

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



**ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LA LÍNEA DE CRUDO DE
LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1 DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ**

REALIZADO POR:

Christian José Urrieta Acosta
C.I.: 17.008.110

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial para Optar al 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



**ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LA LÍNEA DE CRUDO DE
LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1 DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ**

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial para Optar el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Héctor Pernía
Asesor Industrial

Prof. Carlos Gomes
Asesor Académico

Puerto La Cruz, Enero de 2009.

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



**ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LA LÍNEA DE CRUDO DE
LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1 DE LA REFINERÍA
PUERTO LA CRUZ**

JURADO

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

APROBADO

Prof. Carlos Gomes
Asesor Académico

Prof. Carmen García
Jurado Principal

Prof. Francisco García
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Enero de 2009.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, el cual Participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por haberme permitido estar donde ahora estoy, dándome salud vida y sabiduría todo este tiempo. Gracias por no abandonarme nunca Señor.

A mi Padre, a quien le dedico especialmente el cumplimiento de esta meta, gracias por haber confiado en mí y por estar allí en cada uno de los momentos más difíciles e importantes de mí vida.

A mis Abuelas, Mery e Hilda gracias por estar siempre a mi lado y mil gracias por todo lo que me han enseñado.

A la memoria de mi Abuelo Oscar, se que desde donde estés siempre me has cuidado.

A mi Abuelo Julio, Gracias Viejo.

A mi tía Carmen un millón por haberme apoyado durante toda mi carrera. Gracias.

A mi hermano Marcelo, todos mis tíos, primos y demás familiares.

A Yetselly Keen, gracias por todo mi princesa, este logro también es tuyo. Te quiero.

Y por último y no menos importante a Christiaan D'Elía, (mi amigo) gracias hermano.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, te agradezco por darme la vida y la salud que hasta ahora me has dado, he pasado por difíciles momentos en mi vida pero me han servido de mucho, para valorar aun más la vida que hasta hoy en día me das y con la cual he podido llevar a cabo uno de mis mayores anhelos.

A mi Padre, Oscar Urrieta, gracias a todos los esfuerzos que has hecho por mí hoy en día estoy viendo la culminación de un gran paso en mi vida, aquí está lo que un día te prometí, te quiero Papa. Mil gracias por siempre haber confiado en mí.

A la memoria de mi Abuelo Oscar, gracias por siempre acompañarme, se que desde allá arriba siempre has estado a mi lado.

A mis Abuelos, Mery, Hilda y Julio, gracias por todo los quiero mucho.

A todo mi círculo familiar, tíos, primos entre otros, gracias.

A José Enrique Cedeño, siempre estaré agradecido por toda tu ayuda.

A los Señores: Paola y Axel D'Elía, gracias por todos los momentos y consejos que he recibido de ustedes, un millón.

A la señora Margarita Hernández, gracias por todos los consejos y los buenos momentos que junto a usted compartí, siendo siempre para mí como una madre.

A la señora Mónica Sanabria, gracias por todo el apoyo brindado.

A la Casa más alta la “Universidad de Oriente”, en especial a todos y cada uno de los profesores que me aportaron sus conocimientos para contar hoy en día con la formación académica que tengo, especialmente a la profesora Delia Villarroel y al Profesor Carlos Gomes como tutor académico quien me brindo su confianza y paciencia para el desarrollo de esta tesis, mil gracias profesor.

A PDVSA y al Ingeniero Héctor Pernía, gracias por haberme dado la posibilidad de realizar este proyecto.

A la memoria de un buen amigo, Edwards Vilorio (El Negro), que en paz descanses man.

A mis panas Freddy Méndez y Juan Carlos Senprum, gracias por la ayuda que siempre me dieron.

A todos mis amigos(as), Zolennys Tremont, Milvia Baíz, Yohanna D’Elía, Lorymar Chirinos, Rosybel (La Negra), Marinel Sifontes, Felixa Romero, Gladys Lanz, Gabriella Lanz, Nesla, Luisana Marcano, Mi compadre Ramón Mago, Mi primo Julio Domínguez (Barney), Cesar Michelangelli, Eduan Machado, Freddy Rodríguez, Ioshua D’Elía, Jorfrank Mena, Hector San Martín (Zordon), Emil Cermeño, José Lozada (Chateng), Farid Cepeda, Fermín Decena, José Miguel Lugo, Germán Mata, Alonso Ojeda, Luis Sánchez y a todos y cada una de las personas que se me escapen, gracias a todos por haber compartidos buenos momentos en mi vida y sobre todo a lo largo de toda mi carrera, un millón de gracias.

A mis compañeros de trabajo, Aracelis Lezama, Edito León, Tomás Reina, José Quijada, Héctor Yaguaraima, Gabriel Moutinho, entre otros.

RESUMEN



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LA LÍNEA DE CRUDO DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”.

Br: Christian Jose Urrieta A.

Asesor Académico: Ing. Carlos Gomes.

Asesor Industrial: Ing. Hector Pernía.

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó un Análisis Estático de Flexibilidad de la Línea de Crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz, empleando el software de flexibilidad en tuberías CAESAR. Se analizaron los esfuerzos en el sistema, producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, además se compararon las cargas en las boquillas de los diferentes equipos conectados a la línea, con su norma correspondiente. Se encontraron diferencias entre los isométricos de la empresa con respecto a las características actuales que posee la línea de crudo en planta. Los esfuerzos de las tuberías se compararon con los permisibles por la norma ASME B31.3, las cargas en la boquilla de la bomba se compararon con las fundamentadas por la API 610, las de los intercambiadores con la WRC 107 y por último las cargas en las boquillas o pases del horno con la API 560. Los esfuerzos obtenidos en el sistema de la línea de crudo sobrepasan a los permisibles por el código. Se observó que tanto la boquilla de la bomba como las boquillas del horno, superan las cargas admisibles por las normas que los rigen. Caso contrario al que sucede con las cargas en las boquillas de los intercambiadores de calor. Debido a esto se realizaron propuestas de mejoras en el sistema de tuberías, en donde se propone cambiar el ruteo de la línea, agregando un lazo de expansión y añadir y/o reemplazar distintos soportes al sistema. Una vez aplicadas las propuestas planteadas, se realizó un análisis estático de flexibilidad al modelo recomendado, en el cual se comprobó, que el mismo se encuentra dentro de las cargas permisibles y los límites de esfuerzos establecidos en las normas o códigos que rigen a dicho sistema.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
RESOLUCIÓN	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	8
ÍNDICE GENERAL	9
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	18
CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ;Error! Marcador no definido.	
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA	21
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	22
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ	25
1.4 ROL DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ	26
1.5 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ	27
1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
1.7 OBJETIVOS	30
1.7.1 Objetivo General.....	30
1.7.2 Objetivos Específicos.....	30
1.8 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	31
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO ;Error! Marcador no definido.	
2.1 ANTECEDENTES	32
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	33
2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1	33
2.2.1.1 Destilación Atmosférica.....	33
2.2.1.2 Torres de Destilación Atmosférica.....	33
2.2.2 ELEMENTOS RELACIONADOS A LA LÍNEA EN ESTUDIO:	35
2.2.2.1 Tuberías Industriales.....	35
2.2.2.1.1 Modo de Especificación.....	35
2.2.2.1.2 Procesos de Manufactura.....	35
2.2.2.2 Accesorios de Tuberías.....	36
2.2.2.3 Parámetros de Diseño.....	36
2.2.2.4 Diseño de Tuberías a Presión.....	37
2.2.2.5 Espesor de Pared de Tubos Rectos.....	38
2.2.2.6 Dilatación Térmica.....	38

2.2.2.7 Bombas Centrífugas	40
2.2.2.8 Clases de Soporte	40
2.2.2.8.1 Colgadores o Soportes	40
2.2.2.8.2 Soportes de Resorte	40
2.2.2.9 Restricciones	42
2.2.2.9.1 Clasificación de las Restricciones.....	42
2.2.2.10 Amortiguadores.....	42
2.2.2.11 Soportes Tipo Columna	42
2.2.2.12 Colgadores de Barra.....	42
2.2.2.13 Soportes de Patín.....	43
2.2.2.14 Tipo T.....	43
2.2.2.15 Soporte Superior	43
2.2.2.16 Guías	43
2.2.2.17 Topes.....	44
2.2.3 ESTUDIO DE FLEXIBILIDAD EN TUBERÍAS	44
2.2.3.1 Cuando se Requiere un Estudio de Flexibilidad.	44
2.2.3.2 Análisis de Esfuerzos en Tuberías.	46
2.2.3.3 Tipos de Esfuerzos en Tuberías.	46
2.2.3.3.1 Esfuerzos Longitudinales.....	47
2.2.3.3.2 Esfuerzo Circunferencial	50
2.2.3.3.3 Esfuerzo Radial.....	51
2.2.3.3.4 Esfuerzo de Corte (Fuerzas Laterales).....	52
2.2.3.4 Estado Tridimensional de Esfuerzos en una Tubería.....	54
2.2.3.5 Circulo de Mohr	55
2.2.3.6 Teorías de Falla.....	56
2.2.3.6.1 Teoría de Von Misses	56
2.2.3.6.2 Teoría de Tresca	57
2.2.3.6.3 Teorema del Esfuerzo Máximo (Rankine).....	58
2.2.3.7 Bases para el Cumplimiento de Códigos	58
2.2.3.7.1 Características de las Cargas Primarias	59
2.2.3.7.2 Características de las Cargas Secundarias	60
2.2.3.8 Criterios de Diseño para Distintos Tipos de Carga.....	60
2.2.3.8.1 Cargas Primarias.....	60
2.2.3.8.2 Cargas Secundarias.....	61
2.2.3.9 Criterios de Diseño en Sistemas de Tuberías de Bombas Centrífugas .	61
2.2.3.10 Consideraciones Sobre Arreglos y Soportes de Tuberías Cuando se Realiza un Análisis de Flexibilidad.	62
2.2.3.11 Ubicación de los Soportes.....	63
2.2.3.12 Lazos de Expansión	64

2.2.3.13 Criterios Prácticos para Diseño de Flexibilidad.....	66
2.2.3.14 Software CAESAR II.....	68
2.2.4 Fases y Ejecución de un Proyecto de Ingeniería	69
2.2.4.1 Fase Conceptual	70
2.2.4.2 Fase de Ingeniería Básica.....	71
2.2.4.3 Fase de Ingeniería de Detalle	72
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TRABAJO;Error! Marcador no definido.	
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	75
3.2 ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	77
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	77
3.4.1 Población:	77
3.4.2 Muestra:	78
3.5 TÉCNICAS UTILIZADAS.....	78
3.6 ACCESORIOS A UTILIZAR DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	78
3.6.1 Equipos Utilizados:	78
3.6.2 Materiales	79
3.6.3 Sustancias	79
3.6.4 Herramientas Empleadas.....	79
3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	80
3.8 CASOS ESTUDIADOS	83
3.8.1 Caso 4: Esfuerzo Sostenido.....	83
3.8.2 Caso 5: Expansión Térmica.....	83
3.9 CÓDIGOS O NORMAS APLICADAS	84
3.9.1 American Society of Mechanical Engineers ASME B31.3.....	84
3.9.2 American Petroleum Institute API 594	84
3.9.3 American Petroleum Institute API 610	84
3.9.4 Welding Research Council WRC 107	85
3.9.5 Norma PDVSA H-221.....	85
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	;Error!
Marcador no definido.	
4.1 LÍNEA DE CRUDO	87
4.1.1 Cargas Debido a Esfuerzo Sostenido (Caso 4).....	88
4.1.2 Cargas Ocasionadas por Expansiones Térmicas (Caso 5).....	90
4.2 EQUIPOS CONECTADOS AL SISTEMA.....	97
4.2.1 Descarga de la Bomba GA-2.....	97
4.2.2 Intercambiadores EA-8A, B, C, D y los EA-11A, B, C, D, E, F.	100
4.2.2.1 Intercambiador EA-8A.....	100
4.2.2.2 Intercambiador EA-8B.....	100
4.2.2.3 Intercambiador EA-8C.....	101
4.2.2.4 Intercambiador EA-8D.....	101

4.2.2.5 Intercambiador EA-11A.....	102
------------------------------------	-----

4.2.2.6 Intercambiador EA-11B.....	103
4.2.2.7 Intercambiador EA-11C.....	104
4.2.2.8 Intercambiador EA-11D.....	105
4.2.2.9 Intercambiador EA-11E.....	106
4.2.2.10 Intercambiador EA-11F.....	106
4.2.3 Pases de Entrada al Horno BA-1.....	108
4.2.3.1 Pase N°1 Horno BA-1 (Diseño Original).....	108
4.2.3.2 Pase N°4 Horno BA-1 (Diseño Original).....	108
4.2.3.3 Pase N°5 Horno BA-1 (Diseño Original).....	109
4.2.3.4 Pase N°8 Horno BA-1 (Diseño Original).....	109
4.2.3.5 Pase N°2 Horno BA-1 (Diseño Original).....	110
4.2.3.6 Pase N°3 Horno BA-1 (Diseño Original).....	111
4.2.3.7 Pase N°6 Horno BA-1 (Diseño Original).....	111
4.2.3.8 Pase N°7 Horno BA-1 (Diseño Original).....	112
4.2.3.9 Pase N°2 Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	116
4.2.3.10 Pase N°3 Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	117
4.2.3.11 Pase N°6 Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	117
4.2.3.12 Pase N°7 Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	118
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ;Error! Marcador no definido.	
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
ANEXOS..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO A..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO B..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO C..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO D..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO E..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO F..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO G..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO H..... ;Error! Marcador no definido.	
ANEXO I..... (cd)	
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 2.1 Coeficiente de Dilatación Térmica.....	37
Tabla 3.1 Especificaciones Según la Norma PDVSA H-221 Para las Clases BA2...84	
Tabla 4.1 Esfuerzos Sostenidos de la Línea de Crudo (Diseño Original).....	86
Tabla 4.2 Esfuerzos por Expansiones Térmicas de la Línea de Crudo (Diseño Original).....	88
Tabla 4.3 Esfuerzos por Expansiones Térmicas de la Línea de Crudo (Diseño Propuesto).....	91
Tabla 4.4 Características de los Soportes de Resorte Suspendidos con Carga Constante y Carga Variable Pertencientes a la Línea de Crudo (Diseño Original)...94	
Tabla 4.5 Cargas en la Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Original).95	
Tabla 4.6 Cargas en la Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Propuesto).....	96
Tabla 4.7 Esfuerzos en la Boquilla de Salida del Intercambiador EA-8A (Diseño Original).....	98
Tabla 4.8 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-8B (Diseño Original).....	98
Tabla 4.9 Esfuerzos en la Boquilla de Salida del Intercambiador EA-8C (Diseño Original).....	99
Tabla 4.10 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-8D (Diseño Original).....	99
Tabla 4.11 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Izquierda del Intercambiador EA-11A (Diseño Original).....	100
Tabla 4.12 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Derecha del Intercambiador EA-11A (Diseño Original).....	100

Tabla 4.13 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Izquierda del Intercambiador EA-11B (Diseño Original).....	101
Tabla 4.14 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Derecha del Intercambiador EA-11B (Diseño Original).....	101
Tabla 4.15 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Izquierda del Intercambiador EA-11C (Diseño Original).....	102
Tabla 4.16 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Derecha del Intercambiador EA-11C (Diseño Original).....	102
Tabla 4.17 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Izquierda del Intercambiador EA-11D (Diseño Original).....	103
Tabla 4.18 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Derecha del Intercambiador EA-11D (Diseño Original).....	103
Tabla 4.19 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-11E (Diseño Original).....	104
Tabla 4.20 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-11F (Diseño Original).....	104
Tabla 4.21 Cargas en la Boquilla N°1 (Pase N°1) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	106
Tabla 4.22 Cargas en la Boquilla N°4 (Pase N°4) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	106
Tabla 4.23 Cargas en la Boquilla N°5 (Pase N°5) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	107
Tabla 4.24 Cargas en la Boquilla N°8 (Pase N°8) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	107
Tabla 4.25 Cargas en la Boquilla N°2 (Pase N°2) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	109
Tabla 4.26 Cargas en la Boquilla N°3 (Pase N°3) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	109

