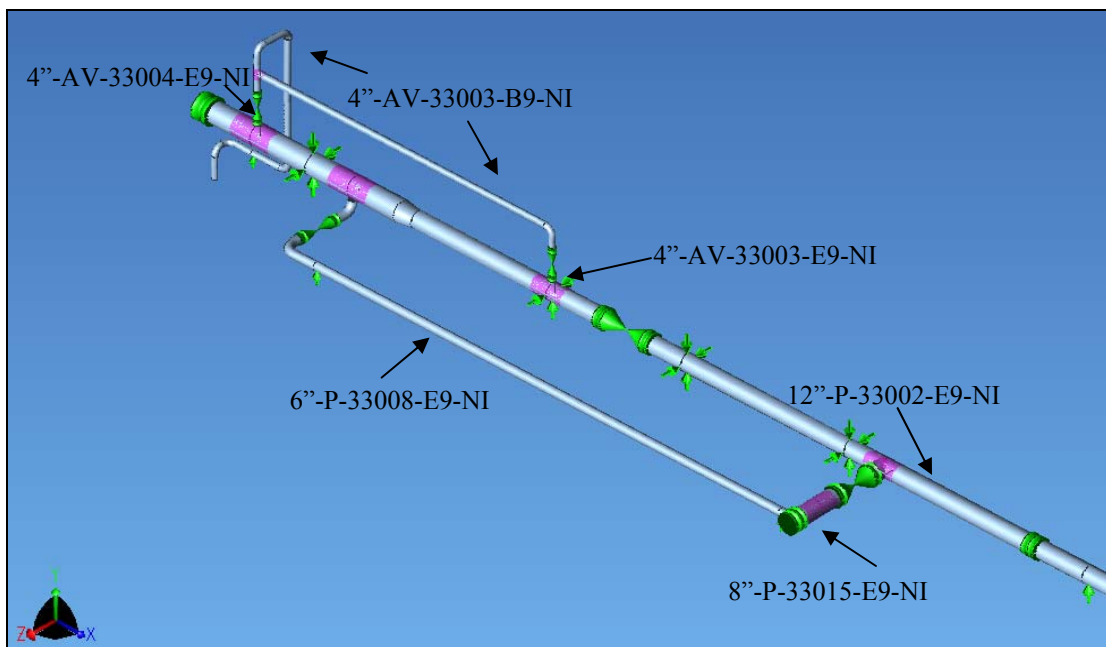


Figura 3.3 - Modelo implantado de trampa de recibo TR-33002 y líneas asociadas

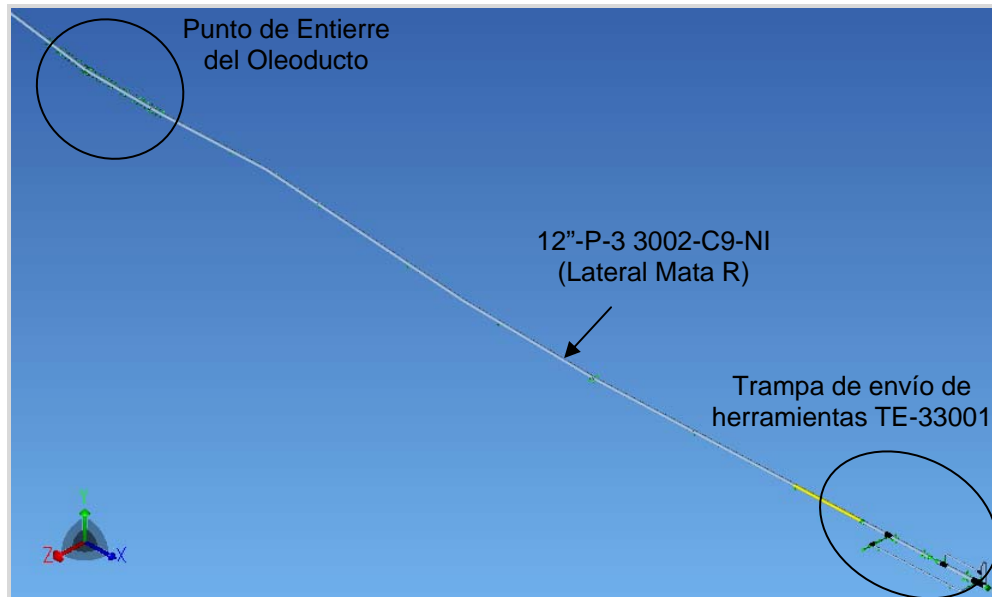


Figura 3.4 - Inicio del lateral Mata R hasta su punto de entierre

En el Apéndice N° 1 se muestran el diagrama de tuberías e instrumentación que facilita la comprensión de sistema de transferencia.

En la tabla 3.1 se muestra las condiciones de las diferentes líneas que componen el sistema de transferencia de petróleo:

Tabla 3.1 - Líneas evaluadas

Φ	N° de línea	Diseño				Operación			
		Presión		Temp.		Presión		Temp.	
		kPa	Psi	°C	°F	kPa	Psi	°C	°F
12	12"-P-33002-E9-NI	2883	418,5	85	184,7	1999	290,1	57	134,7
10	10"-P-33005-E9-NI	2941	426,86	65	149	1674	243	37	98,05
8	8"-P-33015-E9-NI	3078	446,8	65	149	1462	212,2	29	85
8	8"-P-33001-E9-NI	2883	418,5	57	134,7	1999	290,1	57	134,7
6	6"-P-33003-E9-NI	2883	418,5	85	184,7	1999	290,1	57	134,7
6	6"-P-33008-E9-NI	2148	311,7	65	149	1513	219,6	28	82.6

Continuación Tabla 3.1 - Líneas evaluadas

Φ	N° de línea	Diseño				Operación			
		Presión		Temp.		Presión		Temp.	
		kPa	Psi	°C	°F	kPa	Psi	°C	°F
4	4''-AV-33001-B9-NI	172	25	65	149	Atm	Atm	57	134,7
4	4''-AV-33002-B9-NI	172	25	65	149	Atm	Atm	57	134,7
4	4''-AV-33003-B9-NI	172	25	65	149	Atm	Atm	28	82,6
4	4''-AV-33004-B9-NI	172	25	65	149	Atm	Atm	28	82,6
2	2''-P-33004-E9-NI	2883	418,5	85	184,7	1999	290,1	57	134,7
2	2''-P-33009-E9-NI	2148	311,7	65	149	1513	219,6	28	82,6
2	2''-SV-33002-B9-NI	172	25	85	184,7	Atm	Atm	57	134,7
2	2''-SV-33004-B9-NI	172	25	65	149	Atm	Atm	28	82,6
1	1''-SV-33001-E9-NI	2883	418,5	65	149	1999	290,1	57	134,7
1	1''-SV-33003-E9-NI	3078	446,8	65	149	1513	219,6	28	82,6

3.1 Verificación de Espesores de Tuberías

Los espesores y materiales de las diferentes líneas del nuevo sistema de transferencia, fueron seleccionados según la especificación de ingeniería válvulas y materiales para oleoductos HA-211- POT rating 600 libras (E9) y 300 libras (B9) de PDVSA, en las tablas 3.1.1 y 3.1.2 se muestran los valores según los diámetros de tuberías (ver apéndice N° 2).

Tabla 3.1.1 - Espesores de pared de tuberías y materiales según especificación PDVSA HA-211-POT (E9)

Diámetro Tubería	Material	Espesores
1 ½'' y menor	ASTM A 106 GR B	160
2''	API 5L GR B	XS
3'' – 10''	API 5L GR B	STD
12'' – 14''	API 5LX 42	STD
16''	API 5LX 52	STD

Tabla 3.1.2 - Espesores de pared de tuberías y materiales según especificación PDVSA HA-211-POT (B9)

Diámetro Tubería	Material	Espesores
1 ½" y menor	ASTM A 106 GR B	160
2"	API 5L GR B	XS
3" – 10"	API 5L GR B	STD
12" – 18"	API 5LX 42	STD
20" – 36"	API 5LX 42 ERW - SAW	STD

Para comprobar que los espesores de la especificación de materiales cumplen con la norma ASME B 31.4, se realizó el siguiente procedimiento:

Se determinó el esfuerzo admisible por la tubería según el material seleccionado, utilizando la Ec. 3.1.1:

$$S = 0.72 * E * SMYS \quad \text{Ec. 3.1.1}$$

Donde:

S: Esfuerzo admisible.

E: Factor de unión longitudinal

SMYS: Mínimo esfuerzo de fluencia especificado.

Los valores del factor de unión longitudinal y del mínimo esfuerzo de fluencia seleccionan en función del material de la tubería de la tabla 3.1.3 extraída de la norma ASME B 31.4

Tabla 3.1.3 - Valores de mínimo esfuerzo de fluencia especificado y factor de unión longitudinal

TABULATION OF EXAMPLES OF ALLOWABLE STRESSES FOR REFERENCE USE IN PIPING SYSTEMS WITHIN THE SCOPE OF THIS CODE				
Specification	Grade	Specified Min. Yield Strength, psi (MPa)	Weld Joint Factor <i>E</i>	Allowable Stress Value <i>S</i> , -20°F to 250°F (-30°C to 120°C), psi (MPa)
Electric Fusion Welded				
ASTM A 134	...	...	0.80	...
ASTM A 139	A	30,000 (207)	0.80	17,300 (119)
ASTM A 139	B	35,000 (241)	0.80	20,150 (139)
ASTM A 671	...	Note (1)	1.00 [Notes (2), (3)]	...
ASTM A 671	...	Note (1)	0.70 [Note (4)]	...
ASTM A 672	...	Note (1)	1.00 [Notes (2), (3)]	...
ASTM A 672	...	Note (1)	0.80 [Note (4)]	...
Submerged Arc Welded				
API 5L	A	30,000 (207)	1.00	21,600 (149)
API 5L	B	35,000 (241)	1.00	25,200 (174)
API 5L	X42	42,000 (289)	1.00	30,250 (208)
API 5L	X46	46,000 (317)	1.00	33,100 (228)
API 5L	X52	52,000 (358)	1.00	37,450 (258)
API 5L	X56	56,000 (386)	1.00	40,300 (278)
API 5L	X60	60,000 (413)	1.00	43,200 (298)
API 5L	X65	65,000 (448)	1.00	46,800 (323)
API 5L	X70	70,000 (482)	1.00	50,400 (347)
API 5L	X80	80,000 (551)	1.00	57,600 (397)
ASTM A 381	Y35	35,000 (241)	1.00	25,200 (174)
ASTM A 381	Y42	42,000 (290)	1.00	30,250 (209)
ASTM A 381	Y46	46,000 (317)	1.00	33,100 (228)
ASTM A 381	Y48	48,000 (331)	1.00	34,550 (238)
ASTM A 381	Y50	50,000 (345)	1.00	36,000 (248)
ASTM A 381	Y52	52,000 (358)	1.00	37,450 (258)
ASTM A 381	Y60	60,000 (413)	1.00	43,200 (298)
ASTM A 381	Y65	65,000 (448)	1.00	46,800 (323)

Al sustituir los valores correspondientes para la tubería de 12"-P-33002-E9-NI en la Ec. 3.1.1 se obtiene que el valor del esfuerzo admisible:

$$S = 208423 \text{ kPa (30250 Psi)}$$

Una vez obtenido el esfuerzo admisible de la tubería se procedió a calcular el espesor de pared necesario para soportar la presión interna de diseño de la tubería mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S} \quad \text{Ec. 3.1.2}$$

Donde:

T : Espesor por presión.

P : Presión de diseño.

D : Diámetro externo de la tubería.

S : Esfuerzo admisible.

Sustituyendo los valores en la Ec. 3.1.2 se obtiene que el espesor por presión:

$$T = 2,286 \text{ mm } (0,09 \text{ in})$$

Ahora para determinar el espesor mínimo de la pared de la tubería se utiliza la Ec. 3.1.3:

$$T_n = T + A \quad \text{Ec. 3.1.3}$$

Donde:

T_n : Mínimo espesor de pared de la tubería

T : Espesor por presión

A : Suma de sobre-espesores y tolerancias.

Los sobre-espesores y tolerancias asumidas fueron:

- Espesor de corrosión de 1,6 mm.
- Tolerancia de fabricación de 12,5% recomendada por la norma ASME B 31.4.

Sustituyendo los valores se obtiene el espesor de tubería mínimo para el lateral Mata R. Con éste valor de espesor mínimo, se aproxima al valor comercial próximo superior obteniendo:

$$T_n = 5,956 \text{ mm } (0,2345 \text{ in})$$

$$\text{Espesor Comercial} = \text{STD } (0.375 \text{ in})$$

Una vez obtenido el espesor mínimo de pared de la tubería se compara con el establecido en la especificación de materiales, el cual es mayor al que se obtuvo por medio de la Ec. 3.1.3.

En la tabla 3.1.4 se observan los resultados de los espesores mínimos de las tuberías y se comparan con los valores que indica la especificación de materiales de PDVSA:

Tabla 3.1.4 - Espesores de tuberías mínimos calculado y seleccionados

N° de línea	Espesor mínimo calculado		Espesor según especificación PDVSA	Espesor seleccionado
	Mm	pulg		
12"-P-33002-E9-NI	5,9563	0.2345	Std (0.375 in)	Std
10"-P-33005-E9-NI	4,36118	0.1717	Std (0.365 in)	Std
8"-P-33015-E9-NI	3,95224	0.1556	Std (0.322 in)	Std
8"-P-33001-E9-NI	3,81762	0.1503	Std (0.322 in)	Std
6"-P-33008-E9-NI	3,3528	0.1320	Std (0.28 in)	Std
6"-P-33003-E9-NI	2,96164	0.1166	Std (0.28 in)	Std
4"-AV-33001-B9-NI	1,8796	0.074	Std (0.237 in)	Std
4"-AV-33002-B9-NI	1,8796	0.074	Std (0.237 in)	Std
4"-AV-33001-B9-NI	1,8796	0.074	Std (0.237 in)	Std
4"-AV-33002-B9-NI	1,8796	0.074	Std (0.237 in)	Std
2"-P-33004-E9-NI	2,36728	0.0932	XS (0.218 in)	XS

2"-P-33009-E9-NI	2,22758	0.0877	XS (0.218 in)	XS
2"-SV-33002-B9-NI	1,84912	0.0728	XS (0.218 in)	XS
2"-SV-33004-B9-NI	1,84912	0.0728	XS (0.218 in)	XS
1"-SV-33001-E9-NI	2,1209	0.0835	160 (0.25 in)	160
1"-SV-33003-E9-NI	2,14122	0.0843	160 (0.25 in)	160

Los espesores seleccionados para el sistema de tuberías, cumplen con los valores mínimos permisibles por la norma ASME B 31.4, según los cálculos realizados los espesores calculados, son inferiores a los seleccionados por la especificación PDVSA-HA-211-POT lo que garantiza que las tuberías seleccionadas soportarán la presión de diseño, desgastes por corrosión y desviaciones que puedan ocurrir durante su fabricación.