Tabla 4.27 Cargas en la Boquilla N°6 (Pase N°6) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	110
Tabla 4.28 Cargas en la Boquilla N°7 (Pase N°7) del Horno BA-1 (Diseño Original).....	111
Tabla 4.29 Características de los Soportes de Resorte Suspendidos con Carga Variable, Adicionados a la Línea de Crudo (Diseño Propuesto).....	114
Tabla 4.30 Cargas en la Boquilla N°2 (Pase N°2) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	115
Tabla 4.31 Cargas en la Boquilla N°3 (Pase N°3) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	115
Tabla 4.32 Cargas en la Boquilla N°6 (Pase N°6) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	116
Tabla 4.33 Cargas en la Boquilla N°7 (Pase N°7) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1.1 Dieta y Productos de la Refinería Puerto La Cruz.....	21
Figura 1.2 Imagen Representativa de la Refinería Puerto La Cruz.....	22
Figura 1.3 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto La Cruz.....	23
Figura 1.4 Distribución de Crudos y Productos de la Refinería Puerto La Cruz.....	25
Figura 1.5 Organización Estructural de la Refinería Puerto La Cruz.....	25
Figura 2.1 Productos Obtenidos en una Torre de Destilación Atmosférica.....	32
Figura 2.2 Soporte de Resorte Suspendingo con Carga Variable.....	39
Figura 2.3 Soporte de Resorte Suspendingo con Carga Constante.....	39
Figura 2.4 Tipos de Esfuerzos en Tuberías.....	44
Figura 2.5 Cargas Axiales de la Tubería.....	45
Figura 2.6 Cargas Debido a Presión Interna en la Tubería.....	46
Figura 2.7 Momento Flector en una Tubería.....	47
Figura 2.8 Esfuerzo Circunferencial de la Tubería.....	48
Figura 2.9 Esfuerzo Radial de la Tubería.....	49
Figura 2.10 Fuerza Cortante Actuando Sobre la Tubería.....	50
Figura 2.11 Momento de Torsión que Actúa Sobre la Tubería.....	52
Figura 2.12 Estado de Esfuerzos en una Tubería.....	52
Figura 2.13 Círculo de Mohr.....	53
Figura 2.14 Lazo de Expansión Simétrico.....	62
Figura 2.15 Lazo de Expansión Asimétrico.....	63
Figura 2.16 Gráfica para el Cálculo del Ancho (W), para Lazo de Expansión Térmica.....	64
Figura 3.1 Fases Elaboradas para Realizar el Análisis Estático de Flexibilidad.....	78
Figura 4.1 Línea de Crudo de la Unidad DA-1 (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	85

Figura 4.2 Porcentajes de Esfuerzos Sostenidos en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	87
Figura 4.3 Nodo con Mayor Porcentaje de Esfuerzos Sostenidos en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	87
Figura 4.4 Porcentaje de Esfuerzos Debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	89
Figura 4.5 Nodo con Mayor Porcentaje de Esfuerzos Debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	89
Figura 4.6 Expansiones Térmicas Ocurridas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	90
Figura 4.7 Lazo de Expansión y Soportes Incluidos en la Línea de Crudo (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	90
Figura 4.8 Porcentajes de Esfuerzos Debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	92
Figura 4.9 Soportes de Resorte Suspendido con Carga Constante, Pertenecientes a la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	93
Figura 4.10 Soporte de Resorte Suspendido con Carga Variable, Perteneciente a la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	93
Figura 4.11 Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	97
Figura 4.12 Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	97
Figura 4.13 Boquillas de los Intercambiadores de Calor del Sistema de Tuberías de la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	105
Figura 4.14 Boquillas o Pases N°1, 4, 5, y 8, del Horno BA-1, (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	108
Figura 4.15 Boquillas o Pases N°2, 3, 6, y 7, del Horno BA-1, (Diseño Original), Fuente [CAESAR].....	111

Figura 4.16 Soporte Tipo Z Positivo, Agregado a la Línea (Nodo 2305), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	112
Figura 4.17 Soportes Tipo Z Positivo, Agregados a la Línea (Nodos 3545 y 4525), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	113
Figura 4.18 Soporte Tipo Z Positivo, Agregado a la Línea (Nodo 2305), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	113
Figura 4.19 Soportes de Resorte Suspendingos con Carga Variable, Agregados a la Línea, (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].....	114

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

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

Fue creada por decreto presidencial N°1.123 el 30 de Agosto de 1975 para asumir las funciones de planificación, coordinación y supervisión de la industria petrolera nacional al concluir el proceso de restablecimiento de las concesiones de hidrocarburos a las compañías extranjeras que operaban en territorio venezolano.

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

PDVSA es responsable de las operaciones de un considerable número de filiales bajo la guía y supervisión del Ministerio de Energía y Minas. Tiene la función de planificar, coordinar supervisar y controlar las actividades de sus empresas operadoras y filiales, tanto en Venezuela como en el exterior. Se encarga de llevar



adelante actividades en materia de exploración y producción para el desarrollo de petróleo y gas, bitumen y crudo pesado de la Faja del Orinoco, producción y manufactura de Orimulsión y explotación de los yacimientos de carbón.

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

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

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

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

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



CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA



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

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

La dieta de la refinería es variada, entre los principales crudos tenemos los siguientes:



Como insumos a procesos se usan principalmente: Isobutano, Nafta Pesada, Gasóleo de Vacío y Residuo Desparafinado (SRQ) y los insumos a mezcla: Gas Natural, Gasolina Natural, Naftas, Alquilato, Gasolinas Sin Plomo y Destilados.

En todas las operaciones que se realizan en la Refinería Puerto La Cruz laboran cerca de mil trabajadores entre artesanos, técnicos, operadores y profesionales



CAPÍTULO I
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA



adscritos a las gerencias de Operaciones, Técnica, Mantenimiento, Movimiento de gerencias de apoyo a la actividad medular. Todo un componente de talentos y voluntades dedicado a enaltecer y dignificar la actividad energética del país.



Figura 1.2 Imagen Representativa de la Refinería Puerto La Cruz [1].



1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ

La Refinería Puerto La Cruz está ubicada en la costa Nor-Oriental del país al este de la ciudad de Puerto la Cruz en el estado Anzoátegui; tiene facilidades de acceso a través del Mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción del Sur-Oriente. La conforman las instalaciones de Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque (a 40 Km. de Anaco, vecina a la población de Santa Ana, Edo. Anzoátegui).

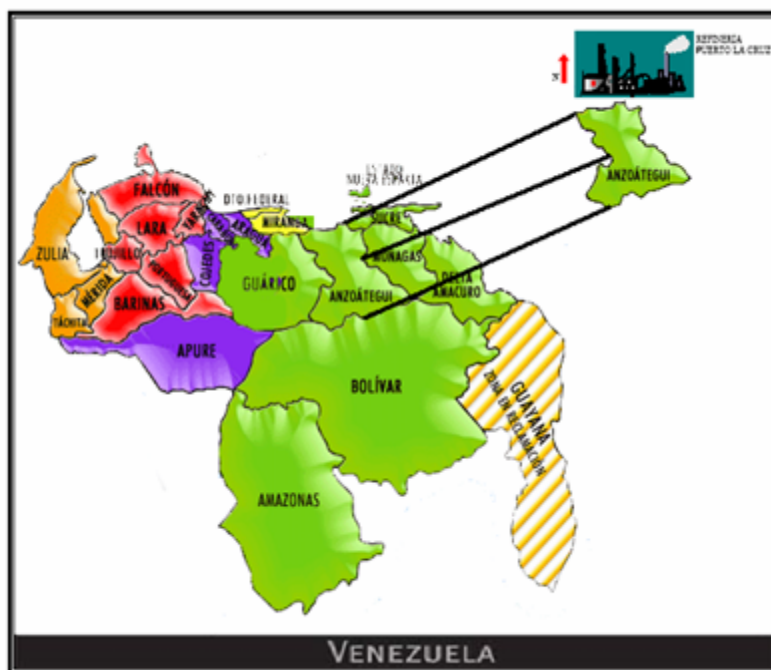


Figura 1.3 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto La Cruz [1].

La historia de la Refinería Puerto La Cruz comienza a partir de 1948, cuando la empresa Venezuelan Gulf Company Co. (Vengref) inicia la construcción de esta instalación, iniciando a operar en el año 1950. En su apertura contaba con una Unidad de Destilación Atmosférica (DA-1), con capacidad para procesar 44 mil barriles de



crudo por día. Paralelamente, la Sinclair Venezuelan Oil Co. traslada desde Houston (Texas) hasta el área de El Chaure, a la orilla de la Bahía de Bergantín, es una refinería diseñada para procesar 33 mil barriles de crudo por día.

El fácil acceso al Mar Caribe y la proximidad a los más importantes campos de producción del oriente venezolano, permiten que esta refinería mantenga su alto valor estratégico. Sus roles principales son los siguientes:

1.4 ROL DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ

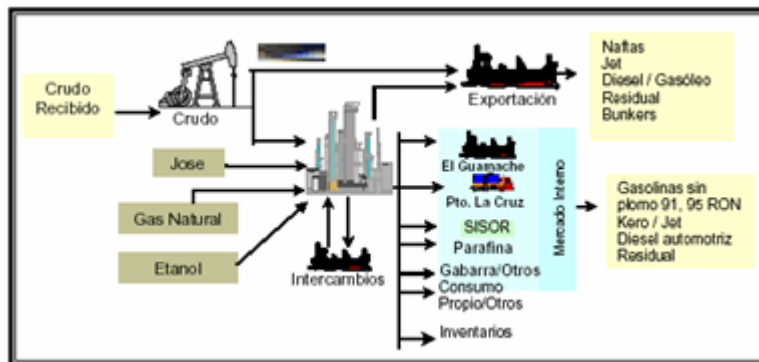
Por su ubicación estratégica la Refinería Puerto La Cruz cumple tres roles principales:

- ✓ Suplir la demanda del mercado interno de la región sur-oriental del país.
- ✓ Colocación de los productos excedentes en el mercado de exportación.
- ✓ Manejo y distribución de la producción de crudos del oriente del país hacia los mercados de exportación y filiales.

A continuación se muestra, la distribución de crudos y productos de la Refinería Puerto La Cruz:



CAPÍTULO I
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA



1.5 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ

El esquema a continuación muestra en detalle la estructura organizativa de las Gerencias Operacionales de la Refinería Puerto La Cruz:

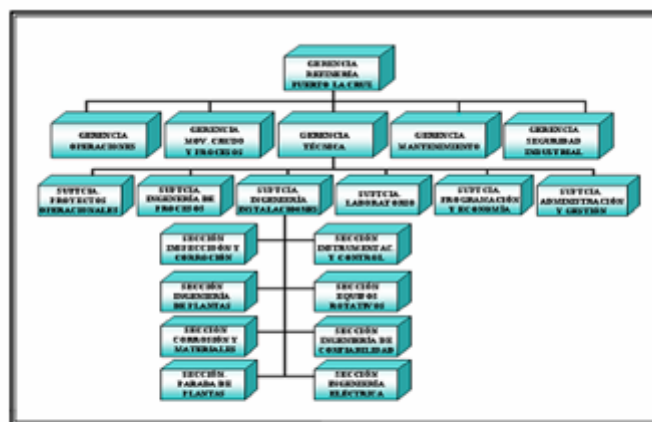


Figura 1.5 Organización Estructural de la Refinería Puerto La Cruz [1].

1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



CAPÍTULO I
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA



Desde su creación en 1976, Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) se ha convertido en una de las corporaciones energéticas más importantes del mundo. PDVSA es la casa matriz de la corporación, propiedad de la República Bolivariana de Venezuela, que se encarga del desarrollo de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera, y de planificar coordinar, supervisar y controlar las actividades operativas de sus divisiones, tanto en Venezuela como en el exterior. PDVSA lleva adelante actividades en materia de exploración y producción para el desarrollo de petróleo gas, bitumen y crudo pesado de la Faja del Orinoco, producción y manufactura de orimulsión, así como explotación de yacimientos de carbón. Ocupa una destacada posición entre los refinadores mundiales, y su red de manufactura y mercadeo abarca Venezuela, El Caribe, Estados Unidos y Europa. Además, realiza actividades en las áreas de petroquímica, investigación y desarrollo tecnológico, educación y adiestramiento en sectores vinculados con la industria.

En 1948 la empresa Venezuelan Gulf Refining (VENGREF) decide la construcción de una refinería en la ciudad de Puerto La Cruz. Para 1950 entra en operación la primera unidad de procesos de la Refinería Puerto La Cruz, conocida como DA-1 (Unidad de Destilación Atmosférica N°1). La Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 fue diseñada para procesar 44 MBD de crudo con una gravedad promedio de 30° API. Sin embargo, debido a las mejoras realizadas en la unidad, se aumentó su capacidad nominal a 80 MBD. Actualmente se procesan 79 MBD de crudo 100% Mesa de 30° API.

Esta unidad fue diseñada bajo los estándares de ingeniería aplicables en la época en la cual fue construida. Desde sus inicios las líneas de la Unidad DA-1 han trabajado bajo diversas condiciones operacionales. Sin embargo, en la actualidad, la integridad estructural de la línea pudiese estar comprometida debido al deterioro de los spring hangers (soportes de resorte suspendido, por su nombre en español) los cuales han fallado recientemente. El deterioro de los soportes de resorte suspendido,



CAPÍTULO I
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA



se debe a que nunca han sido reemplazados (desde 1950) y al hecho de que no se les ha realizado mantenimiento debido a su difícil acceso. De acuerdo a la inspección visual realizada a la línea en estudio, se observó que los soportes de resorte suspendido no tienen el TAG (chapa de especificaciones del fabricante). Además, debido a que no se posee información precisa de estos componentes y sus partes, se hace prácticamente imposible elaborar un plan de mantenimiento para ellos. Debido a la incertidumbre planteada con los dichos soportes y al hecho de que si la línea de crudo falla se detiene completamente la unidad DA-1, se hace inminente y de gran importancia realizar un Análisis Estático de Flexibilidad de la Línea de Descarga de Crudo de la Bomba GA-2 hasta la entrada del horno BA-1 de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1. La elaboración de este análisis permitirá determinar las cargas que soportan los soportes de resorte suspendido, para así seleccionar los reemplazos adecuados y mejorar las condiciones mecánicas de la línea, garantizando de esta manera el buen funcionamiento de la unidad.

El proyecto en cuestión está enfocado a reemplazar y/o agregar (donde sea necesario) soportes de resorte suspendido, para lo cual es necesario realizar un análisis estático de flexibilidad de la línea crudo antes mencionada, elaborando un estudio de los esfuerzos generados en las mismas por diversas condiciones de carga tales como el peso de la tubería y sus componentes, la presión interna y las expansiones térmicas. Para ello se empleará un software especializado en el análisis de flexibilidad o esfuerzos en tuberías llamado CAESAR II, el cual incluye una herramienta computacional basada en el método de los elementos finitos, y que incorpora los códigos y la normas pertinentes que se consideran a la hora de realizar un diseño de tuberías. La solución del problema en cuestión, traerá como beneficios garantizar el funcionamiento adecuado en el sistema de crudo de la unidad, así como conocer las mejoras a realizar sobre la línea de estudio.



1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General

Realizar un análisis estático de flexibilidad en el arreglo del sistema de descarga de la bomba GA-2 hasta la entrada del horno BA-1 en la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz, mediante una simulación tridimensional usando el software CAESAR II.

1.7.2 Objetivos Específicos

1.7.2.1 Diagnosticar la situación actual en la que se encuentran los equipos, tuberías y accesorios conectados a la línea de crudo.

1.7.2.2 Crear el modelo computacional de la línea en estudio.

1.7.2.3 Determinar los niveles de esfuerzos en los arreglos de tuberías actuales, cuando están sometidas a cargas de presión y peso y cargas originadas por expansiones térmicas, mediante un estudio estático de flexibilidad.

1.7.2.4 Determinar los niveles de carga en las boquillas de los equipos conectados a la línea bajo condiciones de operación actual.

1.7.2.5 Determinar la ubicación de los Soportes de Resorte Suspendido y sus características.



1.8 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para Petróleos de Venezuela, es de gran importancia mantener en buen estado la integridad mecánica de los elementos que conforman las líneas de distribución de los productos manufacturados, que se obtienen de sus diferentes unidades de proceso en la Refinería Puerto La Cruz.

Las operaciones de transporte y distribución de productos de la Refinería, se deben casi en su totalidad al buen funcionamiento de la Unidad DA-1. Esto se debe a que la misma es la principal distribuidora de productos en toda la Refinería.

Como consecuencia de la importancia que constituye la Unidad DA-1 y debido a que si la línea de crudo falla (por el deterioro de los soportes de resorte suspendido a raíz de la falta de mantenimiento) se detiene toda la planta, se justifica el análisis estático de flexibilidad de la línea de crudo antes mencionada, para así poder asegurar el adecuado trabajo de la Unidad y de la Refinería en general.

El proyecto en cuestión está orientado a realizar propuestas y mejoras en cuanto al arreglo de la línea involucrada, las cuales son hechas una vez realizado el análisis estático de flexibilidad correspondiente. Para ello, se empleará un software proveniente de la empresa COADE llamado CAESAR, especializado en el análisis de flexibilidad y/o esfuerzos en tuberías. Esta herramienta computacional se fundamenta en el método de los elementos finitos y cuenta con un soporte ingenieril que permite realizar comparaciones y evaluaciones mediante normas y códigos de diseño por los cuales se rigen las plantas de procesos para diseñar sistemas de tuberías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Corrales, J. y Neptune, J. [2], realizaron una análisis dinámico de flexibilidad de un sistema de bombeo de residual con la finalidad de incrementar la confiabilidad del sistema, reduciendo de esta manera las fallas en el mismo a fin de lograr restituir la integridad mecánica, así como también incrementar la seguridad operacional del sistema. Se contemplaron evaluaciones estáticas y dinámicas de las líneas mediante la realización de simulaciones computacionales que sirvieron para la elaboración de un manual operativo del sistema de tuberías orientado a facilitar el manejo del sistema a los operadores.

Bastardo, F. y Valdivia, P. [3], realizaron un proyecto donde se plantean las condiciones precarias en las que se encuentran los cabezales de vapor de DA-1 en cuanto al retorno de condensado. Además, en este trabajo se determinó el ahorro que implica para la empresa la implementación del sistema diseñado.

Molero, Y. [4], realizó un proyecto donde se analizaron los esfuerzos y desplazamientos en las tuberías de succión y descarga de las bombas GA-15-10 y GA-17-10, de la Refinería Puerto La Cruz; tanto por cargas sostenidas como por expansiones térmicas. Se realizó una propuesta de modificación en las líneas de succión y descarga de las bombas involucradas. Seguidamente se realizó un análisis de flexibilidad en el modelo propuesto donde recomendó la instalación de juntas de expansión para absorber los desplazamientos de la tubería.



Armas, R. [5], realizó un proyecto donde se analizaron los esfuerzos en el sistema producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas; además se compararon las cargas en las boquillas de las 28 turbinas conectadas al sistema con las permisibles por la norma NEMA SM23. Se encontró que el 75% de los equipos tenían esfuerzos por encima de los admisibles.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1

2.2.1.1 Destilación Atmosférica

La destilación atmosférica es un proceso destinado a separar líquidos solubles por su punto de ebullición.

2.2.1.2 Torres de Destilación Atmosférica

En las torres de destilación atmosférica, el crudo desalinizado se precalienta utilizando calor recuperado del proceso. Después pasa a un calentador de carga de crudo de caldeo directo, y desde allí a la columna de destilación vertical, justo por encima del fondo, a presiones ligeramente superiores a la atmosférica y a temperaturas comprendidas entre 343 °C y 371 °C, para evitar el craqueo térmico que se produciría a temperaturas superiores. Las fracciones ligeras (de bajo punto de ebullición) se difunden en la parte superior de la torre, de donde son extraídas continuamente y enviadas a otras unidades para su ulterior proceso, tratamiento, mezcla y distribución.



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO



Las fracciones con los puntos de ebullición más bajos (el gas combustible y la nafta ligera) se extraen de la parte superior de la torre por una tubería en forma de vapores. La nafta, o gasolina de destilación directa, se toma de la sección superior de la torre como corriente de productos de evaporación. Tales productos se utilizan como cargas petroquímicas y de reforma, material para mezclas de gasolinas, disolventes y GLP (Gas Licuado del Petróleo).

Las fracciones del rango de ebullición intermedio (gasóleo, nafta pesada y destilados) se extraen de la sección intermedia de la torre como corrientes laterales y se envían a las operaciones de acabado para su empleo como queroseno, gasóleo diesel, fuel, combustible para aviones de reacción, material de craqueo catalítico y productos para mezclas. Algunas de estas fracciones líquidas se separan de sus residuos ligeros, que se devuelven a la torre como corrientes de reflujo descendentes.

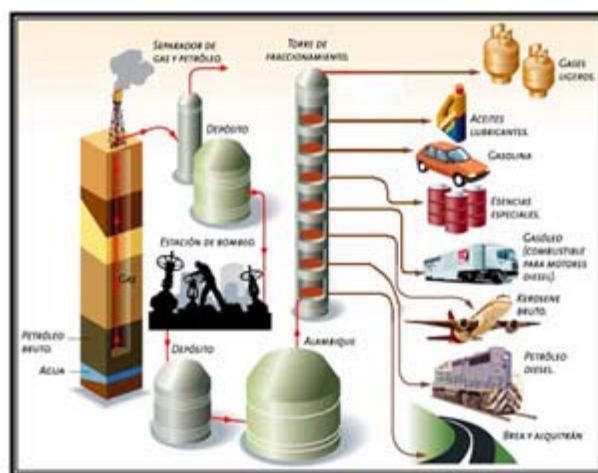


Figura 2.1 Productos Obtenidos en una Torre de Destilación Atmosférica [1].



2.2.2 ELEMENTOS RELACIONADOS A LA LÍNEA EN ESTUDIO:

2.2.2.1 Tuberías Industriales

Es de gran importancia aclarar la diferencia que existe entre los términos “tubería” y “tubo”, pues comúnmente son confundidos. Las tuberías, corresponden al conjunto conformado por el tubo, los accesorios, las válvulas, etc.; encargados de transportar los gases o líquidos que así lo necesitan. Mientras que el tubo; es aquel producto tubular con dimensiones ya definidas y de material de uso común. Las tuberías con destinación industrial tienen una muy amplia aplicación, pues es por medio de ellas que se transportan todos los fluidos (gases, mezclas, líquidos, etc.) para optimizar y no limitar los procesos industriales. Existen tubos con costura y sin costura, la diferencia entre ellos radica en el modo de fabricación. Los primeros basan su manufactura en la soldadura, mientras que los segundos no.

2.2.2.1.1 Modo de Especificación

- ✓ *Denominación:* Diámetro, Costura, Sch, Material, Longitud, Tolerancia.
- ✓ *Diámetro:* Diámetro nominal de la tubería en pulgadas.
- ✓ *Costura:* SMLS (Tubería sin costura), Welded (Tubería con costura).
- ✓ *Sch:* Schedule de la tubería.
- ✓ *Material:* Material de la tubería. Ej. ASTM A 106 gr. B.
- ✓ *Longitud:* Longitud por pieza. Ej. Piezas de 6m de largo.
- ✓ *Tolerancia:* Tolerancia de longitud de la tubería.

2.2.2.1.2 Procesos de Manufactura

En la industria existen varios tipos de acabados de tubos utilizados para la instalación de sistemas. Comúnmente o en su mayoría, los tubos de acero que se fabrican son del



tipo sin costura (sin soldadura lateral), los cuales se manufacturan por medio de perforación y forja, torneado y calibración del hueco.

2.2.2.2 Accesorios de Tuberías

Estos son todos aquellos elementos que instalados en conjunto con el tubo, conforman el sistema de tuberías.

En todo sistema de tuberías se hacen presentes los siguientes elementos:

- ✓ Codos de 90° (radio corta o radio largo).
- ✓ Codos de 45° (radio corto o radio largo).
- ✓ Tees rectas o reductoras.
- ✓ “Y” laterales.
- ✓ Bridas.
- ✓ Empacaduras.
- ✓ Pernos.
- ✓ Válvulas de todos los tipos.

2.2.2.3 Parámetros de Diseño

Petróleos de Venezuela (2002), en el módulo de Diseño de Tuberías de Proceso define que los parámetros fundamentales que delimitan el diseño de un sistema de tuberías son, principalmente, la temperatura y la presión de diseño.

- ✓ *La presión de diseño* es considerada como la máxima diferencia de fuerza por unidad de área existente entre el interior y el exterior de un tubo, componente de tubería o entre cámaras adyacentes de una unidad. Esta presión de diseño no será



menor que la presión a la condición más severa de presión y temperatura coincidentes que se espere en condición normal.

- ✓ *La temperatura de diseño* es la temperatura del metal a la condición más severa de presión y temperatura coincidentes, esperada durante operación normal. Los requisitos para determinar la temperatura del metal de diseño para tuberías son:
 - ◆ Para tubería con aislamiento externo, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido contenido.
 - ◆ Para tubería sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperatura de 32 °F (°C) y mayores, la temperatura del metal para el diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido.
 - ◆ Para temperaturas de fluidos menores de 32 °F, la temperatura del metal para el diseño, será la temperatura de diseño del fluido contenido.
 - ◆ Para tuberías aisladas internamente la temperatura será calculada usando la temperatura ambiental máxima sin viento (velocidad cero) [15].

2.2.2.4 Diseño de Tuberías a Presión

Primeramente es importante definir los conceptos de interés en la presentación de las tuberías.

Los tubos fabricados de acuerdo con los tamaños dados en las normas y en los Standard del Instituto Americano del Petróleo (API) son llamados tuberías. El diámetro externo de cualquier tamaño nominal es el mismo para cualquier peso (espesor de pared), dentro de un mismo tamaño. Esto es, el diámetro interno para un mismo tamaño nominal varía junto con su espesor. El espesor de pared viene expresado en términos del Schedule, de acuerdo con el Instituto Nacional Americano



de Normalización (ANSI). Anteriormente a la introducción de números de lista fueron utilizados los términos Peso Standard (S), Extra Fuerte (XS) y Doble Extra Fuerte (XXS), para indicar los espesores de pared.

2.2.2.5 Espesor de Pared de Tubos Rectos

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna es una función de:

- ✓ El esfuerzo permisible para el material del tubo.
- ✓ Presión de diseño.
- ✓ Diámetro de diseño del tubo.
- ✓ Intensidad de la corrosión y/o erosión.

El espesor mínimo de la pared del tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia al colapso del tubo. Para tubos metálicos, el espesor de diseño para soportar la presión interna, debe calcularse por la ecuación que sigue, siempre que Do/t sea mayor que 4 (tubos Do/t menor que 4, se considera tubos de pared gruesa y se requieren consideraciones especiales, pues hay que tomar en cuenta factores de diseño y de materiales, tales como teorías de fallas, fatiga y esfuerzo térmico).

2.2.2.6 Dilatación Térmica

El coeficiente de dilatación térmica es una propiedad que poseen todos los metales. Por cada metal o aleación, existe de acuerdo a cada rango de temperatura un determinado coeficiente de dilatación térmica, valido para cualquier dirección expresado en $cm/°C$. El coeficiente de dilatación no es en realidad constante, pero



para cualquier dilatación en tuberías se puede tomar como tal, dentro de ciertos rangos. La dilatación es entonces un fenómeno multidireccional volumétrico.

Si se considera un tramo de una tubería expuesto a una variación de temperatura, se encuentra que esta manifiesta variaciones tanto en su diámetro, como en el espesor y también en su longitud. Al proyectista, poco le interesan los primeros, dado que generalmente pueden variar libremente. Sin embargo, la variación de la longitud de la tubería es muy importante sobre todo cuando la misma posee extremos fijos.

La dilatación térmica puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Exp = L * \Delta T * \alpha \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

Exp: Dilatación o expansión térmica (mm).

ΔT = Diferencia de temperatura entre el ambiente y el vapor (°C).

α = Coeficiente de expansión térmica (mm/m.°C * 10⁻³).

Para el uso de la Ecuación 2.1 es necesario determinar el coeficiente de expansión, el cual se encuentra tabulado para diferentes tipos de acero, los cuales pueden ser observados en la tabla 2.3:

MATERIAL	RANGO DE TEMPERATURA (°C)							
	< 0	0 - 100	0 - 200	0 - 300	0 - 400	0 - 500	0 - 600	0 - 700
Acero al Carbono 0.1% - 0.2% C	12.8	13.9	14.9	15.8	16.6	17.3	17.9	-
Acero Aleado 1% Cr 0.5% Mo	13.7	14.5	15.2	15.8	16.4	17.0	17.6	-
Acero Inoxidable 18% Cr 8% Ni	9.4	20.0	20.9	21.2	21.8	22.3	22.7	23.0

Tabla 2.1 Coeficiente de Dilatación Térmica.



Es aún más importante cuando algunos de estos extremos son boquillas de algún equipo, en especial de torres, calderas, bombas o compresores. En estos casos se deben realizar estudios adicionales para determinar si están o no presentes fuerzas que sobrepasen el código o la norma que aplique según sea el caso. Para algunos de estos casos especiales se utilizan dispositivos para absorber las variaciones [2].

2.2.2.7 Bombas Centrífugas

Son máquinas que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales: (1) Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y (2) un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras [4].

2.2.2.8 Clases de Soporte

2.2.2.8.1 Colgadores o Soportes

Para soportar el peso de sistemas de tuberías. Si se encuentran colocados por encima se denominan colgadores y si están por debajo se denominan soportes.

2.2.2.8.2 Soportes de Resorte

Puntos con desplazamientos menores a 2 pulgadas en servicios NO críticos. Este tipo de soporte está constituido por una serie de elementos donde el resorte destaca como elemento principal. El soporte de resorte se utiliza cuando se está manejando altas



temperaturas o desplazamientos en una tubería. Su función es la de mantener soportada la línea, a pesar de que ésta presente movimientos verticales importantes. Existen dos tipos de soportes de resorte: soportes de carga constante y soportes de carga variable.

- ✓ **Soportes de carga variable:** estos varían la fuerza ejercida sobre la tubería dependiendo de la elongación del resorte. Este tipo de soporte puede utilizarse del tipo colgante (Soporte de Resorte con Carga Constante) o tipo soporte de piso que es similar a un apoyo simple (Soporte de Resorte con Carga Variable).

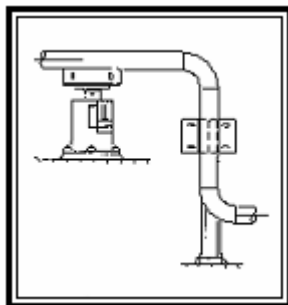


Figura 2.2 Soporte de Resorte con Carga Variable.

- ✓ **Soportes de carga constante:** los de este tipo por el contrario, mantienen la fuerza ejercida constante sin importar la elongación que tenga el resorte.

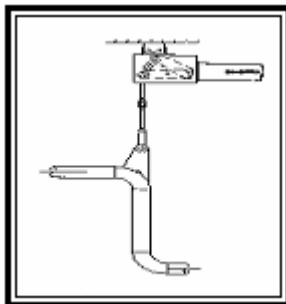


Figura 2.3 Soporte de Resorte con Carga Constante.



2.2.2.9 Restricciones

Para restringir o limitar el movimiento de sistemas de tuberías debido a expansión térmica.

2.2.2.9.1 Clasificación de las Restricciones

- ✓ **Anclajes:** para fijar completamente la tubería en ciertos puntos.
- ✓ **Topes:** para prevenir el movimiento longitudinal de la tubería permitiéndole rotar.
- ✓ **Guías:** para permitir desplazamientos en una dirección específica.

2.2.2.10 Amortiguadores

Para limitar el movimiento de la tubería debido a fuerzas diferentes al peso y a la expansión térmica.

2.2.2.11 Soportes Tipo Columna

Consisten en una estructura vertical apoyada en una base. La estructura vertical puede variar tanto de tamaño como de forma, es decir, puede ser cilíndrica o de perfil, esta última dividida en las clases de vigas I y vigas L. La base puede ser una estructura rectangular o circular. Normalmente se encuentran apoyados en el suelo, pero en ocasiones pueden apoyarse en “Pipe Racks”.