3.2 Análisis de Flexibilidad

Luego de haber comprobado que los espesores de las tuberías cumplen con la norma ASME B 31.4, se realizó el análisis de flexibilidad (análisis estático) del sistema de tuberías, el cual se realiza por medio de simulaciones en el software Caesar II V 5.0 realizando como primer paso la implantación del modelo de oleoducto.

Para realizar el modelado de este fueron necesarios los siguientes datos:

3.2.1 Condiciones del sitio

- Temperatura:
 - Mínima empleada para el análisis: 21,1 °C
 - Promedio anual: 27,2 °C
 - Máxima anual: 42,2 °C

Temperatura por efecto de radiación solar 65,5 °C (150 °F)

- Zona Sísmica:

COVENIN 1756: 4

Coefficiente de Aceleración Horizontal: 0,251

Coefficiente de Aceleración Vertical: 0,175

- Datos del suelo:

El estudio de suelo fue realizado a lo largo de toda la ruta del oleoducto por medio de perforaciones a diferentes profundidades, para la implantación del modelo del oleoducto se crearon 13 modelos de suelo diferentes realizados con los valores de la profundidad promedio (1,2 m) a la cual se enterrará el oleoducto y variando las características del suelo a lo largo del recorrido. En la tabla 3.2.1 se indica los límites de cada modelo de suelo y sus características:

Tabla 3.2.1 - Características de los modelos de suelos

Nº	Desde Progresiva	Hasta Progresiva	Resistencia al corte (kPa)	Coefficiente de fricción	Ángulo Φ	Densidad (kg/m ³)
2	0	0+550	-	0,5	34	1882
3	0+550	1+375	98	-	32	1799
4	1+375	2+450	147	-	0	1993
5	2+450	5+935	-	0,5	32	1882
6	5+935	11+265	98	-	16	1799
7	11+265	15+265	-	0,5	20	1993
8	15+265	18+000	-	0,5	36	1882
9	18+000	22+000	-	0,5	25	1799
10	22+000	25+125	-	0,5	34	1993

11	25+125	26+900	-	0,5	29	1882
12	26+900	29+750	-	0,5	32	3183
13	29+750	32+125	-	0,5	28	1799
14	32+125	54+175	-	0,5	36	1993

3.2.2 Características del fluido

El fluido que se transporta por el oleoducto es básicamente una mezcla de crudos livianos, que provienen de diferentes centros operativos y estaciones de descargas, por lo cual para el análisis de flexibilidad se realizará con una densidad promedio de $800,923 \text{ kg/m}^3$ ($50,47 \text{ Lb/ft}^3$) previamente avalada por la disciplina de procesos.

3.2.3 Filosofía de operación

La filosofía de operación fue suministrada por la disciplina de procesos, la cual se determinó según la capacidad y frecuencia de descargas de cada centro operativo y estación de descarga de crudos asociados al lateral Mata R en las figuras 3.2.1 y 3.2.2 se esquematiza las filosofías propuestas:

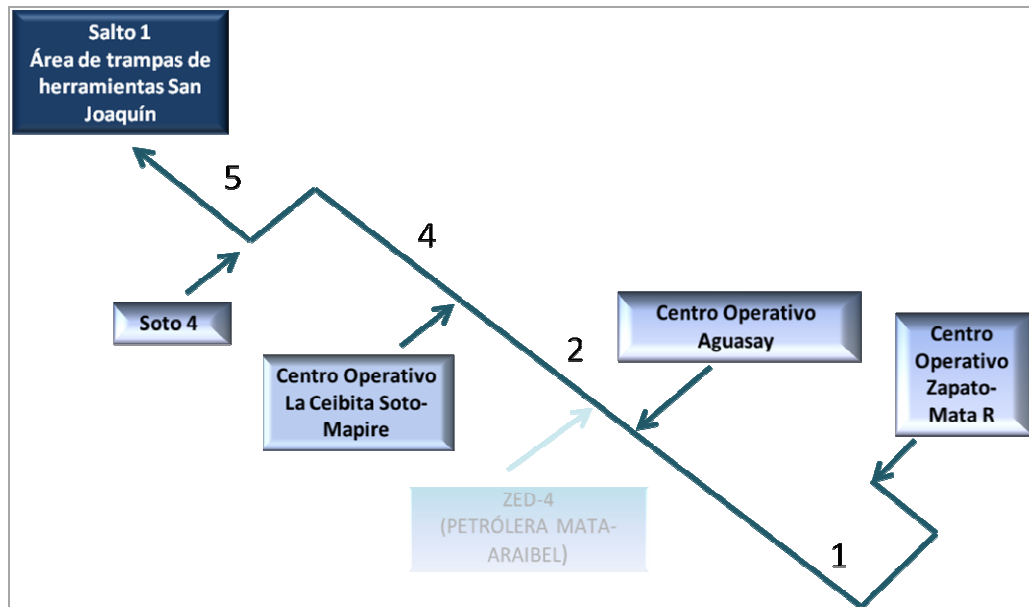


Figura 3.2.1 - Filosofía de operación 1E1 [Fuente Propia]

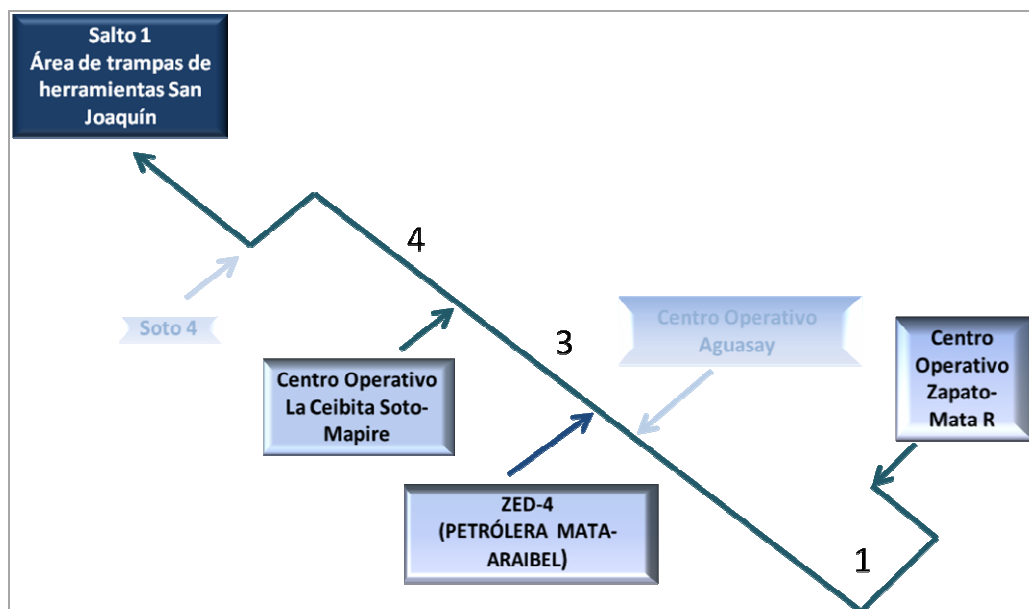


Figura 3.2.2 - Filosofía de operación 1F1 [Fuente Propia]

Las condiciones y características de las 2 filosofías propuestas están descritas en las tablas 3.2.2 y 3.2.3:

Tabla 3.2.2 - Características de las corrientes asociadas a la filosofía de operación 1E1

Corrientes asociadas al sistema de transferencia	Nombre	1	2	4	5
	Descripción	COZMR	COA	CO-LCSM	Mezcla AMO km 121
	Estado	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Propiedades Totales					
Flujo	LB-MOL/DAY	18249,19	13837,77	10722,00	49343,80
	LB/DAY	3350628	2529818,75	1963207,88	10863788
Flujo Líquido Estándar	BBL/DIA	12000,89	9000,00	7000,04	37908,00
Temperatura	F	134,70	98,06	84,87	85,03
Presión	PSIA	304,80	261,40	219,50	226,90
Peso Molecular		183,60	182,82	183,10	220,17
Entalpía	MM BTU/DAY	163,27	77,58	48,26	245,83

Continuación de Tabla 3.2.2 - Características de las corrientes asociadas a la filosofía de operación 1E1

Corrientes asociadas al sistema de transferencia	Nombre	1	2	4	5
	Descripción	COZMR	COA	CO-LCSM	Mezcla AMO km 121
	Estado	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Propiedades Totales					
	BTU/LB	48,73	30,67	24,58	22,63
K de Watson	(UOPK)	12,31	12,23	12,26	12,31
Densidad Estándar	LB/FT3	49,68	50,02	49,90	50,99
Gravedad Específica		0,80	0,80	0,80	0,82
Gravedad API		46,10	44,90	45,30	46,04

Tabla 3.2.3 - Características de las corrientes asociadas a la filosofía de operación 1F1

Corrientes asociadas al sistema de transferencia	Nombre	1	3	4
	Descripción	COZMR	ZED-4	Mezcla AMO
	Estado	Líquido	Líquido	Líquido
Propiedades Totales				
Flujo	LB-MOL/DAY	18249,19	7564,99	31290,91
	LB/DAY	3350628,00	1328937,00	6889168,50
Flujo Líquido Estándar	BBL/DIA	12000,89	4495,45	24039,00
Temperatura	F	134,70	101,60	83,41
Presión	PSIA	194,30	155,70	128,60
Peso Molecular		183,60	175,67	220,17
Entalpía	MM BTU/DAY	163,63	41,00	152,34
	BTU/LB	48,84	30,85	22,11
K de Watson	(UOPK)	12,31	11,63	12,31
Densidad Estándar	LB/FT3	49,68	52,60	50,99
Gravedad Específica		0,80	0,84	0,82
Gravedad API		46,10	36,20	41,39

3.2.4 Descripción del modelo implantado

Para la implantación del modelo del oleoducto en el software Caesar II se siguió el diseño de tubería para el oleoducto, propuesto por la disciplina de Ingeniería Civil (ver apéndice N° 3), utilizando el alineamiento y perfil de elevaciones del oleoducto y los planos de elevación y detalles de las trampas de envío y recibo (ver apéndice N° 5) tomando ciertas consideraciones que permitieran obtener el modelo con la mayor exactitud posible como lo fueron:

- Los radios mínimos de curvatura quedaron establecidos por la norma ASME B 31.4 según la siguiente ecuación:

$$R_m = 18 * D$$

Ec. 3.2.1

Donde:

R_m : Radio mínimo de curvatura.

D : Diámetro nominal de la tubería

Sustituyendo los valores en la Ec. 3.2.1 se obtiene que el radio mínimo de curvatura para la tubería de 304,8 mm (12 pulgadas) es:

$$R_m = 5486,4 \text{ mm} = 5,48 \text{ m}$$

- Los cambios de direcciones en el plano horizontal (planta) se realizaran seccionando las curvas en pequeños elementos sin definir radios de curvaturas entre ellos.
- Los cambios de direcciones en el plano vertical se realizan definiendo el radio mínimo de curvatura permisible calculado anteriormente.
- Las válvulas y accesorios se modelan como elementos rígidos a los cuales se les indica su peso comercial.
- Para la ubicación y selección inicial de los soportes, se consideró que éstos no tuvieran interferencia con ningún elemento existente, separados entre ellos al span máximo según el diámetro de la tubería (304,8 milímetros) y que sólo soporten la carga vertical.
- Se tomó como sistema de referencia un sistema a derecha (X, Y, Z) como está reflejado en el Caesar II con el norte en el sentido negativo del eje Z.

3.3 Simulaciones

En la determinación de esfuerzos sobre el oleoducto, se evaluaron 5 casos generales, los cuales son:

SUS Carga sostenida. Parámetros involucrados: peso, presión y conjunto de fuerzas y/o desplazamientos aplicados.

OPE Condición de operación. Parámetros involucrados: peso, presión, desplazamientos y /o conjunto de fuerzas aplicadas y temperatura.

EXP Expansión térmica. Diferencia entre los casos de operación y carga sostenida.

OCC Cargas ocasionales. Parámetros involucrados: cargas por sismo y carga por golpe de ariete.

HYD Prueba hidrostática. Parámetros involucrados: condiciones de prueba.

A continuación se muestran los casos de carga evaluados en este cálculo:

- Evaluación prueba hidrostática (Caso # 1)
- Condiciones de diseño (Caso # 2)
- Condiciones de operación basado en la filosofía de operación 1E1 (Caso # 3)
- Condiciones de operación basado en la filosofía de operación 1F1 (Caso # 4)
- Cargas sostenidas evaluadas a las condiciones de diseño (Caso # 11)
- Cargas sostenidas evaluadas a las condiciones de operación, según filosofía de operación 1E1 (Caso # 12)
- Cargas sostenidas evaluadas a las condiciones de operación, según filosofía de operación 1F1 (Caso # 13)
- Cargas por expansión evaluadas a la temperatura de diseño (Caso # 14)
- Cargas por expansión evaluadas a la temperatura de operación, de acuerdo a la filosofía de operación 1E1 (Caso # 15)
- Cargas por expansión evaluadas a la temperatura de operación, de acuerdo a la filosofía de operación 1F1 (Caso # 16)
- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 1 (componente de la carga sísmica en la dirección +X) (Caso # 23)

- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 2 (componente de la carga sísmica en la dirección -X) (Caso # 24)
- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 3 (componente de la carga sísmica en la dirección +Y) (Caso # 25)
- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 4 (componente de la carga sísmica en la dirección -Y) (Caso # 26)
- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 5 (componente de la carga sísmica en la dirección +Z) (Caso # 27)
- Cargas sostenidas (en condiciones de operación) + sismo evento 6 (componente de la carga sísmica en la dirección -Z) (Caso # 28)

Una vez elaborado el modelo del oleoducto, se precedió a realizar la simulación estática donde se calcularon los esfuerzos que generados en el oleoducto por carga sostenida, expansión y carga ocasional (sismo), estos resultados se compararon con los admisibles por la norma ASME B 31.4, así como también se observaron los desplazamientos en las condiciones de operación y las cargas en los soportes.