2.2.2.12 Colgadores de Barra



Los colgadores de barra pueden ser de variadas formas y tamaños. El modelo más conocido es el que consiste en una barra vertical enroscada en la parte superior a una estructura metálica anclada a una estructura de concreto o soldada a una estructura de acero. En su parte inferior se encuentra apernada o roscada una abrazadera, la cual sostiene la tubería.

2.2.2.13 Soportes de Patín

Consiste en una estructura metálica vertical soldada a la tubería y otra horizontal que se asienta sobre la estructura donde se desliza, ésta última puede ser de acero o concreto.

2.2.2.14 Tipo T

Son soportes semejantes a los de columna al poseer una sección vertical por la cual se distribuye el esfuerzo a la base del soporte, ésta puede ser empotrada en concreto o soldada sobre cualquier estructura metálica. En la parte superior de la estructura vertical se encuentra normalmente soldada una estructura horizontal, por lo cual recibe el nombre de tipo T.

2.2.2.15 Soporte Superior

Es un soporte tipo columna, donde la tubería puede ir sobre una sección horizontal o soldada en la parte inferior de la columna, está sostenido por su parte superior a cualquier estructura del tipo pipe rack (de acero o de concreto).

2.2.2.16 Guías



Las guías son estructuras que dirigen el movimiento de la tubería en la dirección que se desea. Las formas y tamaños de las guías varían demasiado. Estas estructuras pueden estar ligadas a otros tipos de soportes (normalmente con los del tipo patín) o ser específicas.

2.2.2.17 Topes

Los topes son estructuras que restringen el movimiento de las tuberías dentro de un rango determinado. Al igual que las guías, estos también pueden estar relacionados con otros tipos de soportes o ser específicos [3].

2.2.3 ESTUDIO DE FLEXIBILIDAD EN TUBERÍAS

El estudio de flexibilidad en tuberías consiste en determinar si una tubería o línea posee la suficiente capacidad de absorber las cargas que sobre ella inciden. Estas cargas son: 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

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

2.2.3.1 Cuando se Requiere un Estudio de Flexibilidad.

Según el Código ASME B31.3, es responsabilidad del diseñador realizar un análisis de flexibilidad, a no ser que el sistema esté comprendido dentro de los siguientes casos:



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

$$\frac{D^* y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

D = diámetro externo del tubo, in (mm).

y = resultante de los esfuerzos de desplazamiento total a tracción a ser absorbida por el sistema de tuberías, in (mm).

L = longitud del desarrollo de la tubería entre anclajes, ft (m).

$K_1 = 0.03$ para Unidades Inglesas;

208.33 para Sistema Internacional.

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

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



expansión térmica del sistema total incluyendo los movimientos transmitidos a la tubería por sus conexiones terminales e intermedias.

2.2.3.2 Análisis de Esfuerzos en Tuberías.

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

2.2.3.3 Tipos de Esfuerzos en Tuberías.

Los esfuerzos se dividen en dos ramas principales: normales y cortantes. Los esfuerzos normales se originan por la acción de una fuerza perpendicular al área en estudio, mientras que los esfuerzos cortantes por una fuerza paralela al área donde actúa. En la Figura 2.4, se muestra un esquema que resume los tipos de esfuerzos a los cuales se encuentra sometida una tubería, cada tipo de esfuerzo se explica en los segmentos posteriores:

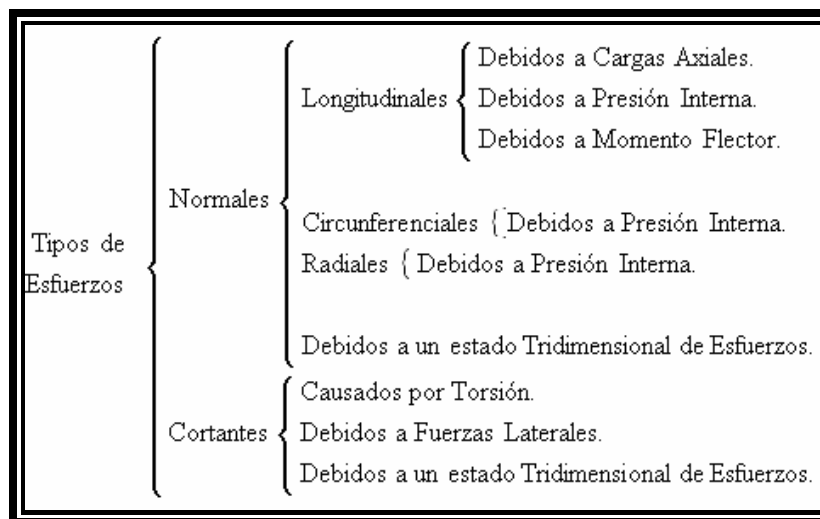




Figura 2.4 Tipos de Esfuerzos en Tuberías.

Es necesario conocer todos los esfuerzos mencionados en el esquema anterior, ya que estos son necesarios para realizar un adecuado análisis estático de flexibilidad, el cual asegure la estabilidad mecánica de las tuberías involucradas en dicho análisis. Cada esfuerzo determina una distribución de fuerzas distintas en diferentes secciones de una tubería, a continuación se presenta como calcular algunos de estos tipos de esfuerzos y cuales son las variables involucradas en él.

2.2.3.3.1 Esfuerzos Longitudinales.

Las cargas axiales que originan esfuerzos longitudinales pueden apreciarse en la Figura 2.5, dicho esfuerzo se calcula de la siguiente manera:

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

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

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

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

d_o : Diámetro externo de la tubería (m).

d_i : Diámetro interno de la tubería (m).

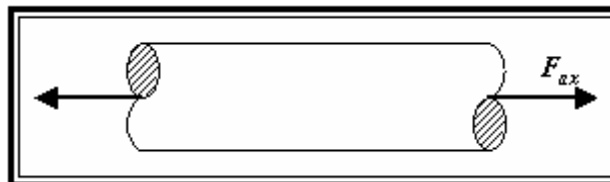




Figura 2.5 Cargas Axiales de la Tubería.

Las cargas debido a presión interna que originan el esfuerzo longitudinal pueden apreciarse en la Figura 2.6, dicho esfuerzo se calcula de la siguiente manera:



Figura 2.6 Cargas Debidas a Presión Interna en la Tubería.

$$S_L = P \frac{A_i}{A_m} \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde:

P : Presión interna (Pa).

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

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

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

Sustituyendo términos para área interna y área metálica

$$S_L = P \frac{d_i^2}{d_0^2 - d_i^2} = P \frac{d_i^2}{(d_0 + d_i)(d_0 - d_i)}$$

Sustituyendo

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

Donde:

d_m : Diámetro medio (m).



t : Espesor de la tubería (m). }

Se tiene:

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

Considerando:

$$d_i \approx d_m \approx d_o$$

Se obtiene:

$$S_L = P \frac{d_o}{4t} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

d_o : Diámetro medio (m).

t : Espesor de la tubería (m).

Otro tipo de esfuerzo longitudinal que actúa sobre la tubería es el ocasionado por el momento flector, dicho momento puede apreciarse en la Figura 2.7 y el esfuerzo debido a este momento se calcula con las ecuaciones mostradas a continuación.

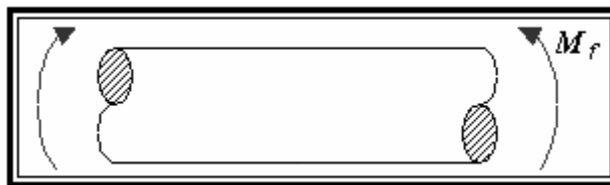


Figura 2.7 Momento Flector en una Tubería.



$$S_L = M_f \frac{C}{I} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$S_{L_{max}} = M_f \frac{R_0}{I} = \frac{M_f}{Z} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

M_f : Momento flector aplicado (kg-m).

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

R_0 : Radio externo de la tubería (m).

I : Momento Inercial de la tubería (m⁴).

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

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

$$S_{L_{total}} = \frac{F_{ax}}{A_m} + P \frac{d_0^2}{4t} + \frac{M_f}{Z} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

2.2.3.3.2 Esfuerzo Circunferencial

Este esfuerzo es ocasionado solo por la acción de la presión del fluido en el interior de la tubería (Ver Figura 2.8)

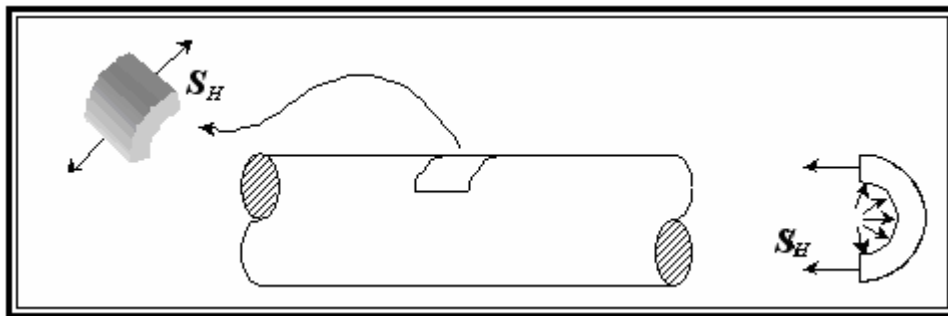


Figura 2.8 Esfuerzo Circunferencial de la Tubería.



Se obtiene de la siguiente manera:

$$S_H = P \frac{d_i}{2t}$$

Pero empleando una aproximación conservadora se tiene que:

$$S_H = P \frac{d_0}{2t} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

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

P : Presión interna (Pa).

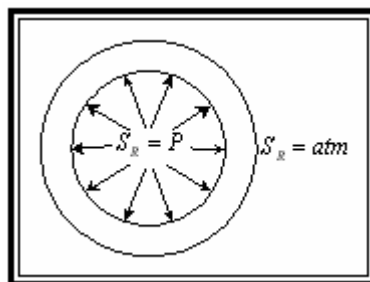
d_0 : Diámetro medio (m).

d_0 : Diámetro medio (m).

t : Espesor de la tubería (m).

2.2.3.3.3 Esfuerzo Radial

Al igual que el esfuerzo circunferencial, el esfuerzo radial es ocasionado por la acción de la presión del fluido. Las cargas que generan el esfuerzo radial puede observarse en la figura 2.9.





Donde:

S_R : Esfuerzo radial debido a la presión interna (kg/m^2).

R_i : Radio interno de la tubería (m).

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

Figura 2.9 Esfuerzo Radial de la Tubería.

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

2.2.3.3.4 Esfuerzo de Corte (Fuerzas Laterales)

Los esfuerzos de cortes son aplicados en la dirección paralela al plano perpendicular al eje de la tubería. Son originados por distintos tipos de fuerzas, dentro de las cuales se pueden mencionar la aplicación de la fuerza puntual como se muestra en la Figura 2.10 Este tipo de esfuerzos se encuentra distribuido en la sección de la tubería de manera que son iguales a cero en la fibra más externa y máximos en la fibra más interna.

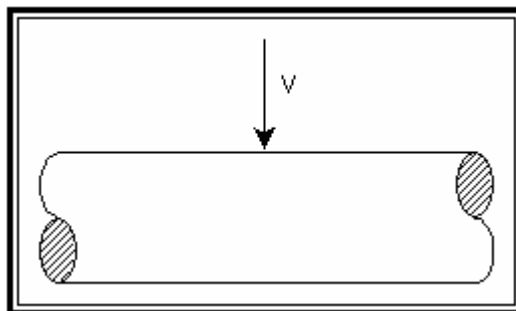


Figura 2.10 Fuerza Cortante Actuando Sobre la Tubería.

El esfuerzo de corte se calcula por medio de la siguiente ecuación:



$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A_m} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

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

V : Carga transversal aplicada (kg).

Los esfuerzos de cortes son aplicados en la dirección paralela al plano perpendicular al eje de la tubería. Son originados por distintos tipos de fuerzas, dentro de las cuales se pueden mencionar la aplicación de la fuerza puntual como se muestra en la Figura 2.10. Este tipo de esfuerzos se encuentra distribuido en la sección de la tubería de manera que son iguales a cero en la fibra más externa y máximos en la fibra más interna.

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

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

$$\tau = \frac{M_T \cdot R}{J} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

$$\text{Si } R = R_0 \quad \Rightarrow \quad \tau = \tau_{\max} = \frac{M_T \cdot R_0}{J}$$

$$J = 2I ; Z = I / R_0 \quad \Rightarrow$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_T}{2Z} \quad (\text{Ec. 2.12})$$



Donde:

R : Distancia radial al punto interno (m).

J : Momento Polar de Inercia de la tubería (m^4).

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

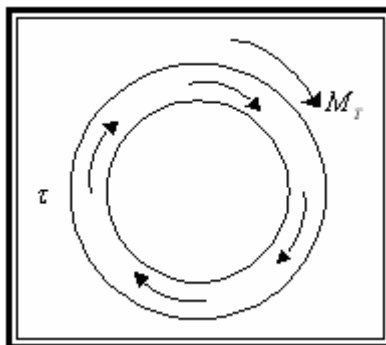


Figura 2.11 Momento de Torsión que Actúa Sobre la Tubería.

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

$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A_m} + \frac{M_T}{2Z} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

2.2.3.4 Estado Tridimensional de Esfuerzos en una Tubería.

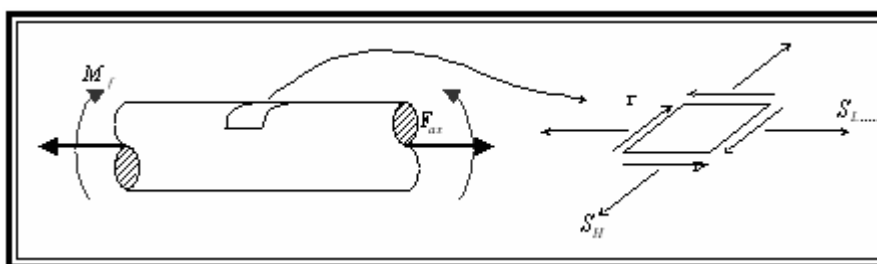


Figura 2.12 Estado de Esfuerzos en una Tubería.



La Figura 2.12 permite observar el estado de esfuerzos de una tubería mediante un corte de la misma, respecto al cual se puede asegurar que existe una variedad infinita de orientaciones bajo las cuales este cubo puede ser analizado. Por ejemplo, existe una orientación para la cual uno de los esfuerzos octogonales es maximizado y los esfuerzos perpendiculares minimizados, en esta orientación los esfuerzos octogonales son llamados esfuerzos principales, en cuyo caso los esfuerzos de corte son iguales a cero.

2.2.3.5 Círculo de Mohr

Existe otra orientación, llamada del esfuerzo cortante máximo, para la cual los esfuerzos octogonales son cero y el esfuerzo cortante es máximo, los valores de los esfuerzos principales y del esfuerzo cortante pueden ser determinados utilizando el círculo de Mohr (ver Figura 2.13), el cual se obtiene al graficar los esfuerzos normales (S) en función de los esfuerzos de corte (τ).

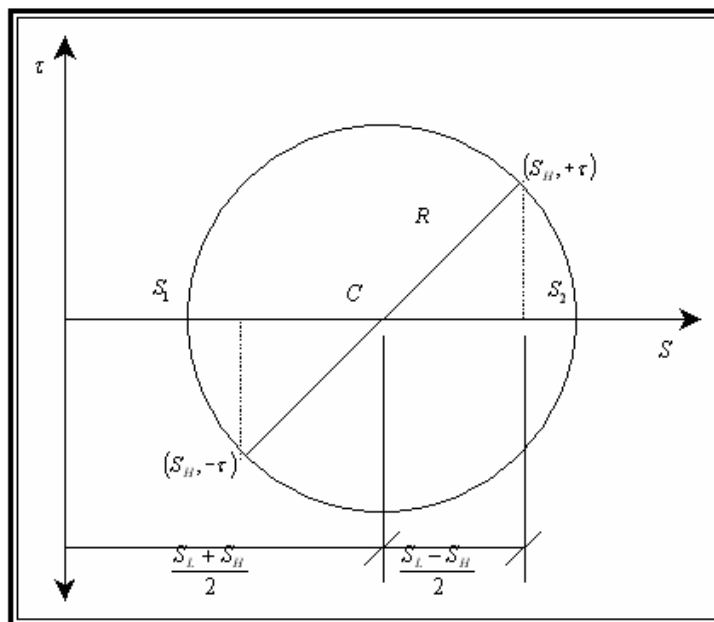


Figura 2.13 Círculo de Mohr.