En orden de importancia, primero se realizó la evaluación de los diferentes tipos de esfuerzos que se generan sobre el oleoducto, una vez que estos satisfagan los valores admisibles de la norma ASME B 31.4 se evalúan los desplazamientos y cargas en los soportes del oleoducto.

Los esfuerzos sostenidos y los esfuerzos por expansión térmica son evaluados en la condición que resulta del más grande diferencial de temperatura y presión, esto se obtiene, usando las condiciones de diseño del sistema de tubería en cuestión (presión y temperatura de diseño).

El diseño propuesto cumple con los valores de esfuerzos admisibles por cargas sostenidas, sin embargo los esfuerzos generados por la expansión térmica en diseño no cumplen con los valores de esfuerzos admisibles por la ASME B 31.4, en las tablas 3.3.1 y 3.3.2 se muestran los valores de esfuerzos máximos en la evaluación por cargas sostenidas y expansión térmica:

Tabla 3.3.1 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de diseño

Tipo de Esfuerzo	$\sigma_{\text{máx.}}^{\text{permisible}}$		$\sigma_{\text{máx.}}^{\text{obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
Sostenido	193471	28080	95613	13877,1	49,4	3104
Expansión	257962	37440	429793	62379,3	166,6	3140

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 5.

Tabla 3.3.2 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de operación

Tipo de Esfuerzo	$\sigma_{\text{máx.}}^{\text{permisible}}$		$\sigma_{\text{máx.}}^{\text{obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
Sostenido (1E1)	193471	28080	87018	12629,6	45	3104
Sostenido (1F1)	193471	28080	81406	11815,1	42,1	3104
Expansión (1E1)	257962	37440	119645	17365	46,4	1634
Expansión (1F1)	257962	37440	124200	18026,1	48,1	2890

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 5.

Los esfuerzos sobre el sistema de tuberías producto de cargas ocasionales, se evaluaron bajo la acción de un evento sísmico. En el diseño propuesto para este sistema de tuberías, los esfuerzos generados por las cargas ocasionales evaluadas a la condición de operación más desfavorable (1E1), en la tabla 3.3.3 se muestra los

valores de los esfuerzos máximos producto del evento sísmico los cuales exceden los valores admisibles establecidos por la ASME B31.4.

Tabla 3.3.3 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías bajo carga ocasional (sismo) en condiciones de operación 1E1

Tipo de Esfuerzo	$\sigma_{\text{máx. Permisible}}$		$\sigma_{\text{máx. Obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	(Psi)	kPa	(Psi)		
OCC (Sismo +X)	286624	41600	286624	60719,3	146	3140
OCC (Sismo -X)	286624	41600	286624	57530,5	138,3	3140
OCC (Sismo +Y)	286624	41600	286624	57349,3	137,9	3140
OCC (Sismo -Y)	286624	41600	286624	61435,8	147,7	3140
OCC (Sismo +Z)	286624	41600	286624	59482	143	3140
OCC (Sismo -Z)	286624	41600	286624	108220	260,1	3140

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 5.

El diseño del sistema de tuberías propuesto, presenta fallas debido a los esfuerzos generados por la expansión térmica y cargas ocasionales (sismo). Las fallas por expansión térmica se presentan en los cruces de vías y ríos donde es necesario enterrar a una profundidad mayor la tubería y para ello se utilizan bayonetas. Las bayonetas son arreglos de tuberías que forman cambios de dirección a partir de tubería doblada, en función de un ángulo o pendiente determinada éstas permiten que se alcancen profundidades o elevaciones deseadas sin generar cambios bruscos en la dirección del fluido (en la figura 3.3.1 se muestra un ejemplo de las bayonetas típicas para una tubería de 304,8 milímetros). Por la configuración geométrica que tienen las bayonetas actúan como lazos de expansión, que son los encargados de absorber el movimiento de las tuberías producto de la expansión térmica, pero debido a que estas se encuentra enterradas, el suelo les impone restricciones que no permiten la libertad

de movimiento que es necesario para absorber los desplazamientos generados por la expansión de la tubería.

En la estación de válvulas La Ceibita, el oleoducto es desenterrado, ya que existen una gran cantidad de corredores de tuberías enterrados, que dificultan que el recorrido de este oleoducto por dicha estación sea enterrado, una vez que el oleoducto atraviesa estos corredores de forma aérea, se vuelve a enterrar, en este punto de entierre (NODO 3140) se generan los mayores esfuerzos tanto por expansión como por carga ocasional (sismo) ver figura 3.3.3, esto producto de que los desplazamientos generados por la expansión térmica y las cargas producidas por un evento sísmico, son muy elevados y el sistema no está provisto de la flexibilidad suficiente para absorberlos.



Figura 3.3.1 - Bayoneta típica para pasos de ríos y vías

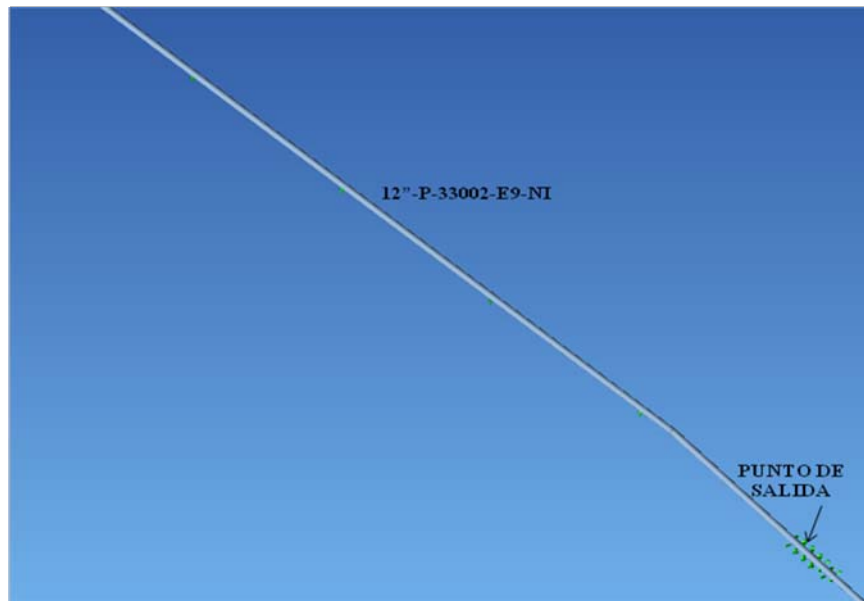


Figura 3.3.2 - Tramo superficial en la estación de válvulas La Ceibita (salida)

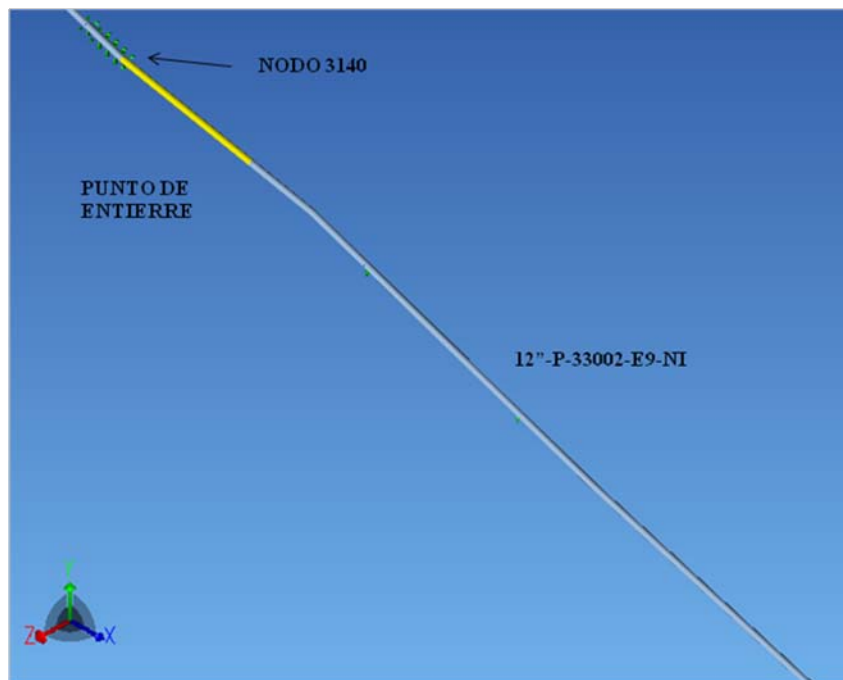


Figura 3.3.3 - Tramo superficial en la estación de válvulas La Ceibita (entierre)

Como parte de la evaluación del diseño mecánico se realizaron ajustes en el diseño donde se presentaban las fallas. Para realizar estos ajustes se analizaron diferentes opciones que permitirían obtener resultados satisfactorios para evitar las fallas producto de la expansión térmica y cargas ocasionales (sismos).

A continuación se listan las opciones existentes:

1. Desenterrar el oleoducto en algunos tramos del recorrido, para colocar lazos de expansión.
2. Colocar bloques de anclajes para detener el movimiento de la tubería por expansión térmicas.
3. Suavizar los cambios de dirección en las bayonetas de manera que no actúen como lazos de expansión sin libertad de movimiento.
4. Realizar un lazo de expansión, en la estación de válvulas La Ceibita, de manera de aprovechar que el oleoducto es desenterrado en dicha zona y provea de la flexibilidad suficiente al sistema para absorber los desplazamientos y cargas ocasionales.

La primera opción fue rechazada por el cliente, ya que una de las condiciones impuestas al diseño por él, fue que la ruta del oleoducto estuviera totalmente enterrada permitiendo solo puntos de salida a la superficie en la estación de válvulas La Ceibita y en las válvulas de seccionamiento del oleoducto.

La segunda opción resultaba poco práctica, debido a que eran varios los puntos donde se producían las fallas y por ende serían una gran cantidad de bloques de anclajes que se tendrían que diseñar e instalar, significando esto un aumento en los costos de diseño y construcción.

La tercera y cuarta opción fueron las aprobadas por el grupo de diseño y el cliente. Al suavizar los cambios de dirección en las bayonetas, estas no actuarían

como lazos de expansión permitiendo que el movimiento que se genera por la expansión térmica continúe en sentido al eje longitudinal de la tubería siendo este mitigado por la fricción entre la tubería y el suelo, además estos cambios en el diseño no generarán un aumento significativo en los costos de diseño y construcción (ver figura 3.3.4). De igual forma se diseñó en la estación de válvulas la ceibita, un lazo de expansión horizontal que ayudará a absorber los desplazamientos generados por la expansión térmica (ver figuras 3.3.5 y 3.3.6).



Figura 3.3.4 - Modificación de bayonetas típicas

En la estación de válvulas La Ceibita existen diferentes elementos que dificultaron el diseño de un lazo de expansión estándar o que cumpliera con las características de diseño de estos según sus dimensiones, además, se debió garantizar que los cambios de dirección se realicen con el radio mínimo de curvatura calculado anteriormente.

Para lograr una solución a lo planteado anteriormente, basándose, en que la básica de un lazo de expansión es que los cambios de dirección perpendiculares al eje de la tubería, pueden absorber los desplazamientos generados por la expansión térmica, se realizó el siguiente procedimiento

Se calculó el desplazamiento total generado por la expansión térmica en la longitud del tramo de tubería desenterrado de 190 metros haciendo uso de la Ec. 3.3.1:

$$D = \alpha * L$$

Ec. 3.3.1

Donde:

D: Desplazamiento por la expansión térmica

α : Coeficiente de expansión térmica en función de la temperatura. (Apéndice N° 6)

L: Longitud de la tubería.

Sustituyendo los valores en la Ec. 3.3.1, se obtiene que el desplazamiento generado por la expansión térmica en la condición de diseño:

$$D = 0,13817 \text{ m (5.44 pulg)}$$

El desplazamiento generado por la expansión térmica, resulto ser muy elevado, siendo este la causa principal de los esfuerzos tan elevados en el punto de entierre, para reducir estos esfuerzos fue necesario absorber parte de este desplazamiento generando cambios de dirección perpendiculares al eje de la tubería, garantizando que la tubería mantuviera las mismas coordenadas en los puntos de salida y entierre, se tomó como criterio inicial, que se debía absorber como mínimo el 50% del desplazamiento por medio de los cambios de direcciones.

Basado en el planteamiento anterior, se realizo el arreglo mostrado en las figuras 3.3.5 y 3.3.6 donde se obtuvo que los desplazamiento absorbidos en los nodos 7010 y 3110 donde se definieron los cambios de dirección, con dos radios mínimos de curvatura, son mostrados en la tabla 3.3.4:

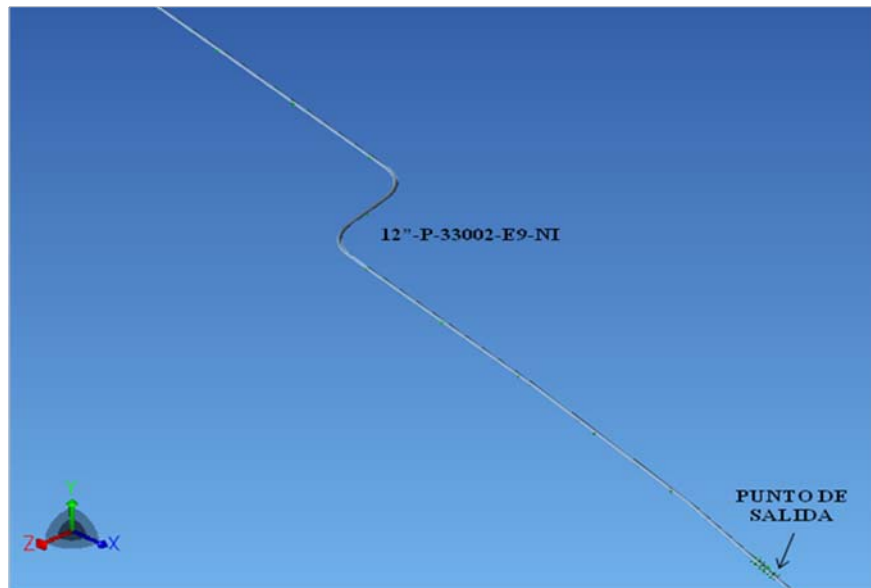


Figura 3.3.5 - Tramo superficial modificado en la estación de válvulas La Ceibita (salida)

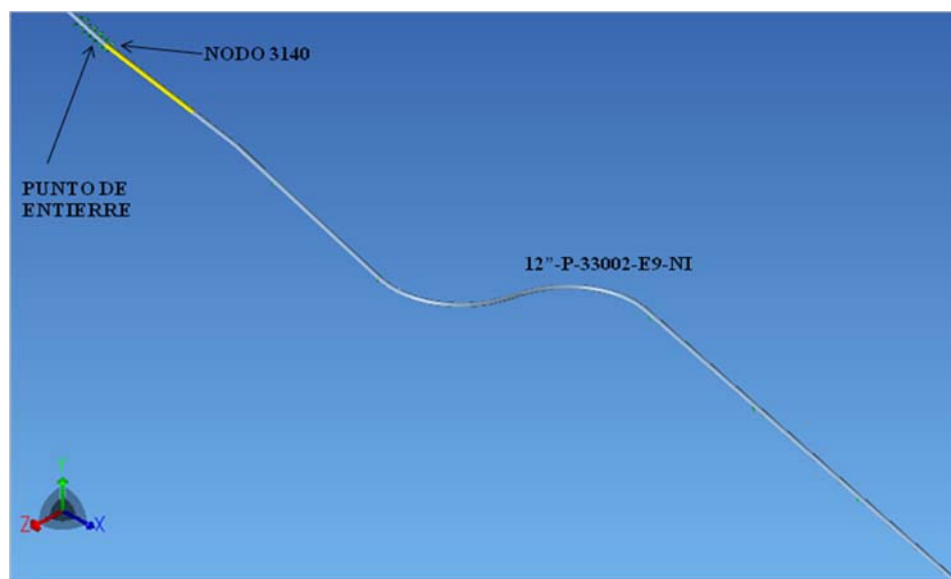


Figura 3.3.6 - Tramo superficial modificado en la estación de válvulas La Ceibita (entierre)

Tabla 3.3.4 - Desplazamientos obtenidos en los nodos 7010 y 3110

NODO	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	TOTAL mm (in)
7010	35,313	-1,803	41,653	54,63 (2.15)
3110	-41,823	-2,034	-1,599	41,902 (1.649)
TOTAL ABSORBIDO				3,799 in

Los desplazamientos absorbidos por los cambios de dirección recomendados representan el 69,83% del desplazamiento total generado en el tramo de tubería superficial, el cual está por encima del valor propuesto como mínimo que se debía absorber.