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

$$R = \sqrt{\left(\frac{S_L - S_H}{2}\right)^2 - \tau^2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 - 4 \cdot \tau^2} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$$C = \frac{S_L + S_H}{2} \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$S_{1,2} = C \pm R = \frac{S_L + S_H}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 - 4 \cdot \tau^2} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

$$\tau_{max} = R = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(S_L - S_H)^2 - 4 \cdot \tau^2} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

2.2.3.6 Teorías de Falla

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

2.2.3.6.1 Teoría de Von Misses

Teorema del esfuerzo octaedral (Von Misses): “La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo octaedral resultante de un estado general de esfuerzos, iguala o supera el



esfuerzo cortante máximo de un material bajo la condición de fluencia en un ensayo a tracción”.

$$\tau_{oct} = \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \right]^{1/2} < \sqrt{2} \cdot \sigma_y / 3 \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

τ_{oct} : Esfuerzo cortante octaedral (psi).

σ_1 : Esfuerzo normal principal (kg).

σ_2 : Esfuerzo normal principal (psi).

σ_3 : Esfuerzo normal principal (psi).

σ_y : Esfuerzo normal de fluencia (psi).

2.2.3.6.2 Teoría de Tresca

Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo (Tresca): “La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo resultante de un estado general de esfuerzo, iguala o supera el esfuerzo cortante máximo bajo fluencia en un ensayo a tracción”.

$$\tau_{max} = S_1/2 < S_y/2 \quad (\text{Ec. 2.19})$$

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

$$\tau_{max} = \left[(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2 \right]^{1/2} / 2 \leq S_y/2 \quad (\text{Ec. 2.20})$$



Donde:

τ_{\max} : Esfuerzo cortante máximo (psi).

τ : Esfuerzo de corte (psi).

S_1 : Esfuerzo principal máximo (psi).

S_y : Esfuerzo de fluencia (psi).

S_L : Esfuerzo longitudinal (psi).

S_H : Esfuerzo admisible del material a la temperatura de operación (psi).

2.2.3.6.3 Teorema del Esfuerzo Máximo (Rankine)

“La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo principal máximo al cual se encuentra sometido, se hace igual al esfuerzo de fluencia en un ensayo a tracción”.

2.2.3.7 Bases para el Cumplimiento de Códigos

En un análisis de flexibilidad se requiere fundamentalmente que el sistema se encuentre bajo parámetros de diseño establecidos por un código de diseño. En el caso del presente trabajo, todos los análisis de esfuerzos se realizaron considerando las especificaciones del código ASME B31.3. Este código considera fundamentalmente 2 tipos de cargas básicas:

- ✓ **Cargas Sostenidas:** Originadas por cargas primarias, tales como el peso, presión gravedad y por supuesto la reacción de los soportes. Estas cargas permanecen constantes en el tiempo, no son cargas cíclicas y su límite máximo lo define la teoría de falla de Rankine (Teorema del Esfuerzo Máximo).
- ✓ **Cargas debido a Expansión Térmica:** Originada por cargas secundarias que por lo general son cargas térmicas. Los límites admisibles para este tipo de carga



están definidos por la teoría de falla de Tresca (Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo).

Existe un último tipo de cargas que se conocen como cargas operativas. Estas cargas son el resultado de juntar los efectos individuales de las cargas sostenidas y térmicas. Son considerablemente útiles para evitar los esfuerzos en las boquillas de equipos estáticos y equipos rotativos. Para hacer esto se utilizan códigos específicos que dependen del tipo de equipo con el cual se está conectando el sistema de tuberías. En este caso fue necesario aplicar los API-610 y WRCB. Estos aplican para boquillas de bombas centrífugas y para boquillas en recipientes a presión cuyo eje longitudinal es perpendicular al eje longitudinal del equipo, respectivamente.

2.2.3.7.1 Características de las Cargas Primarias

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



2.2.3.7.2 Características de las Cargas Secundarias

- ✓ La magnitud de su aplicación esta definida por la aplicación de desplazamientos (térmicos, de los anclajes, asentamientos, etc.).
- ✓ Las cargas secundarias son por lo general autolimitadas, su magnitud disminuye a medida que sucede la deformación plástica.
- ✓ Los límites admisibles para este tipo de carga están definidos por las teorías de falla Tresca (Teorema del Esfuerzo Cortante Máximo).

2.2.3.8 Criterios de Diseño para Distintos Tipos de Carga

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

2.2.3.8.1 Cargas Primarias

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

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

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



2.2.3.8.2 Cargas Secundarias

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

La filosofía de diseño para este tipo de carga, consiste en conducir las mismas y jamás intentar impedir su aparición. En otras palabras, el crecimiento térmico de la tubería no deberá ser impedido por restricciones, ya que las cargas generadas podrían ser muy altas poniendo en peligro la tubería.

Los crecimientos térmicos deben ser conducidos, enviando la menor cantidad de desplazamientos a las conexiones más delicadas, como lo son: turbinas, bombas, intercambiadores de calor, enfriadores de aire, etc.

No se deberá intentar solucionar un problema térmico, sin antes hacer solucionar el problema de cargas sostenidas.

2.2.3.9 Criterios de Diseño en Sistemas de Tuberías de Bombas Centrífugas

Las tuberías para bombas centrífugas, especialmente para servicios a altas temperaturas, generalmente representan uno de los problemas más difíciles para diseñar desde el punto de vista de la flexibilidad.

Deberá cumplirse con el criterio establecido acerca de las cargas admisibles en las conexiones, cuando se resuelve el problema de la flexibilidad de la tubería. Este inconveniente deberá resolverse para todas las condiciones posibles de operación de las bombas.



Algunas recomendaciones generales que conciernen al diseño por flexibilidad son las siguientes:

- ✓ El análisis de flexibilidad de un sistema de tuberías que acopla a bombas centrífugas deberá considerar todos los ramales considerados a múltiples comunes y deberán investigarse las siguientes posibles condiciones de operación:
- ✓ Todas las Bombas que operan simultáneamente.
- ✓ El efecto de cada bomba utilizada como repuesta o bloqueada por labores de mantenimiento.
- ✓ El criterio de las cargas admisibles en las boquillas debe ser satisfecho para las cargas combinadas, térmicas, peso muerto y fricción. Los soportes de resorte pueden requerirse para la tubería inmediata a la conexión de la bomba, a fin de reducir la reacción por carga muerta (peso) impuesta a la bomba.
- ✓ Proveer restricciones direccionales en localizaciones estratégicas, a fin de prevenir que las cargas térmicas y las acumuladas por fricción, sean excesivas sobre las bombas, debido a tramos largos de tuberías.
- ✓ Satisfacer los requerimientos específicos respecto a la alineación de las bridas, conectadas a equipos rotativos.

2.2.3.10 Consideraciones Sobre Arreglos y Soportes de Tuberías Cuando se Realiza un Análisis de Flexibilidad.

Es sumamente importante tener en cuenta todos los criterios que se hacen presente en la implantación de la configuración definitiva para el ruteo a seguir en la instalación del sistema de tubería que sé este ejecutando. Para ello se hace necesario tomar en cuenta consideraciones como:

- ✓ El sistema de tuberías deberá ser en lo posible, auto soportante y consistente con los requerimientos de flexibilidad.



- ✓ El exceso de flexibilidad puede requerir soportes o sujeciones adicionales para evitar amplios movimientos y vibraciones; esta situación es propensa ocurrir en líneas verticales donde solamente hay un punto de apoyo para sostener el peso.
- ✓ Las tuberías propensas a vibrar, tales como líneas de succión o descarga de bombas reciprocantes o compresoras, deberán ser diseñadas con sus soportes propios e independientes de otras tuberías, o estructuras.
- ✓ Los tubos de las conexiones superiores de recipientes verticales se apoyan y fijan ventajosamente en el recipiente para minimizar movimientos independientes del recipiente, soportes y tuberías, por lo tanto tales tuberías deben ser trazadas lo más cerca posible del recipiente y soportadas muy cerca de la conexión.
- ✓ Las tuberías sobre estructuras deben ser trazadas debajo de las plataformas, cerca de los miembros estructurales principales, en puntos donde sea favorable añadir cargas a fin de evitar la necesidad de reforzar esos miembros.
- ✓ Debe asignarse suficiente espacio, de manera que puedan colocarse los componentes propios de ensamblaje de los soportes.

2.2.3.11 Ubicación de los Soportes

La ubicación apropiada de soportes colgantes o soportes fijos involucra consideraciones de la propia tubería, de la estructura a la cual se transmite la carga y de las limitaciones de espacio.

Los puntos preferidos de la fijación de tuberías son:

- ✓ Sobre tuberías propiamente y sobre componentes tales como: válvulas, accesorios o juntas de expansión.



- ✓ Sobre tramos rectos de tuberías en lugar de sobre codos de radios agudos, juntas angulares o conexiones de ramales prefabricados, ya que en estos sitios se encuentra la tubería ya sometida a esfuerzos altamente localizados, a los cuales se le agregarían los efectos locales de fijación.
- ✓ Sobre tramos de tuberías que no requieran remoción constante para limpieza o mantenimiento.
- ✓ Cerca de concentraciones grandes de carga, tales como tramos verticales y ramales de tubería [9].

2.2.3.12 Lazos de Expansión

Los lazos de expansión proporcionan la flexibilidad necesaria para absorber las expansiones térmicas. Son más seguros si se comparan con las juntas de expansión. Los lazos pueden ser simétricos o asimétricos (ver Figuras 2.14 y 2.15). El uso de los primeros tiene la ventaja de usar con mayor eficiencia el lazo.

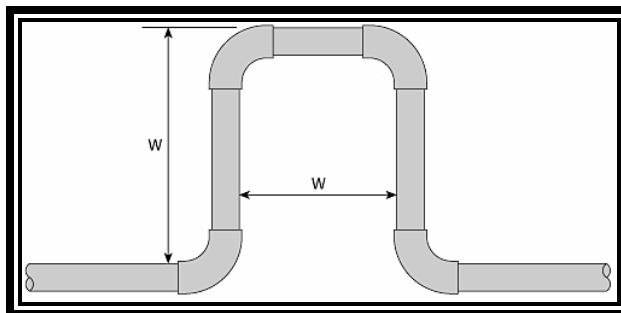


Figura 2.14 Lazo de Expansión Simétrico.



En el caso de los lazos asimétricos, su uso se justifica cuando se quiere utilizar un soporte o por cualquier circunstancia que imposibilita la ubicación del lazo en el centro.

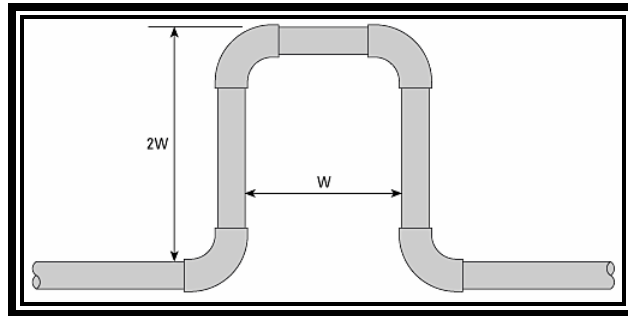


Figura 2.15 Lazo de Expansión Asimétrico.

Pasos para calcular un lazo de expansión térmica:

- ✓ Calcular la expansión térmica con la Ec. 2.1
- ✓ Luego con la expansión calculada y el diámetro nominal de la tubería, se entra a la gráfica mostrada en la Figura 2.16 y se encuentra el valor del ancho (W) del lazo de expansión
- ✓ Una vez obtenido el valor del ancho se verifica el dimensionamiento del lazo de expansión dependiendo del tipo de lazo a utilizar [16].

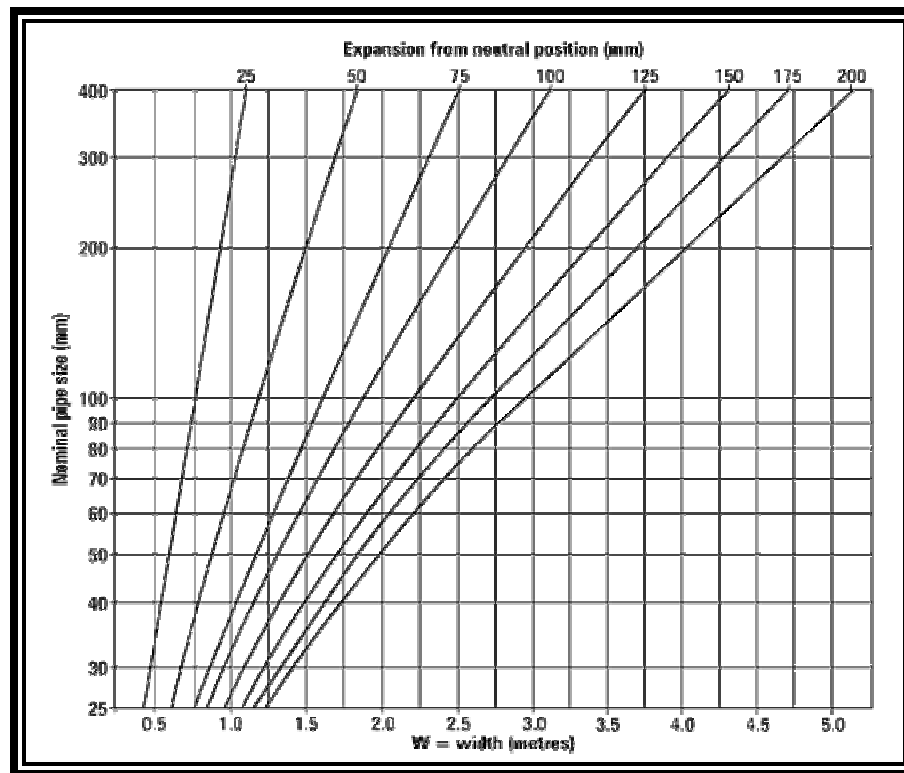


Figura 2.16 Gráfica para el Cálculo del Ancho (W), para Lazo de Expansión Térmica.

2.2.3.13 Criterios Prácticos para Diseño de Flexibilidad.

- ✓ Las juntas de expansión, sólo deben ser utilizadas en casos indispensables.
- ✓ Los arreglos de todas aquellas tuberías que presenten vibraciones, deben ser diseñados de manera de permitir soportes independientes. El uso de resortes debe ser evitado en este tipo de líneas.
- ✓ Los arreglos de las tuberías deben hacerse lo más cercano posible a las estructuras de manera de simplificar el diseño de los soportes.



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO



- ✓ Las tuberías que salgan de las conexiones del recipiente, deben ser soportadas lo más cercano posible a la boquilla, con el fin de minimizar las diferencias de expansiones térmicas entre el recipiente y la tubería.

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

- ✓ Puntos de colocación de soportes preferenciales en la tubería:
 - ◆ En la tubería y no en las válvulas.
 - ◆ En tramos rectos de tubería y no en codos, ya que en estos ya existen esfuerzos concentrados, y en cualquier conexión pueden superponerse esfuerzos, restando flexibilidad a la tubería.
 - ◆ Tan cercano como sea posible a válvulas o cualquier carga concentrada en la tubería.
 - ◆ En tramos de tubería que no requieran un mantenimiento frecuente.
 - ◆ En lo posible se deben utilizar los soportes estándar. Soportes especiales incrementan los costos.
 - ◆ Según Flúor:
 - ◆ Si la expansión total en una dirección es menor de 25,4 cm (10 pulgadas), puede evitarse un lazo anclando la tubería en la mitad.
 - ◆ La expansión total entre anclajes del lazo no debe exceder 30,5 cm (12 pulgadas).
 - ◆ Al hacer un arreglo flexible de tubería se debe considerar:
 - ◆ Evitar la introducción de bolsillos o sifones (pockets) en las tuberías de succión de bombas.
 - ◆ Colocar anclajes cerca de ramales de diámetro pequeño.