Los ajustes realizados al diseño propuesto, permitieron que los esfuerzos sostenidos, por expansión térmica y carga ocasional (sismo) se mantuvieran por debajo de los valores máximos permisibles por el Código ASME B31.4. Los esfuerzos de acuerdo a las características del material, configuración del arreglo de tuberías, ubicación de restricciones son admisibles y se garantiza la integridad mecánica del sistema bajo estas cargas. En las siguientes tablas (tabla 3.3.5, 3.3.6 y 3.3.7) se muestran los resultados obtenidos después de haber realizado los ajustes:

Tabla 3.3.5 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de diseño

Tipo de esfuerzo	$\sigma_{\text{máx. permisible}}$		$\sigma_{\text{máx. obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
Sostenido	193471	28080	77150	11197,4	39,9	3140
Expansión	257962	37440	205970	29894,0	98,9	8223

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 7.

Tabla 3.3.6 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías en condiciones de operación

Tipo de esfuerzo	$\sigma_{\text{máx. permisible}}$		$\sigma_{\text{máx. obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
Sostenido (1E1)	193471	28080	68754	9978,8	35,5	3140
Sostenido (1F1)	193471	28080	63104	9158,8	32,6	3140
Expansión (1E1)	257962	37440	122097	17720,9	47,3	1634
Expansión (1F1)	257962	37440	122097	17720,9	47,3	1634

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 7.

Tabla 3.3.7 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías bajo carga ocasional (sismo) en condiciones de operación 1E1

Tipo de esfuerzo	$\sigma_{\text{máx. permisible}}$		$\sigma_{\text{máx. obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
OCC (Sismo +X)	286624	41600	152939	22197,3	53,4	4200
OCC (Sismo -X)	286624	41600	158376	22986,4	55,3	4200
OCC (Sismo +Y)	286624	41600	78709	11423,6	27,5	3140

Continuación Tabla 3.3.7 - Máximos esfuerzos sobre el sistema de tuberías bajo carga ocasional (sismo) en condiciones de operación 1E1

Tipo de esfuerzo	$\sigma_{\text{máx. permisible}}$		$\sigma_{\text{máx. obtenido}}$		%	Nodo
	kPa	Psi	kPa	Psi		
OCC (Sismo -Y)	286624	41600	78709	11423,6	27,5	3140
OCC (Sismo +Z)	286624	41600	78713	11424,3	27,5	3140
OCC (Sismo -Z)	286624	41600	137507	19957,5	48	3140

Nota: Ver reporte de simulación en el apéndice N° 7.

Los desplazamientos y rotaciones fueron evaluados en la condición de operación más desfavorable (condición de operación 1E1), ya que su evaluación en

caso de diseño, podrá dar resultados elevados y por lo tanto una selección de soportes muy conservadora.

A efectos del modelo implantado los mayores desplazamientos y rotaciones se generan en los puntos donde hay cambios de dirección, sin embargo estos resultan manejables de acuerdo a la configuración geométrica del sistema de tuberías.

Se garantizó que en ninguno de los casos el espaciamiento entre soportes permitiera una deflexión de la tubería mayor a 50,8 milímetros, según lo establecido en los criterios para este análisis, en la tabla 3.3.8 se muestran los valores de los desplazamientos en la condición de operación 1E1:

Tabla 3.3.8 - Máximos desplazamientos y rotaciones del sistema de tuberías en condiciones de operación 1E1

Desplazamientos	Obtenido (mm)	Nodo	Rotaciones	Obtenido (Deg)	Nodo
Dx	47,723	470	Rx	-0,3141	3120
Dy	-40,657	3108	Ry	-0,1750	7015
Dz	-10,921	7030	Rz	-0,3023	3109

3.4 Golpe de Ariete

Para la evaluación del efecto del golpe de ariete, se utilizó una metodología propuesta por manuales de INELECTRA con los cuales se determinó el valor de la sobrepresión inicial, y con ecuaciones deducidas en el trabajo de grado de Ayala Rolando, se determinó la velocidad de la onda generada por el golpe de ariete. La evaluación de los esfuerzos que puedan ser generados por el efecto de este fenómeno fueron descartado por criterios de diseño.

3.4.1 Determinación de la velocidad de la onda del golpe de ariete

La velocidad de onda de golpe de ariete muchas veces es aproximada a la velocidad del sonido, y en muchos estudios se utiliza ese valor para realizar los cálculos posteriores a este. En esta evaluación el fluido que fluye a través del sistema de tuberías es petróleo y esto afecta mucho en la aproximación que se acostumbra a realizar, por ello se utilizó la ecuación deducida por Ayala, Rolando en la cual se considera las propiedades del fluido y de la tubería para la determinación según la Ec. 2.4.3.

La constante C1 se calculó según el tipo de restricción de la tubería y relación de pared gruesa o delgada, en este sistema se considero que la tubería es anclada en ambos extremos y según la siguiente relación se determina la suposición de pared delgada.

$$\frac{r}{e} \geq 10 \quad \text{Ec. 3.4.1}$$

Donde:

r : Radio externo de la tubería

e : Espesor de la tubería.

Sustituyendo en la Ec. 3.4.1 se obtiene que:

$$17 \geq 10$$

Considerando el resultado anterior, se calculó la constante C1 para una tubería anclada en ambos extremos de pared delgada mediante la Ec. 3.4.2[2]:

$$C1 = 1 - v^2 \quad \text{Ec. 3.4.2}$$

Donde:

ν : Coeficiente de poisson (para aceros al carbono 0.3)

Sustituyendo en la Ec. 3.4.2 nos queda un resultado de:

$$CI = 0,91$$

Para determinar el modulo de compresibilidad promedio del hidrocarburo, se utilizó la Ec. 2.4.4 a la temperatura de diseño con un grado API 46,04 obteniendo que:

$$K = 598482 \text{ kPa} (86862,44 \text{ Psi})$$

Al sustituir todos los datos en la Ec. 2.4.3 se obtuvo la velocidad de la onda de golpe ariete:

$$a = 741,8 \text{ m/s} (2433,71 \text{ pie/s})$$

3.4.2 Determinación de la magnitud de la sobrepresión inicial

La sobrepresión inicial de golpe de ariete, fue determinada suponiendo el cierre instantáneo de la válvula de bloqueo ubicada a la entrada de la trampa de recibo TR-33002, bajo las condiciones de la filosofía de operación 1E1 ya que esta presenta la condición de operación más desfavorable del oleoducto.

La magnitud de la sobrepresión se cálculo por medio de la Ec. 3.8, propuesta en la guía de diseño por golpe de ariete de INELECTRA. Esta ecuación es utilizada para pre-evaluaciones ya que los resultados obtenidos por dicha ecuación son muy conservadores, pero lo suficientemente apropiados para determinar si se generará una sobrepresión inicial que comprometa al sistema de tuberías.

$$\Delta P_o = \frac{\alpha \cdot BPD \cdot sg}{6260 \cdot D_i^2} \quad \text{Ec. 3.4.3}$$

Donde:

ΔP_o : Sobrepresión Inicial

α : Velocidad de la Onda de Golpe de Ariete.

BPD : Caudal (Barriles de petróleo)

sg : Gravedad específica.

D_i : Diámetro interno de la tubería.

Sustituyendo los valores en la Ec. 3.4.3 se obtuvo la sobrepresión inicial en la válvula:

$$\Delta P_o = 599 \text{ kPa (87 Psi)}$$

El valor que se obtuvo de sobrepresión inicial representa el 20,78 % del valor de la presión de diseño del oleoducto. Según el párrafo 402.2.3 de la norma ASME B 31.4, (ver apéndice N° 8) se debe garantizar que las variaciones de presión u operación anormal en los sistemas de tuberías que transportan hidrocarburos no excedan en un 10% la presión de diseño, en la evaluación realizada, el resultado obtenido de sobrepresión generada producto del cierre instantáneo de una válvula no sobrepasa el valor permisible por la norma, lo que indica que este incremento de presión puede ser absorbido por la tubería garantizando que el oleoducto se encuentra bajo los estándares de la norma y no existe ningún riesgo de fallas producto de la sobrepresión generada por el golpe de ariete. Dejando este resultado sin efecto, cualquier evaluación siguiente por este fenómeno, es decir no se hace necesario, la evaluación de los esfuerzos que puedan ser generados, producto de esta sobrepresión ni selección de sistemas mitigantes para el golpe de ariete.

3.5 Selección de soportes

Los soportes fueron seleccionados del estándar de soportes mecánicos de INELECTRA, garantizando que estos resistan las cargas reportadas por el software Caesar II.

Las cargas con las cuales se seleccionaron los soportes fueron las más severas entre la comparación de los valores de estas, en los casos de operación 1E1, prueba hidrostática y diseño.

En la tabla 3.5.1 se muestran las cargas aplicadas en los soportes según la restricción que este le impone al sistema de tuberías y en que nodo fueron modelados.

Tabla 3.5.1 - Cargas sobre los soportes

Soporte N°	Carga (-Y) kg (lb)	Nodo
1	2172,70 (4790)	482
2	1477,80 (3258)	484
3	1822,08 (4017)	3091
4	1565,34 (3451)	3092
5	1537,67 (3390)	3093
6	1737,71 (3831)	3094
7	1749,05 (3856)	3095
8	1633,38 (3601)	7015
9	1534,94 (3395)	7030
10	1598,00 (3523)	3097
11	1758,12 (3876)	3098
12	1744,06 (3845)	3099

Continuación Tabla 3.5.1 - Cargas sobre los soportes

Soporte	Carga (-Y)	Nodo
----------------	-------------------	-------------

N°	kg (lb)	
13	1736,80 (3829)	3101
14	1821,62 (4010)	3102
15	1531,32 (3376)	3103
16	2481,15 (3104)	3104
17	2315,13 (5104)	3112
18	2087,88 (4603)	3114
19	1761,75 (3884)	12547

La ubicación de los soportes mecánicos se aprecia desde la figura 3.5.1 a 3.5.9 donde se indica la ubicación en planta y las elevaciones de cada uno de los soportes asociados oleoducto.

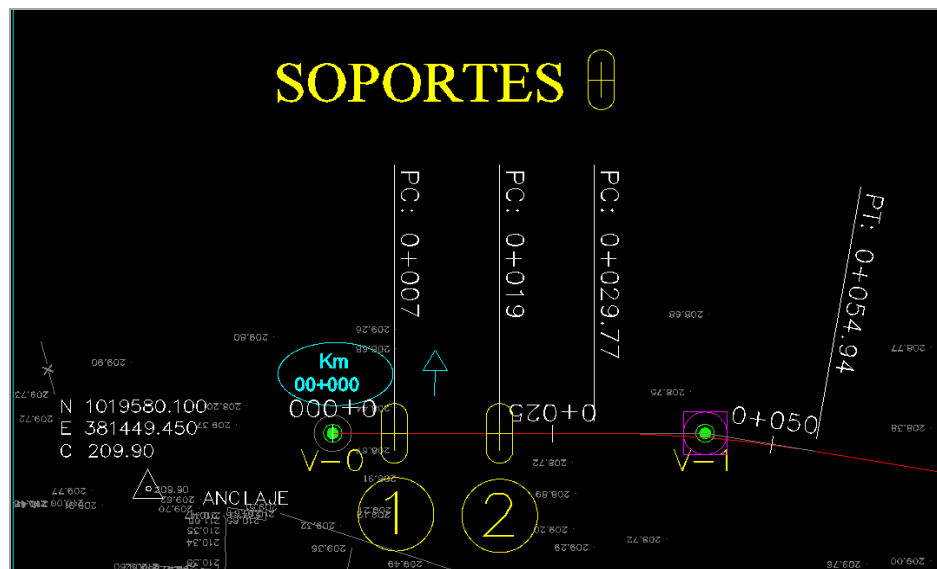


Figura 3.5.1 - Ubicación de los soportes a la salida de la trampa de envío TE-33001 (Planta)

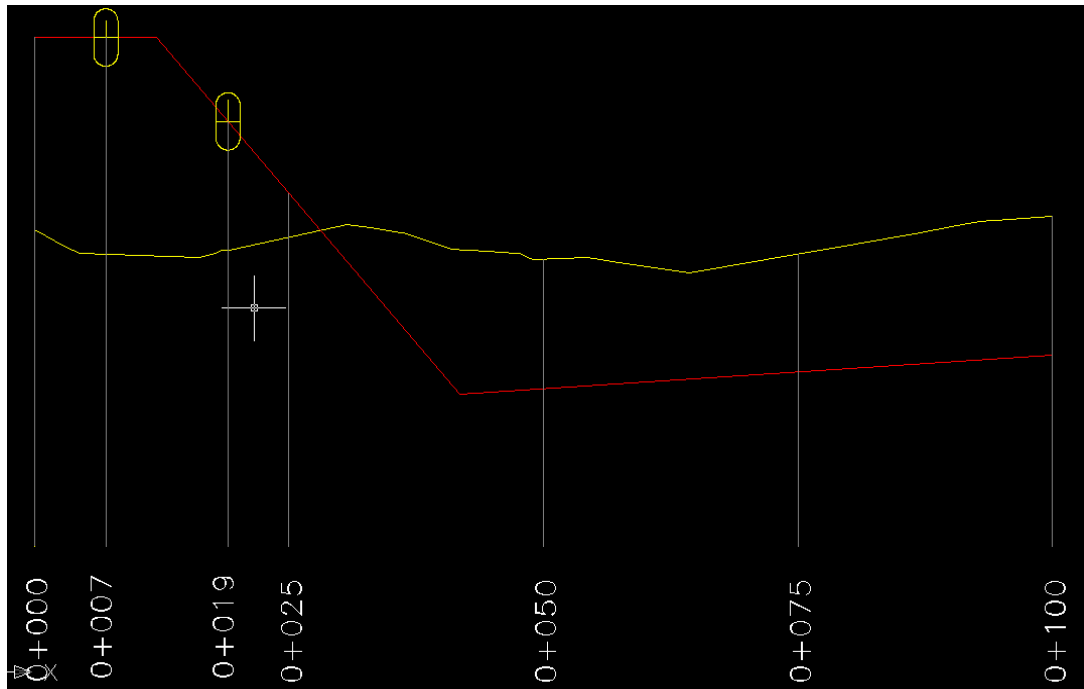


Figura 3.5.2 - Ubicación de los soportes a la salida de la trampa de envío TE-33001 (Elevación)

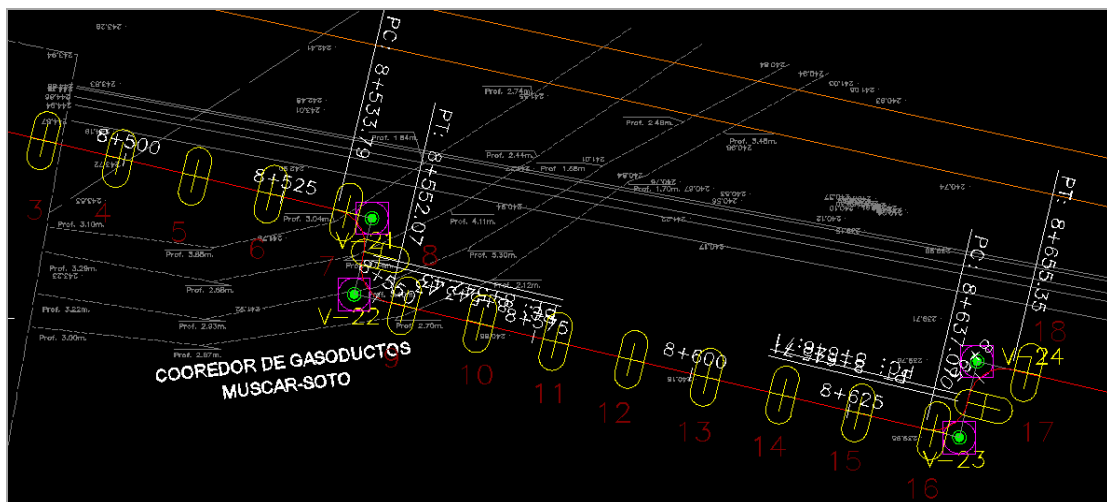


Figura 3.5.3 - Ubicación de los soportes en la estación de válvulas La Ceibita (Planta)

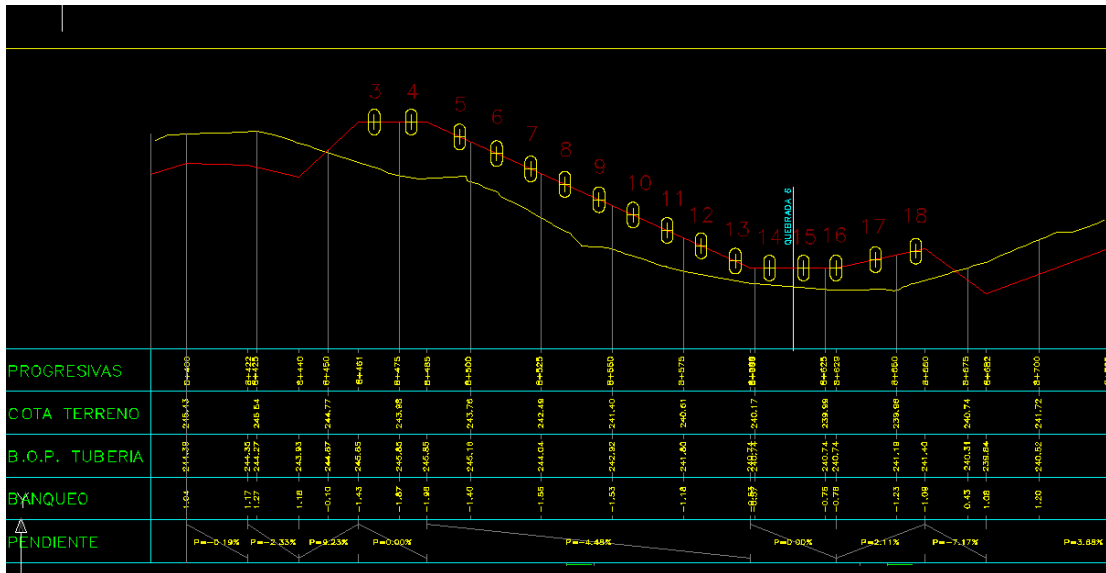


Figura 3.5.4 - Ubicación de los soportes en la estación de válvulas La Ceibita (Elevación)

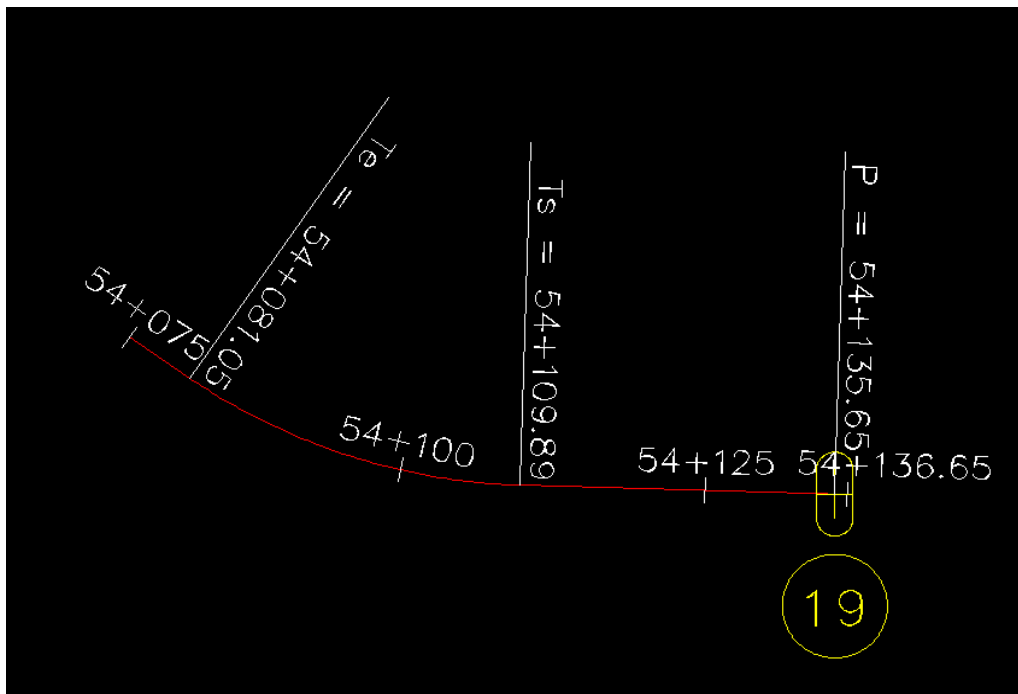


Figura 3.5.5 - Ubicación de los soportes a la llegada de la trampa de recibo TR-33002 (Planta)

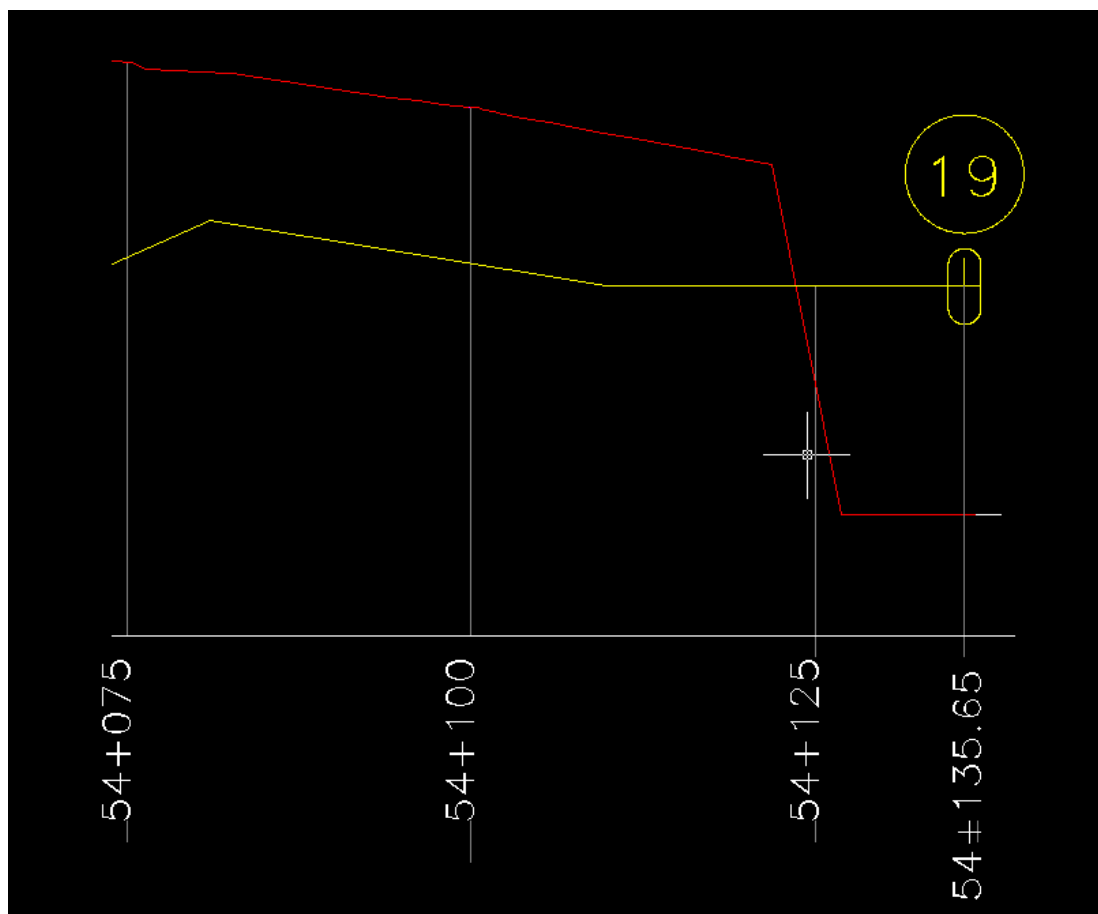


Figura 3.5.6 - Ubicación de los soportes a la llegada de la trampa de recibo TR-33002 (Elevación)

Con la intención de obtener un único tipo de soporte que satisfaga los requerimientos de cargas y diferentes las elevaciones existentes, se seleccionó el soporte según la carga de mayor magnitud reportada y con la mayor elevación entre la superficie y el BOP de la tubería. En la tabla 3.5.2 se muestra el valor de carga y altura máxima y su ubicación:

Tabla 3.5.2 - Cargas y alturas máximas

N° Soporte	Nodo	Carga Máxima kg (lb)	Altura Máxima
17	3104	2481,15 (3104)	1200 mm
19	12547	1761,75 (3884)	1500 mm

Con los valores anteriores de tabla 3.5.2, se obtuvo del estándar de soportes, un soporte tipo H, MA-02-47 (ver figura 3.5.7) el cual resiste una carga máxima de 4053kg y tiene una altura máxima de 1,5 m cumpliendo éste con los requerimientos anteriormente descritos:

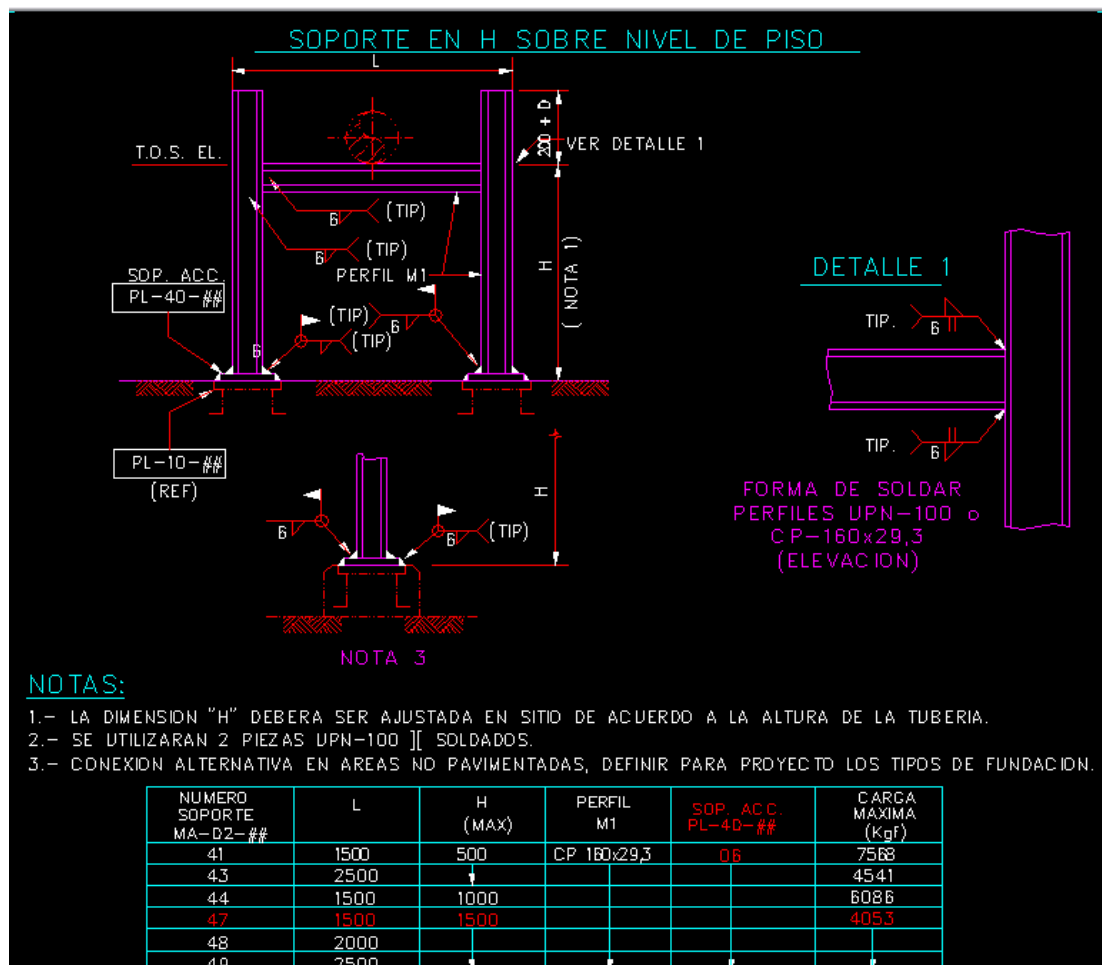


Figura 3.5.7 - Soporte MA-02-47 seleccionado

Para la fijación del soporte a la superficie se realiza por medio de dos planchas soldadas entre si y al soporte las que luego son apernadas a la fundación, estas planchas también son seleccionadas del estándar de soportes de INELECTRA, las cuales son determinadas en función del soporte anteriormente obtenido, teniendo así las panchas PL-40-06 (ver figura 3.5.8) y PL-10-04 (ver figura 3.5.9):