- ◆ Colocar guías o topes en la cercanía de equipos sensibles tales como bombas o turbinas. Esto impide que los efectos de la expansión de la tubería, se transmitan directamente a las boquillas de los equipos, causando esfuerzos superiores a los admisibles en las carcasas o desalineando las partes rotativas.

Si se requiere colocar soportes colgantes, de fuerza constante, deben ser utilizados en aquellos casos donde el desplazamiento vertical es considerable, o cuando el equipo no admite variaciones de carga muy altas [5].

2.2.3.14 Software CAESAR II

Desde su introducción en 1984 el CAESAR II es el programa para análisis de esfuerzos en tuberías preferido por los profesionales del área por su fácil uso, exactitud y reconocida aceptación mundial. Realiza el Modelo de un sistema de redes de tuberías sujetas a cargas dinámicas, peso, presión, temperatura, sísmicas y otras cargas estáticas. Es un programa totalmente interactivo. Incluye la mayoría de los materiales utilizados y de los códigos de tuberías necesarios para realizar un análisis de flexibilidad de cualquier sistema.

El CAESAR es un programa que tiene características muy particulares, es un software:

- ✓ **COMPLETO:** por incluir una amplia variedad de materiales y códigos de tuberías. Lideriza el campo en capacidades técnicas y opciones de análisis para proveer las mejores capacidades de diseño en sistemas de tuberías.
- ✓ **FLEXIBLE:** puede ser configurado para que se ajuste a las necesidades exactas del usuario a través del arreglo de los parámetros deseados y condiciones del sistema.



- ✓ **FÁCIL DE USAR:** puede realizar construcciones de modelos de análisis sencillos e intuitivos con sus gráficas inteligentes. Cuenta con un chequeo de errores interactivos y ayuda instantánea en un contexto sensitivo que asegura la calidad de los datos de entrada y la integridad del modelo.
- ✓ **PROBADO:** por más de dos décadas CAESAR II ha probado ser una herramienta fiable y estable que provee resultados dependientes para un amplio rango de aplicaciones de tuberías y ambientes.
- ✓ **ACEPTACIÓN UNIVERSAL:** la mayoría de los ingenieros a nivel mundial y las compañías de energía dependen de CAESAR II para que les provea el análisis y les asegure la fiabilidad y seguridad de sus proyectos de diseños e instalaciones con presupuestos de billones de dólares de capital alrededor del mundo.
- ✓ **APOYO TÉCNICO:** el mismo es provisto por analistas experimentados en esfuerzos de tuberías, desarrolladores de programas y respuestas dadas por ingenieros para las interrogantes técnicas de los usuarios.
- ✓ **ENTRENAMIENTO:** cursos altamente especializados que cubren no sólo el uso del programa sino que también dan una visión sobre los requerimientos de los códigos de las tuberías [18].

2.2.4 Fases y Ejecución de un Proyecto de Ingeniería

Todo proyecto tiene ciertas fases de desarrollo. El entendimiento claro de las mismas, permiten a la Gerencia y al Equipo de Trabajo un mejor control y una mejor optimización de los recursos (humanos, de tiempo, materiales y monetarios) para lograr los objetivos. Estas fases de desarrollo son:

- ✓ Fase Conceptual
- ✓ Fase de Ingeniería Básica
- ✓ Fase de Ingeniería de Detalle



- ✓ Fase de Procura
- ✓ Fase de Construcción
- ✓ Fase de Arranque y Puesta en Marcha

Todas estas fases son aplicables para cualquier proyecto que se desee formular o realizar. Sin embargo, el alcance de los capítulos de este documento se limita a las primeras tres fases de todas las mencionadas anteriormente. Por esta razón, estas tres primeras fases se desarrollan a continuación.

2.2.4.1 Fase Conceptual

La fase conceptual incluye la evaluación preliminar de una solución técnica con la que se busca satisfacer una necesidad, tomando en cuenta los requerimientos específicos tecnológicos, los factores económicos y ambientales. En ella, se origina una información que generalmente está contenida en los registros del diseño conceptual y en las descripciones de las condiciones ambientales del sitio donde se localizará el proyecto.

El registro de diseño conceptual resume los documentos contentivos de las decisiones previas a la ejecución de la Ingeniería Básica. Se justifica la importancia y la actualidad del proyecto y se realiza un análisis de macro factibilidad del mismo. La descripción de las condiciones del sitio cubre los aspectos como mapas del sitio, fotografías, condiciones metereológicas, suelo, leyes ordenanzas locales. En resumen esta fase debe proporcionar los siguientes resultados:

- ✓ Determinación de las necesidades existentes o limitaciones potenciales para limitación.



- ✓ Establecimiento de sistemas conceptuales para proporcionar estrategias iniciales para el proyecto.
- ✓ Determinación de la factibilidad y practicabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto.
- ✓ Examen de los caminos alternos para la obtención de los objetivos del proyecto.
- ✓ Proveer la respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuál será el costo del proyecto? ¿Cuándo estará disponible? ¿Cómo integrar el proyecto a instalaciones existentes?
- ✓ Identificar los recursos requeridos para realizar el proyecto.
- ✓ Establecimiento de un cronograma de ejecución del proyecto.

El aspecto más importante de esta fase es el análisis preliminar del riesgo y los requerimientos de tiempo y dinero. Esta fase constituye la primera aproximación a la factibilidad de un proyecto.

2.2.4.2 Fase de Ingeniería Básica

La fase conceptual responde a la pregunta ¿Por qué se requiere un proyecto? En cambio, la fase de ingeniería básica responde a la pregunta ¿Qué se quiere? Así, la ingeniería básica es un refinamiento de los elementos descritos en la ingeniería conceptual. Proporcionar una firme identificación de los recursos requeridos, conjuntamente con el establecimiento de tiempos, costos y eficiencias realistas. Incluye la preparación de la documentación necesaria para soportar el proyecto,



proporcionando resultados en las siguientes áreas: procesos, ingeniería mecánica, de instrumentación y control, ingeniería civil, ingeniería eléctrica, entre otras.

En esta etapa se definen los siguientes puntos:

- ✓ Diseño del proceso
- ✓ Balances de masa y energía
- ✓ Estudios de optimización y fenómenos de transporte
- ✓ Procedimientos operacionales
- ✓ Diagramas de flujo con las condiciones de operación y de diseño
- ✓ Evaluación de datos y análisis de laboratorios
- ✓ Estudios de simulación
- ✓ Requerimientos de servicios e insumos
- ✓ Especificaciones de equipos y datos de procesos
- ✓ Especificaciones de tuberías
- ✓ Especificaciones de instrumentación
- ✓ Presentación de los diagramas de tubería e instrumentación (P&ID)

2.2.4.3 Fase de Ingeniería de Detalle

En la ingeniería de detalle se termina de definir y afinar el diagrama de tuberías e instrumentación, siguiendo las especificaciones globales generadas en la ingeniería básica, se prepara lo siguiente:

- ✓ El diseño de los recipientes y de los equipos
- ✓ Listas y especificación detallada de los equipos requeridos
- ✓ Listado de las líneas y válvulas
- ✓ Requerimientos de servicios
- ✓ Revisión general de toda la ingeniería



CAPÍTULO II *MARCO TEÓRICO*



La ingeniería de detalle debe contener información suficiente para que se adquieran los materiales con las especificaciones adecuadas y adicionalmente mostrar los procedimientos de fabricación de los equipos a utilizar (si fuese necesario) y por último el procedimiento de instalación de los equipos y materiales especificados anteriormente [4].

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se describe el desarrollo de la metodología empleada, para la realización de este proyecto. En el se muestran las diversas estrategias que conllevaron al logro de los objetivos planteados. La metodología constituye un procedimiento general, para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación.

El diseño metodológico empleado durante el abordaje de esta investigación, permitió confrontar y verificar la visión teórica del problema y los objetivos planteados con los datos de la realidad, así como los lineamientos bajo los cuales se ha de regir la misma, donde se destacan aspectos como: El tipo de investigación, población, muestra, instrumentos y técnicas que permitieron el desarrollo de esta investigación.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente es un proyecto factible, esta orientado al planteamiento de mejoras que solucionen las necesidades de Petróleos De Venezuela S.A. (PDVSA) corporación que tiene la necesidad del estudio en cuestión con apoyo de la Universidad de Oriente. El proyecto factible está compuesto de varias etapas generales: diagnóstico, planteamiento y fundamentos teóricos de la propuesta, procedimiento metodológico de las actividades y recursos necesarios para su ejecución, análisis y conclusiones sobre su viabilidad, obviando la etapa de ejecución; según el manual de trabajos de grado de especialización de maestrías y tesis doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL-1998), los trabajos desarrollados como proyecto factible pueden llegar hasta la etapa de conclusiones sobre la viabilidad.

“El proyecto factible consiste en la elaboración de una propuesta, de un modelo operativo viable o una solución posible a un problema de tipo práctico, para satisfacer las necesidades de una institución o grupo social. La propuesta debe tener apoyo, bien sea de una investigación de campo o una de tipo documental, y puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías o procesos”.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL- 1998

Este trabajo fue realizado en dos etapas, la primera etapa de tipo documental y la otra etapa, de campo.

“Se entiende como investigación documental el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente, en trabajos previos,

información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales y electrónicos.”

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL- 1998

En la segunda etapa o etapa de campo, fue visitado en diferentes oportunidades el lugar donde se hizo la investigación para detectar las condiciones del sistema y realizar las propuestas para las posibles soluciones.

“Se entiende por investigación de campo, el análisis sistemático de problemas con el propósito de describirlos, explicar sus causas y efectos, entender su naturaleza y factores constituyentes o predecir ocurrencias. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad por el propio estudiante: en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios.”

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL- 1998 [6].

3.2 ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

La Refinería Puerto La Cruz cuenta con varias unidades o plantas que en conjunto permiten que se lleve a cabo el proceso completo de refinación de crudo. La Planta principal es la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1. El crudo, los destilados y residuos que circulan por la planta son trasladados mediante el uso de turbo-bombas. Una vez que el crudo es impulsado por medio de estas turbo-bombas, es trasladado a diversos trenes de precalentamiento, los que comúnmente conocemos con el nombre de intercambiadores de calor, para finalmente ser trasladado a los hornos de la unidad. Los equipos antes mencionados constituyen el área fundamental de esta investigación.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló bajo el diseño transaccional descriptivo, porque el investigador consideró la elaboración de la planimetría e isometría del sistema de distribución de crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz., como punto de partida y con base a ellas aplicó el análisis estático de flexibilidad.

Al respecto Hernández y otros (2004) aseveran “...los diseños transaccionales descriptivos nos presentan un panorama del estado de una o más variables en uno o más grupos de personas, objetos o indicadores en determinado momento.” (p.210). Bajo este diseño no se intentó manipular las variables, sólo se recogió información en cuanto a los indicadores: diámetro, presión, estado de los soportes, distancia entre las tuberías, entre otros. Para así, aplicar un análisis de flexibilidad de la línea de crudo, de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz [7].

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población:

Según Gabaldón (1978), citado en Balestrini (1997), “Estadísticamente hablando, por población se entiende un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos que presentan características comunes”.

Considerando la definición anterior, la población seleccionada para llevar a cabo la presente investigación, estuvo constituida en La Línea de Crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz [8].

3.4.2 Muestra:

En lo concerniente a la muestra, no se seleccionó tipo alguna ya que en la investigación se recolecto la mayor cantidad de información posible, escogiéndose de esta manera al sistema de tuberías como tal.

3.5 TÉCNICAS UTILIZADAS

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se emplearon las técnicas mencionadas a continuación.

- Entrevistas.
- Observación Directa.
- Revisión Bibliográfica.
- Fuentes Secundarias.
- Diagrama de Gant.

3.6 ACCESORIOS A UTILIZAR DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.6.1 Equipos Utilizados:

Computadora:

- ✓ Computadora Pentium IV, procesador 3.2 Ghz, 1 Gb de Ram y 160Gb de disco duro.

Impresora:

- ✓ Impresora HP 840 C Series.

Fotocopiadora:

- ✓ Fotocopiadora DELCOP DDC 35N.

Implementos de Seguridad:

- ✓ Braga ignífuga, botas, guantes, lente, casco, protector auditivo.

3.6.2 Materiales

- ✓ Papelería en general.
- ✓ Libreta para tomar apunte.
- ✓ USB Flash driver de 1 GB.
- ✓ Cinta métrica. Marca. Stanley. Capacidad: 5 m. Apreciación: ± 1 mm.
- ✓ Cámara digital marca Sony de 512 Mb de memoria.

3.6.3 Sustancias

- ✓ No se Requieren

3.6.4 Herramientas Empleadas

- ✓ CAESAR II, version 4.5. Copyright2003.COADE Engineering Software.
- ✓ Microsoft Windows XP Profesional.
- ✓ Microsoft Word 97.
- ✓ Microsoft Excel 97.

- ✓ Internet Explorer.
- ✓ Autocad 2007.
- ✓ Adobe Acrobat Reader 7.0.

3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La fase de desarrollo del problema fue realizada mediante un procedimiento de investigación en campo. En este se obtuvo la mayor parte de la información que permitió generar un modelo para realizar el análisis estático de flexibilidad de la línea de crudo de la unidad de destilación atmosférica DA-1, a través del software CAESAR, para poder comparar los resultados obtenidos con los valores admisibles en las normas ASME B31.3, API 560, API 610 y WRC 107; dicho procedimiento presenta una serie de fases que se pueden observar en el esquema que a continuación se presenta (ver figura 3.1).

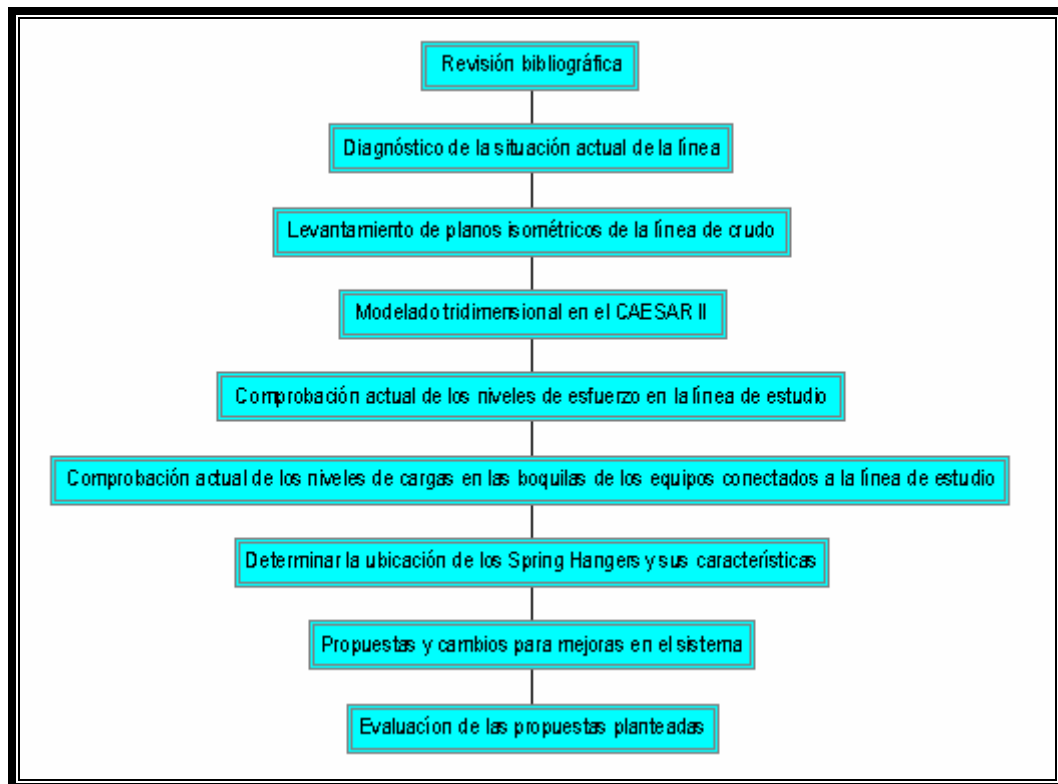


Figura 3.1 Fases Elaboradas para Realizar el Análisis Estático de Flexibilidad.