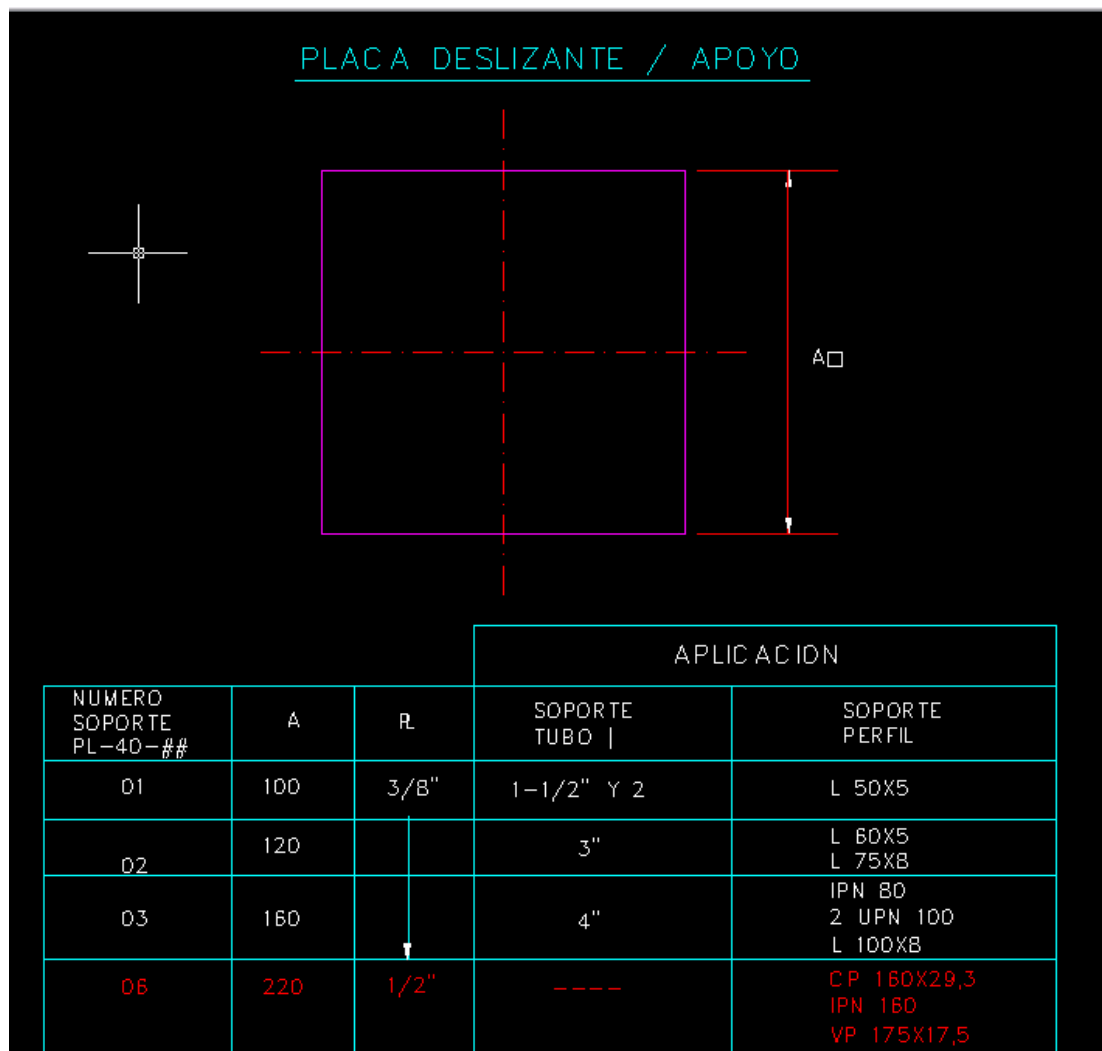


Figura 3.5.8 - Soporte accesorio PL-40-06

La plancha PL-40-06 se selecciona directamente con el soporte MA-02-47, ya que la plancha está considerada como un soporte accesorio del soporte tipo H, para la selección de la plancha base PL-10-04, se utilizó las dimensión “A” de la plancha PL-40-06, que es igual a 200 mm, y en función a esta se seleccionó la plancha PL-10-04 la cual tiene una separación entre los centros de los agujeros “B” de 230 mm, distancia suficiente para realizar la soldadura entre las planchas y colocar los pernos.

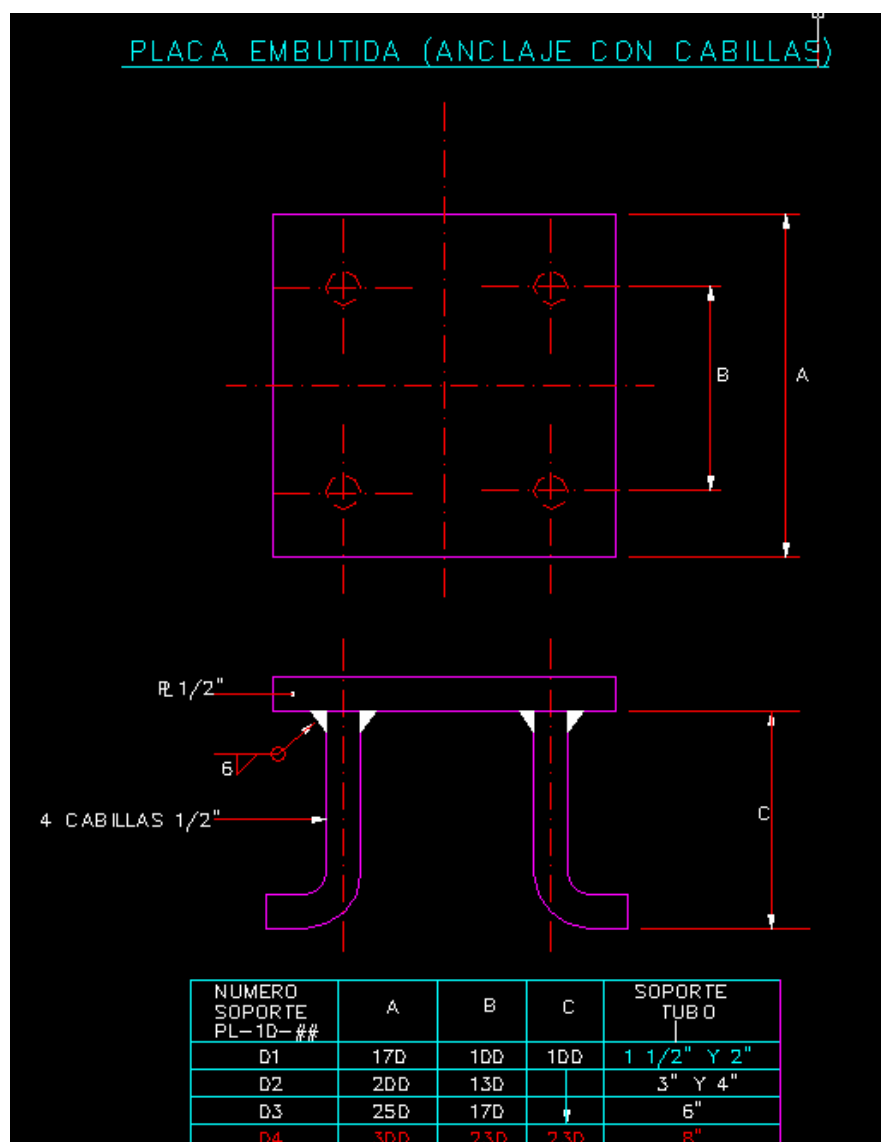


Figura 3.5.9 - Plancha base PL-10-04

Los soportes ubicados en las trampas de envío, recibo y válvulas de seccionamiento, y fundaciones de todos los soportes son diseñadas por el departamento de ingeniería civil, basados en las cargas reportadas por el análisis de flexibilidad, debido a que en el estándar de soportes no existe alguno que satisficiera los requerimientos para estos de cargas, diseño y restricciones aplicadas a la tubería.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño inicial propuesto, cumplió con los valores de espesores de pared permisibles por la norma ASME B 31.4, sin embargo los valores de los esfuerzos calculados mediante el análisis de flexibilidad exceden los valores admisibles por la norma lo que llevó a realizar modificaciones al diseño para garantizar que cumpla con los valores permisibles de los esfuerzos.
- La sobrepresión generada por el cierre instantáneo de la válvula de bloqueo en la trampa de recibo TR-33002, fue de 599 kPa que representa un 20,78% de la presión de diseño, cumpliendo este valor con el permisible por la norma ASME B 31.4.
- El efecto de la sobrepresión y onda de golpe de ariete es absorbido por el sistema de tuberías sin poner en riesgo su integridad mecánica.
- No se hace necesaria la selección de algún sistema mitigante del efecto del golpe de ariete.
- Los soportes seleccionados resisten las cargas ejercidas por el sistema de tuberías según el análisis de flexibilidad, mientras que la evaluación del golpe de ariete no arrojó ningún resultado significativo para la selección de estos.
- Se garantizó que el diseño de tuberías definitivo cumple con los requerimientos de la norma ASME B 31.4 y demás exigencias del cliente.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda validar cualquier cambio en el diseño del oleoducto ya que los resultados arrojados por esta evaluación están asociados directamente al diseño propuesto.
- Se recomienda considerar como parte del diseño que se ejecuta la configuración de tuberías definida en los planos correspondientes, así como la ubicación de soportes y definición de tipos de soportes, tal como se refleja en esta evaluación.
- No se recomienda la operación del oleoducto en condiciones diferentes a las establecidas en el diseño, ya que podría presentarse fallas por flexibilidad y no se garantiza que el efecto del golpe de ariete sea el determinado por esta evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

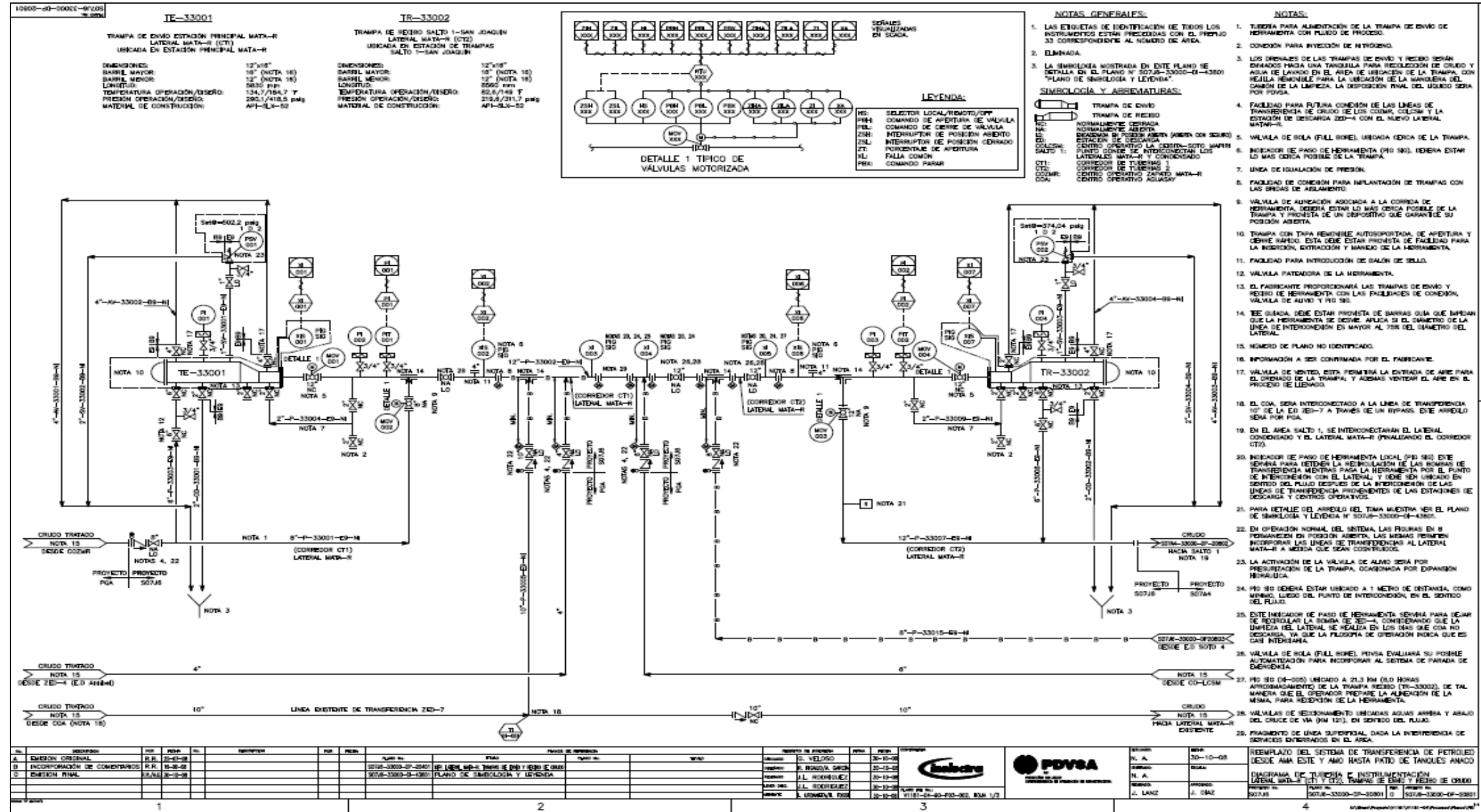
1. Corrales J, y Neptune J., **“Estudio dinámico de flexibilidad del sistema de bombeo de residual de la refinería de Puerto la Cruz”**. Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Mecánica, Puerto la Cruz (2001).
2. Ayala R., **“Optimización de una herramienta computacional para el estudio del fenómeno de Golpe de Ariete en una línea de tuberías”**. Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Civil Puerto la Cruz, (2003).
3. Sánchez A., **“Estudio de flexibilidad del sistema de tuberías de descarga de suspensión de Bauxita Molida del Área 32 a 31 de CVG Bauxilum”** Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Mecánica Puerto la Cruz, (2007).
4. Gotera E., **“Diseño de tuberías”** edición disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos25/disenio-tuberias/disenio-tuberias.shtml>
5. INELECTRA SACA, **“Manual de Flexibilidad y Soportería”** Revisión 3 (1998).
6. INELECTRA SACA, **“Guía de diseño para golpe de ariete”** Revisión 1 (2002).
7. Universidad de Oviedo, **“Práctica de instalaciones de fluidos – Golpe de Ariete”** (2005), edición disponible en <http://web.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/>
8. Manual de diseño de procesos PDVSA MDP-02-FF-02, **“Flujo de fluidos principios básicos”**, (1996).