En la primera fase se realizó la búsqueda y la recopilación de la información, necesaria para realizar un análisis estático de flexibilidad, para de esta manera poder lograr un buen desarrollo del tema en cuestión, esto se realizará por medio del uso de textos, manuales, tesis de grado, páginas web a través de Internet, estándares, datos publicados por medios impresos, audiovisuales y electrónicos, así como también las entrevistas informales con el personal que opera en el área donde se está desarrollando el tema.

Después de haber culminado la recopilación de la información se procedió a realizar el diagnóstico actual de la línea, donde se realizó un inventario de todos los equipos, tuberías y accesorios que conforman la línea de crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1. Todos los datos se tomaron en sitio, las técnicas utilizadas fueron mediciones visuales y las lecturas que se hicieron directamente, dentro de las variables medidas se encuentran las longitudes, presión y la temperatura, las cuales destacan como variables principales.

La Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 presenta carencia en cuanto a los planos isométricos pertenecientes a la misma, por esta razón es necesario realizar el levantamiento de los mismos, de manera tal de conocer los accesorios (reducciones, codos, tees, válvulas, bridas, soportes con su respectiva ubicación, entre otros) y especificaciones técnicas (material de la tubería, aislamiento que utiliza, densidad del fluido que maneja, temperatura de operación, etc.), que lo conforman.

En esta fase se tomó la información recopilada en campo, para construir el modelo computacional de la línea en el software CAESAR y aplicarle las cargas de

peso, presión, temperatura, sismo y otras cargas bajo la cual la misma se encuentra sometida.

Una vez simulada la línea en estudio en el software, se observó los niveles de esfuerzo a los que se encuentra sometida la tubería, pudiendo de esta manera corroborarse si el sistema cumple o no con las exigencias requeridas por la norma ASME B31.3 [10], la cual rige la flexibilidad en tuberías de plantas químicas y refinerías de petróleo.

Al igual que la etapa anterior una vez simulada la línea en estudio en el software, se observó los niveles de carga en las boquillas de los equipos conectados a la línea de crudo, para luego compararlos con los establecidos por las distintas normas involucradas. En el caso de la bomba, con la norma API 610 [11], los intercambiadores con la norma WRC 107 [13] y el horno con la norma API 560 [12].

Esta fase consistió en determinar la mejor ubicación de los soportes de resorte suspendido en la línea de estudio de acuerdo a los requerimientos de esfuerzo según las cargas obtenidas a través del software CAESAR.

Realizadas las comparaciones de esfuerzos y cargas en las boquillas de los equipos conectados a la línea de estudio con las normas correspondientes, se procedió a realizar las propuestas de mejoras en cuanto al sistema, donde se agregaron y/o reemplazaron diversos soportes, al igual que cambios en el ruteo de la línea. Todo esto se realizó con el fin de disminuir los esfuerzos y las cargas que se encontraban inicialmente en la misma.

Por último se realizó la evaluación de las propuestas de mejoras en donde se analizó cada uno de los elementos agregados o reemplazados, pudiéndose de esta manera determinar el aporte real de tal cambio en el sistema. Este estudio es realizado

ya que por ejemplo un soporte disminuye las cargas debido a peso y a su vez puede limitar la expansión térmica aumentando los esfuerzos o viceversa, situación la cual no sería deseable.

3.8 CASOS ESTUDIADOS

El CAESAR II recomienda los diferentes casos que se pueden estudiar, el número de estos casos recomendados depende de las cargas que se tengan en el modelo (desplazamientos externos, fuerzas, etc).

Los casos evaluados para cumplir los objetivos del análisis estático flexibilidad de la línea de crudo, fueron:

- ✓ Caso 1 (Esfuerzo Sostenido).
- ✓ Caso 2 (Expansión Térmica).

3.8.1 Caso 1: Esfuerzo Sostenido

En este estudio se analiza el sistema de tuberías cuando actúan solo las cargas primarias; es decir, peso y presión. Este caso también se llama carga en frío (instalación). También es utilizado para determinar la satisfacción o no de los esfuerzos admisibles establecidos por los códigos, así como también para determinar las cargas sobre los soportes y boquillas de equipos durante la instalación de la tubería.

3.8.2 Caso 2: Expansión Térmica

Este caso representa la dilatación térmica ocurrida entre la condición de carga en frío y en operación. Sirve para determinar si los requerimientos de los códigos son satisfechos respecto a la dilatación térmica de la tubería.

3.9 CÓDIGOS O NORMAS APLICADAS

3.9.1 American Society of Mechanical Engineers ASME B31.3

Esta norma está referida al diseño de tuberías para procesos químicos y refinerías de petróleo. Posee toda la información y consideraciones necesarias que deben ser tomadas en cuenta al momento de diseñar y evaluar un sistema de tuberías, así como las normativas de seguridad para su construcción [10].

3.9.2 American Petroleum Institute API 594

Esta norma está fundamentada en los cálculos matemáticos de las cargas admisibles en las boquillas de los hornos, pudiéndose de esta manera comparar dichas cargas con las obtenidas en el análisis de flexibilidad realizado, para así poder corroborar si las boquillas del horno estudiado se encuentran dentro de los límites permisibles [12].

3.9.3 American Petroleum Institute API 610

Este código establece todo lo concerniente al diseño, evaluación e instalación de las bombas centrífugas, así como también cuenta con las cargas admisibles en las boquillas de las bombas centrífugas y al igual que el anterior está fundamentado mediante cálculos matemáticos. Permite realizar comparaciones entre las cargas en las boquillas obtenidas en el análisis de flexibilidad con las cargas admisibles que el

mismo posee, pudiéndose así observar si las cargas en la bomba no exceden las permisibles por dicha norma [11].

3.9.4 Welding Research Council WRC 107

Los cálculos matemáticos de las cargas admisibles en las boquillas de los recipientes a presión con los que se encuentra fundamentado este código, se realizaron mediante la aplicación del método de los elementos finitos. Es conveniente destacar que las cargas calculadas mediante la norma WRC 107 corresponden a las cargas localizadas en el cuerpo del recipiente a presión y en concreto a la zona inmediatamente adyacente a la unión boquilla recipiente.

Esta norma puede ser utilizada para analizar conexiones a recipientes cilíndricos o esféricos, en este caso el recipiente a presión en estudio fueron los intercambiadores de calor conectados a la línea de crudo, que poseen forma cilíndrica. Igual a las normas anteriores permite establecer comparaciones entre las cargas admisibles en las boquillas de los recipientes de presión en estudio con las obtenidas en el estudio de flexibilidad [12].

3.9.5 Norma PDVSA H-221

Esta norma muestra los requerimientos específicos para la selección de materiales que serán usados en la construcción y fabricación de todas las tuberías de proceso y servicio. Según el servicio del sistema de tuberías debe asignarse un índice de servicio. Por tratarse de servicio de crudo, se encontró que las líneas del sistema en

cuestión corresponden a la clase BA2, en la Tabla 3.1, se muestran las especificaciones de las líneas clase BA2 [14].

Tabla 3.1 Especificaciones Según la Norma PDVSA H-221 Para las Clase BA2.

Especificaciones	Clase BA2
Clasificación	300 RF
Material	Acero al Carbono
Espesor de corrosión	0,125 pulg
Servicio	Destilado del fondo de la torre
Límite de Presión	42 kg/cm ²
Límite de Temperatura	261 °C

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 LÍNEA DE CRUDO

La línea de estudio opera a una temperatura de 435 °F y a una presión de 350 psia. Su temperatura y presión de diseño son de 550 °F y 600 psia respectivamente, y está hecha de acero al carbono, con aislamiento de silicato de calcio.

La simulación tridimensional realizada mediante el software CAESAR, arrojó una serie de resultados de la línea de estudio, correspondientes a los esfuerzos sostenidos (Caso 4) y esfuerzos por expansión térmica (Caso 5); para observar el análisis total del sistema refiérase al anexo I. El cumplimiento del código para el análisis en cuestión, se determinará estableciendo comparaciones entre los esfuerzos generados en las tuberías debido a los casos antes mencionados, con los esfuerzos admisibles establecidos en el código. La figura 4.1 muestra el sistema de la línea de crudo de la Unidad DA-1.

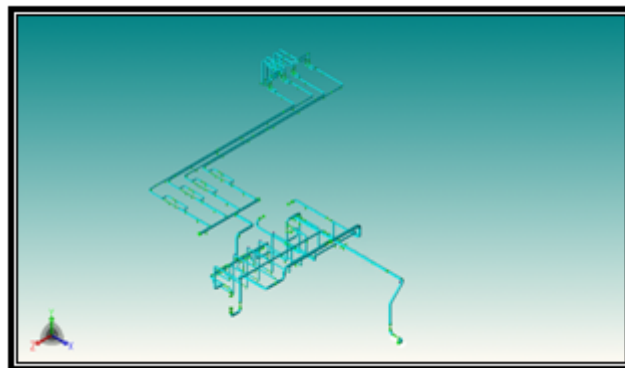


Figura 4.1 Línea de Crudo de la Unidad DA-1 (Diseño Original), Fuente [CAESAR].



A continuación se encontrarán una serie de tablas, donde se detallan los esfuerzos actuales obtenidos del modelo tridimensional, de la línea de crudo. En ellas se presentan los nodos con mayores esfuerzos.

4.1.1 Cargas Debido a Esfuerzo Sostenido (Caso 4)

En la tabla 4.1 se pueden apreciar los mayores esfuerzos cuando se simulan las cargas sostenidas, para observar el análisis completo refiérase al anexo I, el cual se encuentra localizado en un disco compacto.

Tabla 4.1 Esfuerzos Sostenidos de la Línea de Crudo (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos (Psia)				Porcentaje (%)
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
1135	15472	-235	18140	19615	92
2265	9129	273	11142	19615	57
570	8555	-495	10974	19615	56
1165	7543	235	10210	19615	56
1005	6566	67	9222	19615	47
3275	7117	-435	9130	19615	47
1495	6814	-74	8790	19615	45
1590	5987	124	8403	19615	43

En la tabla anterior no se evidenciaron esfuerzos por encima de los límites permitidos por el código ASME B31.3. [10]. El mayor esfuerzo resultante se localiza en una te recta y posee un valor que se encuentra 8% por debajo del límite de admisibilidad establecido en la norma. Debido a esta circunstancia, no se realizó propuesta alguna en el sistema de tuberías en cuestión.

En la figura 4.2 se muestra el porcentaje de esfuerzos sostenidos en la línea de crudo, en donde dicho porcentaje, es representado a través de un color.



CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

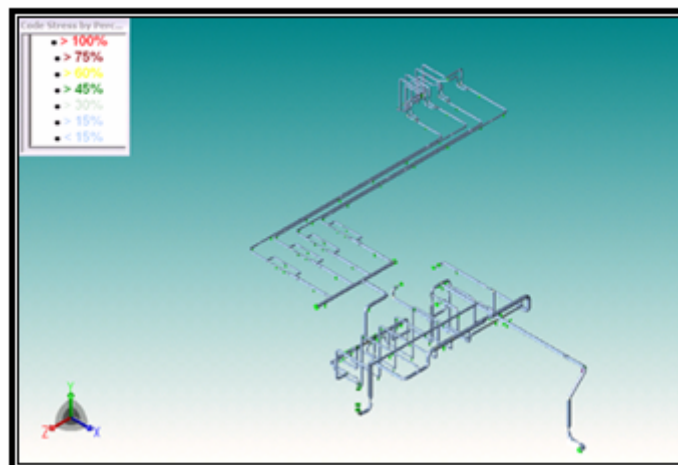


Figura 4.2 Porcentaje de Esfuerzos Sostenidos en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

El nodo con mayor porcentaje debido a esfuerzos sostenidos, puede ser observado en la figura que se muestra a continuación.

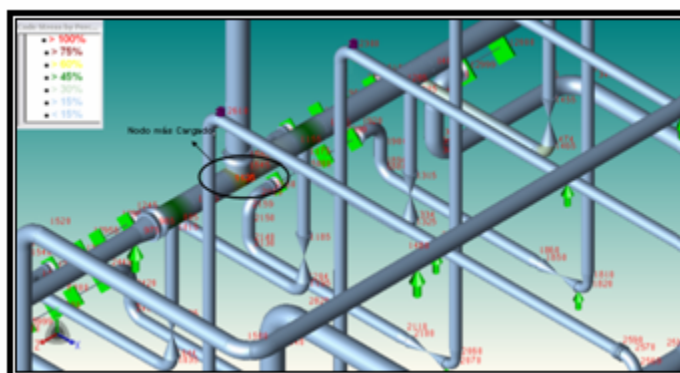


Figura 4.3 Nodo con Mayor Porcentaje de Esfuerzos Sostenidos en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].



4.1.2 Cargas Ocasionadas por Expansiones Térmicas (Caso 5)

Los mayores esfuerzos obtenidos cuando se simulan las cargas ocasionadas por expansiones térmicas y el porcentaje de permisibilidad con respecto al código ASME B31.3, pueden ser observados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Esfuerzos por Expansiones Térmicas de la Línea de Crudo (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos (Psia)				Porcentaje (%)
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
280	43808	-291	43812	41652	105
1675	35088	-14	35088	42366	83
3725	34350	76	34350	42792	80
1705	35196	-32	35196	47058	75
3755	32718	13	32718	47230	69
5525	29552	802	29596	43356	68
210	28432	265	28437	45048	63
850	28206	-3491	29057	46126	63

Es notorio en la tabla observada anteriormente, que cuando se simulan las cargas por expansiones térmicas, solo un nodo perteneciente a la línea falla, arrojando un valor de esfuerzo que supera en un 5% al valor admisible establecido en el código. Esto se debe a la ubicación de los soportes en la línea, la ubicación inadecuada de los mismos, permite que se generen dilataciones térmicas cuando se manejan elevadas temperaturas. En los isométricos (Anexo B), está representada la soportería de todo el sistema de tuberías en estudio. En la figura 4.4 puede ser observado el porcentaje de esfuerzos debido a expansiones térmicas del sistema de tuberías del diseño original.



CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

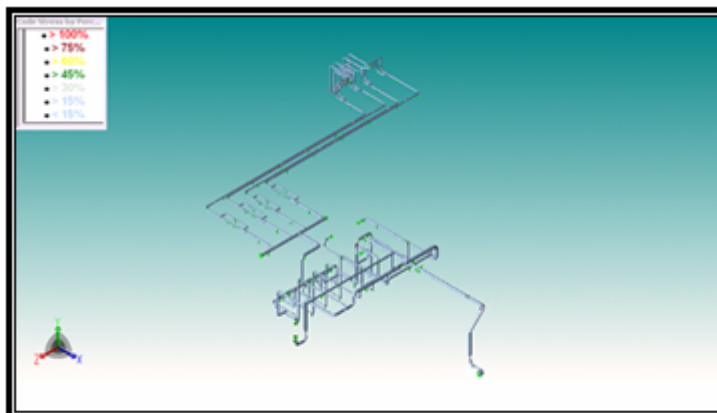


Figura 4.4 Porcentaje de Esfuerzos debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

La figura 4.5, muestra el nodo (280) que falla a causa de las expansiones térmicas ocurridas en la línea (ver Figura 4.6), el tramo de tubería donde se encuentra el nodo en cuestión, está identificado con un color rojo que representa un porcentaje de esfuerzo mayor al 100% del permisible por la norma.