9. MecFluidos, **“Golpe de Ariete”**, edición disponible en <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/MecanicaFluidos/PDFs/11MecFluidos.pdf>

10. Norma ASME B 31.4, **“Pipeline Transportation system for liquid hydrocarbons and other liquid”** (2006)

APÉNDICE

APÉNDICE N° 1 Diagrama de tuberías e instrumentación.



No.	DESCRIPCIÓN	IMP.	FECHA	HECHO POR	REVISADO POR	PROYECTO	PLANO	PARTE DE OPERACIÓN	OTRO
A	EMISIÓN ORIGINAL	R.R.	20-08-08			5076-33000-01-2803	SEÑAL PARA TRAMPA DE ENVIO Y RECEPCION		
B	INCORPORACIÓN DE CAMBIOS	R.R.	16-08-08			5076-33000-01-3301	PLANO DE SIMBOLOGÍA Y LEYENDA		
C	EMISIÓN FINAL	R.R.	16-08-08						

REVISOR	FECHA	REVISADO	FECHA
REVISOR: E. VELAZCO	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: E. ROSA SOTO	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: J.L. RODRIGUEZ	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: J.L. RODRIGUEZ	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: L. GONZALEZ	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08

REVISOR	FECHA	REVISADO	FECHA
REVISOR: N. A.	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: N. A.	20-10-08	REVISADO: N. A.	20-10-08
REVISOR: J. LANZ	20-10-08	REVISADO: J. LANZ	20-10-08

APÉNDICE N° 2

Especificaciones de materiales del oleoducto.

Tabla 2.1 Especificación de materiales B9, PDVSA HA-211-POT

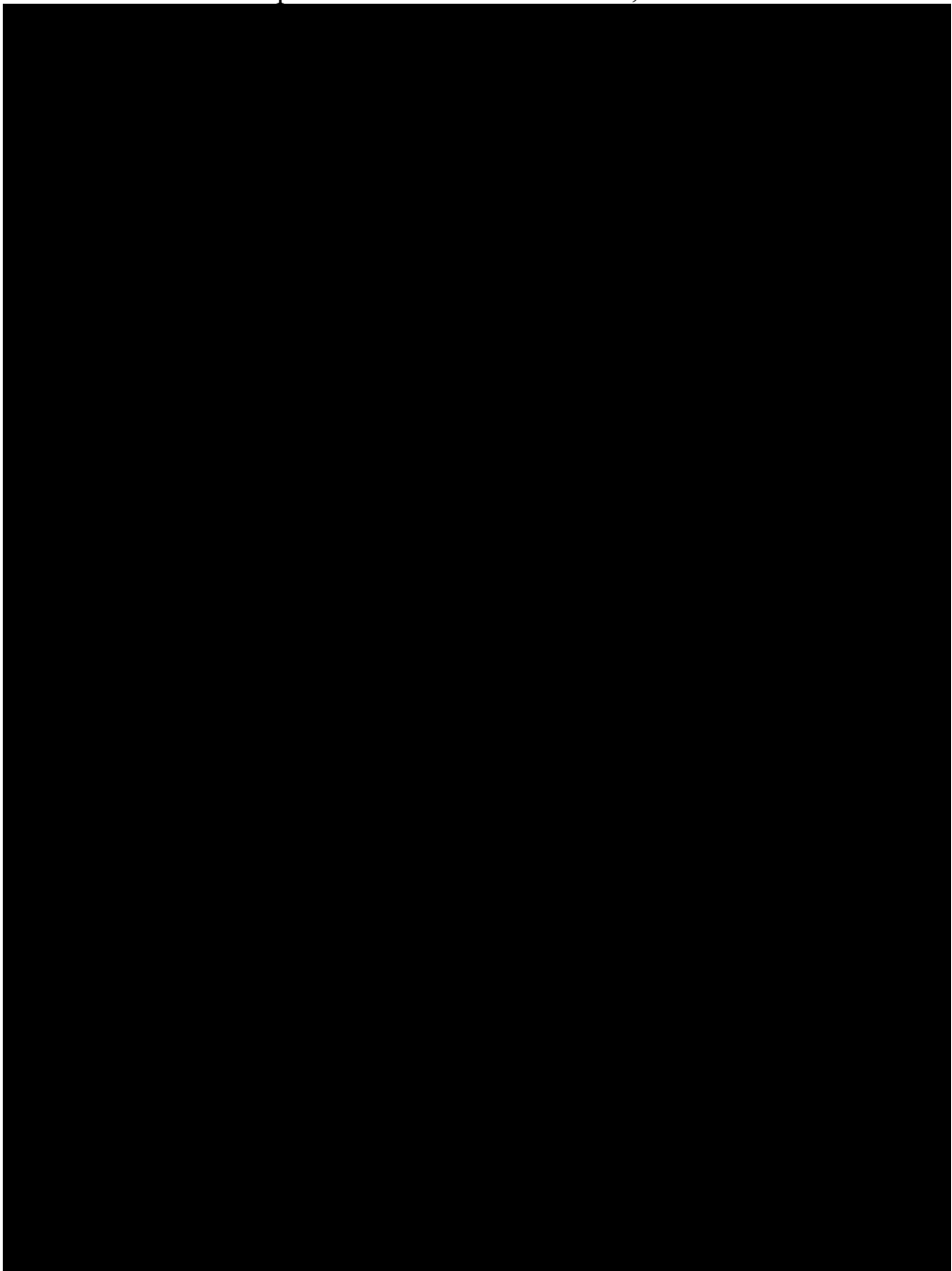
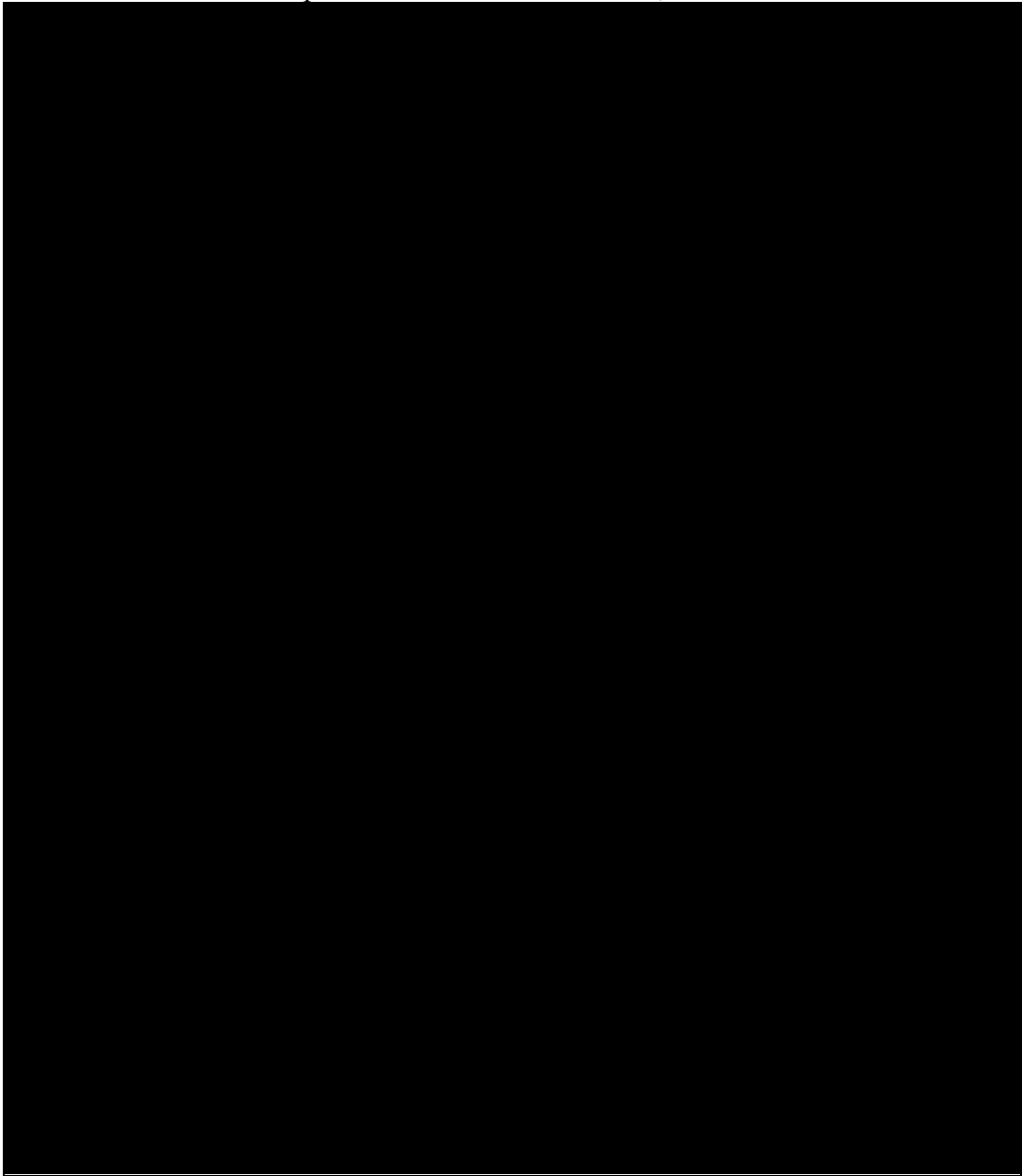


Tabla N° 2.2 Especificación de materiales E9, PDVSA HA-211-POT



APÉNDICE N° 3

Alineamiento y perfiles del oleoducto

APÉNDICE N° 4

Elevaciones y plantas de las trampas de envío te-33001 y recibo tr-33002

APÉNDICE N° 5

Reporte de esfuerzos máximos según el software Caesar II

CAESAR II Ver:5.00.7, (Build 070122) Date: NOV 18, 2008 Time: 15:30
Job: D:\USERS\LOCHOA19556\DESKTOP\TESIS\MATA R FALLANDOB
Licensed To: INELECTRA S.A.C.A. -- ID #14163
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 11 (SUS) W+P1
CASE 12 (SUS) W+P2
CASE 13 (SUS) W+P3
CASE 14 (EXP) L14=L2-L11
CASE 15 (EXP) L15=L3-L12
CASE 16 (EXP) L16=L4-L13

Piping Code: B31.4 -2002, October 4, 2002

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 11 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 11 (SUS) W+P1
CodeStress Ratio: 49.4 @Node 3104
Code Stress: 13877.1 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 3523.9 @Node 60
Bending Stress: 10626.8 @Node 3104
Torsion Stress: 1000.6 @Node 180
Hoop Stress: 7225.3 @Node 90
3D Max Intensity: 16629.9 @Node 3104

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 12 (SUS) W+P2

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 12 (SUS) W+P2
CodeStress Ratio: 45.0 @Node 3104
Code Stress: 12629.6 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 2343.9 @Node 535
Bending Stress: 10626.8 @Node 3104
Torsion Stress: 1000.6 @Node 180
Hoop Stress: 4816.0 @Node 482
3D Max Intensity: 15075.3 @Node 3104

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 13 (SUS) W+P3

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 13 (SUS) W+P3
CodeStress Ratio: 42.1 @Node 3104
Code Stress: 11815.1 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 1497.6 @Node 4390
Bending Stress: 10626.8 @Node 3104
Torsion Stress: 1000.6 @Node 180
Hoop Stress: 3060.8 @Node 482
3D Max Intensity: 14060.1 @Node 3104

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 14 (EXP) L14=L2-L11

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 14 (EXP) L14=L2-L11
CodeStress Ratio: 166.6 @Node 3140
Code Stress: 62379.3 Allowable: 37440.0
Axial Stress: 21526.9 @Node 9025
Bending Stress: 52870.5 @Node 3140
Torsion Stress: 1133.7 @Node 4150
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 73972.5 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 15 (EXP) L15=L3-L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 15 (EXP) L15=L3-L12
CodeStress Ratio: 46.4 @Node 1634
Code Stress: 17365.1 Allowable: 37440.0
Axial Stress: 11886.3 @Node 2380
Bending Stress: 10504.1 @Node 3120
Torsion Stress: 353.2 @Node 4150
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 20699.4 @Node 1634

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 16 (EXP) L16=L4-L13

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 16 (EXP) L16=L4-L13
CodeStress Ratio: 48.1 @Node 2890
Code Stress: 18026.1 Allowable: 37440.0
Axial Stress: 11899.3 @Node 2713
Bending Stress: 18016.4 @Node 2890
Torsion Stress: 719.6 @Node 4150

Figura 5.1 - Esfuerzos máximos por carga sostenida y expansión

CAESAR II Ver.5.00.7, (Build 070122) Date: NOV 18, 2008 Time: 16:34
Job: D:\USERS\LOCHOA19556\DESKTOP\TESIS\MATA R FALLANDOB
Licensed To: INELECTRA S.A.C.A. -- ID#14163
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 23 (OCC) L23=L17+L12
CASE 24 (OCC) L24=L18+L12
CASE 25 (OCC) L25=L19+L12
CASE 26 (OCC) L26=L20+L12
CASE 27 (OCC) L27=L21+L12
CASE 28 (OCC) L28=L22+L12

Piping Code: B31.4 -2002, October 4, 2002

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 23 (OCC) L23=L17+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 23 (OCC) L23=L17+L12
CodeStress Ratio: 146.0 @Node 3140
Code Stress: 60719.3 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 19035.5 @Node 9025
Bending Stress: 53428.0 @Node 3140
Torsion Stress: 6919.2 @Node 4160
Hoop Stress: 2936.0 @Node 482
3D Max Intensiv: 75439.0 @Node 3140

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 24 (OCC) L24=L18+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 24 (OCC) L24=L18+L12
CodeStress Ratio: 138.3 @Node 3140
Code Stress: 57530.5 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 19035.5 @Node 9025
Bending Stress: 50732.0 @Node 3140
Torsion Stress: 7426.0 @Node 4160
Hoop Stress: 2936.0 @Node 482
3D Max Intensiv: 71651.5 @Node 3140

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 25 (OCC) L25=L19+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 25 (OCC) L25=L19+L12
CodeStress Ratio: 137.9 @Node 3140
Code Stress: 57349.3 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 19035.5 @Node 9025
Bending Stress: 50060.8 @Node 3140
Torsion Stress: 999.6 @Node 4199
Hoop Stress: 2936.0 @Node 482
3D Max Intensiv: 71455.0 @Node 3140

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 26 (OCC) L26=L20+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 26 (OCC) L26=L20+L12
CodeStress Ratio: 147.7 @Node 3140
Code Stress: 61435.8 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 19035.5 @Node 9025
Bending Stress: 54563.8 @Node 3140
Torsion Stress: 1176.6 @Node 180
Hoop Stress: 2936.0 @Node 482
3D Max Intensiv: 76271.0 @Node 3140

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 27 (OCC) L27=L21+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 27 (OCC) L27=L21+L12
CodeStress Ratio: 143.0 @Node 3140
Code Stress: 59482.0 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 19035.5 @Node 9025
Bending Stress: 52429.8 @Node 3140
Torsion Stress: 3714.5 @Node 4199
Hoop Stress: 2936.0 @Node 482
3D Max Intensiv: 73970.0 @Node 3140

Figura 5.2 - Esfuerzos por carga ocasional (sismo)

APÉNDICE N° 6

Coefficientes de expansión térmica

Tabla 6.1 Coeficientes de expansión térmica a diferentes temperaturas ASME B 31.3

Table C-1 Total Thermal Expansion, U.S. Units, for Metals
Total Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, in./100 ft

Temp., °F	Material							
	Carbon Steel Carbon-Moly- Low-Chrome (Through 3Cr-Mo)	5Cr-Mo Through 9Cr-Mo	Austenitic Stainless Steels 18Cr-8Ni	12Cr, 17Cr, 27Cr	25Cr-20Ni	UNS N04400 Monel 67Ni-30Cu	3 ¹ / ₂ Ni	Copper and Copper Alloys
-450	...	...	...	...	...	...	...	-3.93
-425	...	...	...	...	...	...	...	-3.93
-400	...	...	...	...	...	...	...	-3.91
-375	...	...	...	...	...	...	...	-3.87
-350	...	...	...	...	...	...	...	-3.79
-325	-2.37	-2.22	-3.85	-2.04	...	-2.62	-2.25	-3.67
-300	-2.24	-2.10	-3.63	-1.92	...	-2.50	-2.17	-3.53
-275	-2.11	-1.98	-3.41	-1.80	...	-2.38	-2.07	-3.36
-250	-1.98	-1.86	-3.19	-1.68	...	-2.26	-1.96	-3.17
-225	-1.85	-1.74	-2.96	-1.57	...	-2.14	-1.86	-2.97
-200	-1.71	-1.62	-2.73	-1.46	...	-2.02	-1.76	-2.76
-175	-1.58	-1.50	-2.50	-1.35	...	-1.90	-1.62	-2.53
-150	-1.45	-1.37	-2.27	-1.24	...	-1.79	-1.48	-2.30
-125	-1.30	-1.23	-2.01	-1.11	...	-1.59	-1.33	-2.06
-100	-1.15	-1.08	-1.75	-0.98	...	-1.38	-1.17	-1.81
-75	-1.00	-0.94	-1.50	-0.85	...	-1.18	-1.01	-1.56
-50	-0.84	-0.79	-1.24	-0.72	...	-0.98	-0.84	-1.30
-25	-0.68	-0.63	-0.98	-0.57	...	-0.77	-0.67	-1.04
0	-0.49	-0.46	-0.72	-0.42	...	-0.57	-0.50	-0.77
25	-0.32	-0.30	-0.46	-0.27	...	-0.37	-0.32	-0.50
50	-0.14	-0.13	-0.21	-0.12	...	-0.20	-0.15	-0.22
70	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0.23	0.22	0.34	0.20	0.32	0.28	0.23	0.34
125	0.42	0.40	0.62	0.36	0.58	0.52	0.42	0.63
150	0.61	0.58	0.90	0.53	0.84	0.75	0.61	0.91
175	0.80	0.76	1.18	0.69	1.10	0.99	0.81	1.20
200	0.99	0.94	1.46	0.86	1.37	1.22	1.01	1.49
225	1.21	1.13	1.75	1.03	1.64	1.46	1.21	1.79
250	1.40	1.33	2.03	1.21	1.91	1.71	1.42	2.09

APENDICE N° 7

Reportes de esfuerzos máximos según software Caesar II (diseño modificado).

CAESAR II Ver.5.00.7, (Build 070122) Date: NOV 22, 2008 Time: 12:57
Job: D:\USERS\TEODOR17651\DESKTOP\FLEXIBILIDAD\REV 0\C-033-01B
Licensed To: INELECTRA S.A.C.A. -- ID #14163
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 11 (SUS) W+P1
CASE 12 (SUS) W+P2
CASE 13 (SUS) W+P3
CASE 14 (EXP) L14=L2-L11
CASE 15 (EXP) L15=L3-L12
CASE 16 (EXP) L16=L4-L13
CASE 23 (OCC) L23=L17-L12
CASE 24 (OCC) L24=L18-L12
CASE 25 (OCC) L25=L19-L12
CASE 26 (OCC) L26=L19-L12
CASE 27 (OCC) L27=L20-L12
CASE 28 (OCC) L28=L12-L12

Pioma Code: B31.4 -2002, October 4, 2002

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 11 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 11 (SUS) W+P1
CodeStress Ratio: 39.9 @Node 3140
Code Stress: 11197.4 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 3530.4 @Node 60
Bending Stress: 8111.5 @Node 3140
Torsion Stress: 1895.2 @Node 3108
Hoop Stress: 7225.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 13869.5 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 12 (SUS) W+P2

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 12 (SUS) W+P2
CodeStress Ratio: 35.5 @Node 3140
Code Stress: 9976.8 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 2576.5 @Node 60
Bending Stress: 8111.5 @Node 3140
Torsion Stress: 1895.2 @Node 3108
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 12350.6 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 13 (SUS) W+P3

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 13 (SUS) W+P3
CodeStress Ratio: 32.6 @Node 3140
Code Stress: 9156.8 Allowable: 28080.0
Axial Stress: 1649.5 @Node 60
Bending Stress: 8111.5 @Node 3140
Torsion Stress: 1895.2 @Node 3108
Hoop Stress: 3354.5 @Node 30
3D Max Intensiv: 11328.8 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 14 (EXP) L14=L2-L11

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 14 (EXP) L14=L2-L11
CodeStress Ratio: 98.9 @Node 8223
Code Stress: 29894.0 Allowable: 30240.0
Axial Stress: 21585.0 @Node 8615
Bending Stress: 24942.4 @Node 11885
Torsion Stress: 1135.9 @Node 4150
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensiv: 54410.8 @Node 11885

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 15 (EXP) L15=L3-L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 15 (EXP) L15=L3-L12
CodeStress Ratio: 47.3 @Node 1634
Code Stress: 17720.9 Allowable: 37440.0
Axial Stress: 11886.3 @Node 2380
Bending Stress: 8546.7 @Node 6455
Torsion Stress: 729.5 @Node 12990
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensiv: 21120.5 @Node 1634

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 16 (EXP) L16=L4-L13

Figura 7.1 - Resumen de esfuerzos generados

CAESAR II Ver.5.00.7, (Build 070122) Date: NOV 22, 2008 Time: 12:57
Job: D:\USERS\WTEODOR\17651\DESKTOP\FLEXIBILIDAD\REV 01C-033-01B
Licensed To: INELECTRA S.A.C.A. -- ID #14163
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 16 (EXP) L16=L4-L13
CodeStress Ratio: 47.3 @Node 1634
Code Stress: 17720.9 Allowable: 37440.0
Axial Stress: 11886.3 @Node 2380
Bending Stress: 17686.6 @Node 2890
Torsion Stress: 677.1 @Node 12990
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensiv: 21120.5 @Node 1634

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 23 (OCC) L23=L17+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 23 (OCC) L23=L17+L12
CodeStress Ratio: 53.4 @Node 4200
Code Stress: 22197.3 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 2811.4 @Node 522
Bending Stress: 21012.1 @Node 4150
Torsion Stress: 6182.4 @Node 4160
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 29900.3 @Node 4150

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 24 (OCC) L24=L18+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 24 (OCC) L24=L18+L12
CodeStress Ratio: 55.3 @Node 4200
Code Stress: 22986.4 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 2740.7 @Node 4150
Bending Stress: 21467.3 @Node 4200
Torsion Stress: 8155.8 @Node 4160
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 31211.5 @Node 4150

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 25 (OCC) L25=L19+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 25 (OCC) L25=L19+L12
CodeStress Ratio: 27.5 @Node 3140
Code Stress: 11423.6 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 2592.6 @Node 60
Bending Stress: 9524.4 @Node 3140
Torsion Stress: 1562.7 @Node 3108
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 14066.5 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 26 (OCC) L26=L19+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 26 (OCC) L26=L19+L12
CodeStress Ratio: 27.5 @Node 3140
Code Stress: 11423.6 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 2592.6 @Node 60
Bending Stress: 9524.4 @Node 3140
Torsion Stress: 1562.7 @Node 3108
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 14066.5 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 27 (OCC) L27=L20+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 27 (OCC) L27=L20+L12
CodeStress Ratio: 27.5 @Node 3140
Code Stress: 11424.3 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 2561.0 @Node 60
Bending Stress: 9525.9 @Node 3140
Torsion Stress: 2227.5 @Node 3108
Hoop Stress: 5262.3 @Node 30
3D Max Intensiv: 14067.3 @Node 3140

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 28 (OCC) L28=L12+L12

Highest Stresses: (lb./sq.in.) LOADCASE 28 (OCC) L28=L12+L12
CodeStress Ratio: 48.0 @Node 3140
Code Stress: 19957.5 Allowable: 41600.0
Axial Stress: 5153.0 @Node 60
Bending Stress: 16223.1 @Node 3140
Torsion Stress: 3790.3 @Node 3108
Hoop Stress: 10524.6 @Node 30
3D Max Intensiv: 24701.3 @Node 3140

Figura 7.2 - Continuación Resumen de esfuerzos generados

APÉNDICE N° 8

Extracto de la norma ASME B 31.4 “Rangos de permisibles para las variaciones de las operaciones normales”

402.2.4 Ratings — Allowance for Variations From Normal Operations. Surge pressures in a liquid pipeline are produced by a change in the velocity of the moving stream that results from shutting down of a pump station or pumping unit, closing of a valve, or blockage of the moving stream.

Surge pressure attenuates (decreases in intensity) as it moves away from its point of origin.

Surge calculations shall be made, and adequate controls and protective equipment shall be provided, so that the level of pressure rise due to surges and other variations from normal operations shall not exceed the internal design pressure at any point in the piping system and equipment by more than 10%.

Figura 9.1 - Extracto de la norma ASME B 31.4

“Se deben realizar cálculos para proveer de controles adecuados y equipos de protección, cuando la sobrepresión o cualquier cambio en las operaciones normales de sistema de tubería exceda en un 10% la presión de diseño en cualquier punto del sistema”

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO A SER INSTALADO DESDE EL ÁREA MAYOR OFICINA (AMO) HASTA EL ÁREA DE TRAMPAS DE HERRAMIENTAS SAN JOAQUÍN
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
OCHOA A., LUIS A.	CVLAC: 18.278.865 E MAIL: luis.ochoa86@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Análisis de flexibilidad

Golpe de Ariete

Oleoductos

Caesar II

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El siguiente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el diseño mecánico propuesto para el nuevo sistema de transferencia de petróleo a ser instalado desde el Área Mayor Oficina hasta el Área de Trampas de Herramientas de San Joaquín mediante un análisis de flexibilidad y evaluación de golpe de ariete. Primeramente se chequearon los espesores seleccionados para las diferentes líneas del sistema de transferencia de manera de comprobar que cumplan con el valor permisible por la norma ASME B31.4. Mediante el análisis de flexibilidad realizado con los resultados del software CAESAR II se garantizó que los esfuerzos: por expansión térmica, sostenidos y eventos ocasionales (sismos) no excedan los valores máximos permisibles. La evaluación del golpe de ariete permitió determinar que el efecto de la sobrepresión generada por el cierre instantáneo de la válvula de bloqueo ubicada en la trampa de recibo, no compromete la integridad del sistema mecánico ni sobrepasa el valor permisible por la norma sin necesidad de seleccionar algún sistema de mitigación del efecto de golpe de ariete, por último se seleccionaron los soportes del oleoducto según las cargas reportadas por el análisis de

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Guerra, Gueobanny.	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	gueobanny.guerra@inelectra.com			
	E_MAIL				
Ayala, Orlando M.	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	Ofar.ayalah@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	01	16
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Evaluaciondiseñomecanico.docx	Application/msword

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

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente / Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo quien lo participara al Consejo Universitario”

Ochoa Amundarain, Luis Alejandro.

AUTOR

Prof. Orlando Ayala R
Rodriguez

TUTOR

Prof. Henry Espinoza

JURADO

Prof. Anabelis

JURADO

Prof. Delia Villarroel
POR LA SUBCOMISION DE TESIS