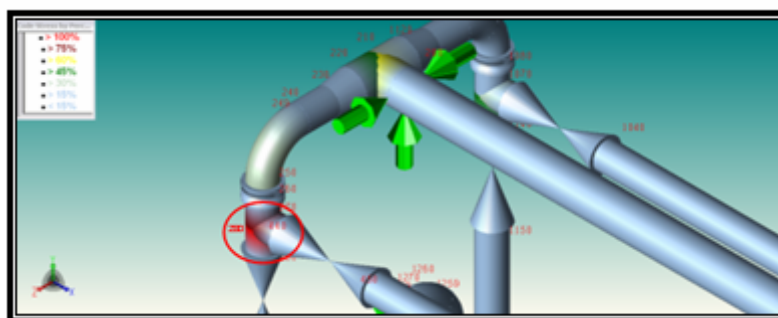


Figura 4.5 Nodo con Mayor Porcentaje de Esfuerzos Debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

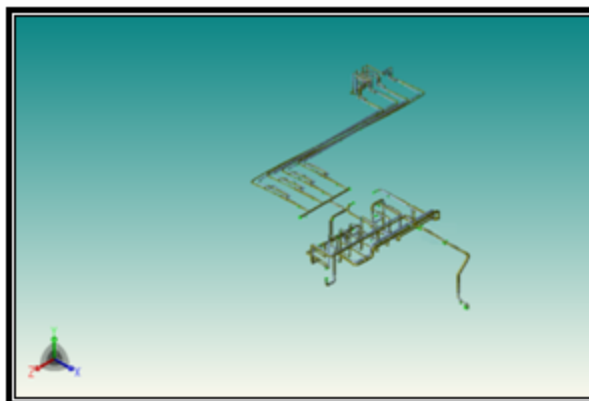


Figura 4.6 Expansiones Térmicas Ocurridas en la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

El escenario antes descrito, conlleva a realizar una propuesta de cambios, que permita mejorar la flexibilidad de las tuberías involucradas. La misma consiste en la inclusión de un lazo de expansión, que permita el alivio de las tensiones generadas, junto con una serie de soportes unidos al mismo (ver Figura 4.7).

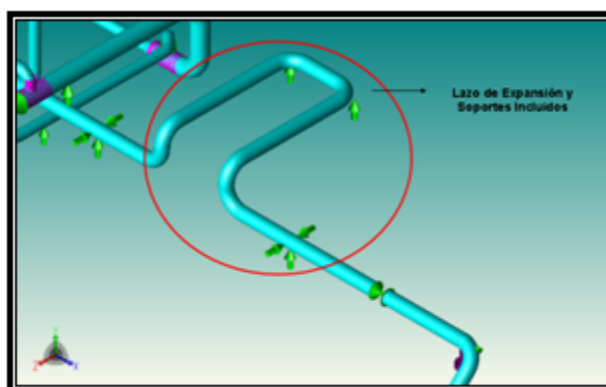


Figura 4.7 Lazo de Expansión y Soportes Incluidos en la Línea de Crudo (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



- ✓ Inicialmente se tomó el mayor desplazamiento (expansión térmica) debido a la condición más crítica, el cual se encontró en el eje longitudinal X con un valor de 1.1271 in ó 28,62 mm.
- ✓ Una vez identificado el desplazamiento, y con el diámetro nominal de la tubería del tramo, el cual es de 8,625 in o 219.08 mm. Se procedió a entrar en la Figura 2.16, donde se encontró el valor del ancho W, el cual fue de 1.26 m o 49.61 in, para realizar el lazo de expansión asimétrico (ver Figura 2.15, para observar la configuración).

La tabla 4.3 refleja como la propuesta recomendada solventa el problema de expansión térmica existente en la línea. Todos los valores arrojados se encuentran por debajo de los permisibles por la Norma ASME B31.3 [10].

Tabla 4.3 Esfuerzos por Expansiones Térmicas de la Línea de Crudo (Diseño Propuesto).

Nodo	Esfuerzos (Psia)				Porcentaje (%)
	Flexión	Torsión	Resultante	Admisible	
280	27225	-169	27227	41652	65
1675	28284	-14	28284	42366	67
3725	25661	76	25662	42792	60
1705	26717	-33	26717	47058	57
3755	21684	13	21684	47230	46
5525	26323	512	26378	43356	61
210	13906	390	13928	45048	33
850	11257	-1185	11504	46126	25

En la figura a seguir, puede notarse que el porcentaje permitido por el código, no es superado al simular el diseño propuesto.



CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

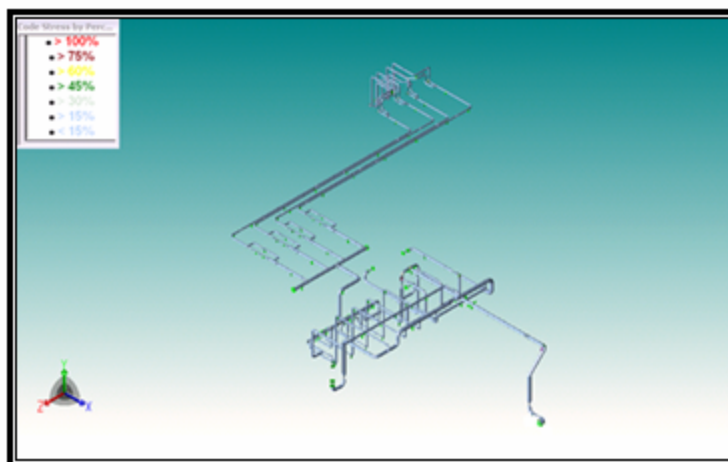


Figura 4.8 Porcentaje de Esfuerzos Debido a Expansiones Térmicas en la Línea de Crudo (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].

Siguiendo otro orden de ideas, se eligieron los soportes de resorte suspendido con carga constante y los soportes de resorte suspendido con carga variable, (ver Figuras 4.9 y 4.10) pertenecientes a la línea de crudo (diseño original), con el fin de realizar las calibraciones correspondientes a las características de los mismos, estas pueden ser visualizadas en la tabla 4.4.

Para realizar la elección de los Soportes de Resorte Suspendido adicionados a la línea de estudio, nos referimos al catálogo del fabricante AAA Technology & Specialties Co. Inc [17], (Ver Anexo H); con los resultados de las cargas instaladas, y el desplazamiento vertical de la tubería acoplada a los pases del horno. En el anexo I se encuentran detallados los valores de las cargas requeridas, para la elección de los soportes de resorte suspendido.

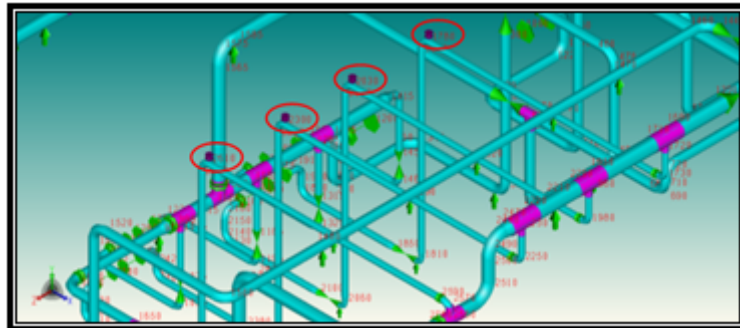


Figura 4.9 Soporte de Resorte Suspendingo con Carga Constante, Pertenecientes a la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

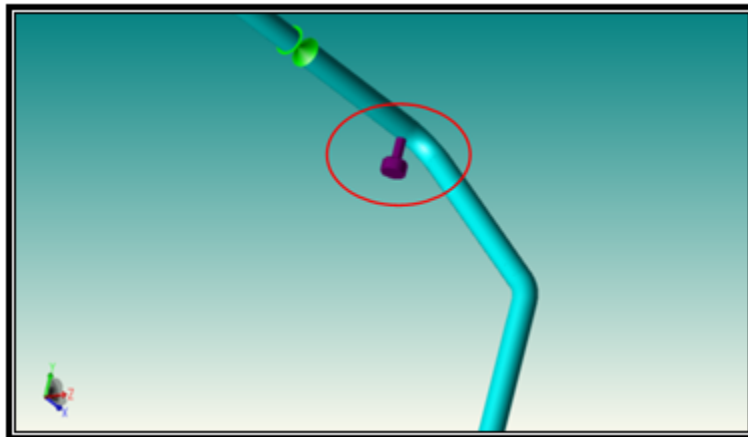


Figura 4.10 Soporte de Resorte Suspendingo con Carga Variable, Perteneciente a la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Tabla 4.4 Características de los Soportes de Resorte Suspendido con Carga Constante y Carga Variable, Pertenecientes a la Línea de Crudo (Diseño Original).

Nodo	Desplazamiento (in.)	Carga en Caliente (lb.f)	Carga Instalada (lb.f)	Tipo	Modelo
160	0.3372	216	269	5	E82-G
1780	0.1362	674	790	9	E82-E
2030	0.1632	688	811	9	E82-E
2300	0.1623	728	860	9	E82-E
2610	0.1292	843	951	10	E82-E



4.2 EQUIPOS CONECTADOS AL SISTEMA

4.2.1 Descarga de la Bomba GA-2

En la tabla 4.5, se pueden observar las cargas actuales del diseño original en la boquilla de descarga de la bomba GA-2, en ella se puede apreciar que dicha boquilla (nodo 10) falla casi en su totalidad con la excepción de la fuerza generada en el sentido negativo del eje Y, la cual arrojó un valor de 363 lbf y no excedió la fuerza admisible de la norma API 610 [11], esto es debido a que las fuerzas que se generan en este nodo son muy elevadas y provocan un movimiento rotacional en las boquillas, Las cargas resultantes en la descarga de la bomba se encuentran archivadas en un disco compacto ubicado en el anexo I.

Tabla 4.5 Cargas en la Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Original).

Bomba	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)
GA-2	10	X	1194	700	5277	-1700
		Y	-363	560	1822	-870
		Z	-3022	460	2128	-1300

Debido a la problemática presente en la boquilla de descarga de la bomba GA-2, se formuló una propuesta de mejoras, en donde se adicionan una serie de soportes a la línea de estudio, los cuales solventaron las excesivas cargas presentes en dicha



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



boquilla (ver tabla 4.6). A continuación se detallan los soportes agregados a la línea de estudio:

- ✓ Tres soportes en el nodo 30 con las siguientes direcciones: X positiva, X negativa y Y positiva.
- ✓ Un soporte en el nodo 40 con la dirección Y positiva.
- ✓ Un soporte en el nodo 160 con dirección X negativa.

Tabla 4.6 Cargas en la Boquilla de Descarga de la Bomba GA-2 (Diseño Propuesto).

Bomba	Nodo de la boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Momento (lb.ft)	Momento Permitido (lb.ft)
GA-2	10	X	334	700	59	1700
		Y	71	560	638	870
		Z	261	460	107	1300

En las figuras 4.11 y 4.12 se pueden observar tanto el diseño original como el propuesto de la descarga de la boquilla de la bomba GA-2. En el diseño propuesto, se puede apreciar los nodos de los soportes agregados al sistema de tuberías de la línea de crudo.



4.2.2 Intercambiadores EA-8A, B, C, D y los EA-11A, B, C, D, E, F.

4.2.2.1 Intercambiador EA-8A.

Tabla 4.7 Esfuerzos en la Boquilla de Salida del Intercambiador EA-8A
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
29999	Pm (SOS)	13152	20000	65.76
	Pm (SOS+OCA)	13152	24000	54.80
	Pm+P1 (SOS)	15456	30000	51.52
	Pm+P1(SOS+OCA)	17759	36000	49.33
	Pm+P1+Q (Total)	44027	60000	73.37

4.2.2.2 Intercambiador EA-8B.

Tabla 4.8 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-8B
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
11999	Pm (SOS)	13152	20000	65.76
	Pm (SOS+OCA)	13152	24000	54.80
	Pm+P1 (SOS)	15108	30000	50.36
	Pm+P1(SOS+OCA)	17065	36000	47.40
	Pm+P1+Q (Total)	29887	60000	49.81



4.2.2.3 Intercambiador EA-8C.

Tabla 4.9 Esfuerzos en la Boquilla de Salida del Intercambiador EA-8C
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
39999	Pm (SOS)	13152	20000	65.76
	Pm (SOS+OCA)	13152	24000	54.80
	Pm+P1 (SOS)	14019	30000	46.73
	Pm+P1 (SOS+OCA)	14886	36000	41.35
	Pm+P1+Q (Total)	38120	60000	65.33

4.2.2.4 Intercambiador EA-8D.

Tabla 4.10 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-8D
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
12999	Pm (SOS)	13152	20000	65.76
	Pm (SOS+OCA)	13152	24000	54.80
	Pm+P1 (SOS)	15166	30000	50.55
	Pm+P1 (SOS+OCA)	17180	36000	47.72
	Pm+P1+Q (Total)	26907	60000	44.85



4.2.2.5 Intercambiador EA-11A.

Tabla 4.11 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Izquierda del Intercambiador EA-11A (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
9999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	9003	30000	30.01
	Pm+P1 (SOS+OCA)	9328	36000	25.91
	Pm+P1+Q (Total)	18235	60000	30.39

Tabla 4.12 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Derecha del Intercambiador EA-11A (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
10999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8937	30000	29.79
	Pm+P1 (SOS+OCA)	9195	36000	25.54
	Pm+P1+Q (Total)	10337	60000	17.22



4.2.2.6 Intercambiador EA-11B.

Tabla 4.13 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Izquierda del Intercambiador EA-11B (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
3999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8701	30000	29.00
	Pm+P1 (SOS+OCA)	8723	36000	24.23
	Pm+P1+Q (Total)	9523	60000	15.87

Tabla 4.14 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Derecha del Intercambiador EA-11B (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
2999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8701	30000	29.00
	Pm+P1 (SOS+OCA)	8723	36000	24.23
	Pm+P1+Q (Total)	9523	60000	15.87



4.2.2.7 Intercambiador EA-11C.

Tabla 4.15 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Izquierda del Intercambiador EA-11C (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
1999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8816	30000	29.39
	Pm+P1 (SOS+OCA)	8954	36000	24.87
	Pm+P1+Q (Total)	10481	60000	17.46

Tabla 4.16 Esfuerzos en la Boquilla de Salida Derecha del Intercambiador EA-11C (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
4999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8944	30000	29.81
	Pm+P1 (SOS+OCA)	9208	36000	25.58
	Pm+P1+Q (Total)	12123	60000	20.21



4.2.2.8 Intercambiador EA-11D.

Tabla 4.17 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Izquierda del Intercambiador EA-11D (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
5999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8703	30000	29.01
	Pm+P1 (SOS+OCA)	8726	36000	24.24
	Pm+P1+Q (Total)	8982	60000	14.97

Tabla 4.18 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada Derecha del Intercambiador EA-11D (Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
6999	Pm (SOS)	8680	20000	43.40
	Pm (SOS+OCA)	8680	24000	36.17
	Pm+P1 (SOS)	8702	30000	29.01
	Pm+P1 (SOS+OCA)	8725	36000	24.24
	Pm+P1+Q (Total)	9553	60000	15.92



4.2.2.9 Intercambiador EA-11E.

Tabla 4.19 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-11E
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
8999	Pm (SOS)	8910	20000	44.55
	Pm (SOS+OCA)	8910	24000	37.13
	Pm+P1 (SOS)	9300	30000	31.00
	Pm+P1 (SOS+OCA)	9692	36000	26.92
	Pm+P1+Q (Total)	21012	60000	35.02

4.2.2.10 Intercambiador EA-11F.

Tabla 4.20 Esfuerzos en la Boquilla de Entrada del Intercambiador EA-11F
(Diseño Original).

Nodo	Esfuerzos Debido a:	Esfuerzo Máximo (lbf/in ²)	Esfuerzo Permitido (lbf/in ²)	Porcentaje (%)
7999	Pm (SOS)	8910	20000	44.55
	Pm (SOS+OCA)	8910	24000	37.13
	Pm+P1 (SOS)	9725	30000	32.42
	Pm+P1 (SOS+OCA)	10540	36000	29.28
	Pm+P1+Q (Total)	22207	60000	37.01



CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Como se puede observar en las tablas (4.7 - 4.20), los esfuerzos pertenecientes al diseño original, generados por las cargas en las boquillas de los intercambiadores de calor, cumplen con los límites matemáticos establecidos en el boletín WRC-107 [13], al no exceder valores admisibles establecidos en el mismo. Debido a esta razón no es necesario realizar modificación alguna al sistema de tuberías de la línea en cuestión. Los resultados de las cargas obtenidas, durante la realización del estudio de flexibilidad en las boquillas de los intercambiadores de calor, por ser tan extensos se encuentran reportados en un CD compacto, localizado en el anexo I.

Las boquillas de los intercambiadores de calor del diseño original de la Línea de Crudo de la Unidad DA-1 pueden ser observadas en la Figura 4.13.

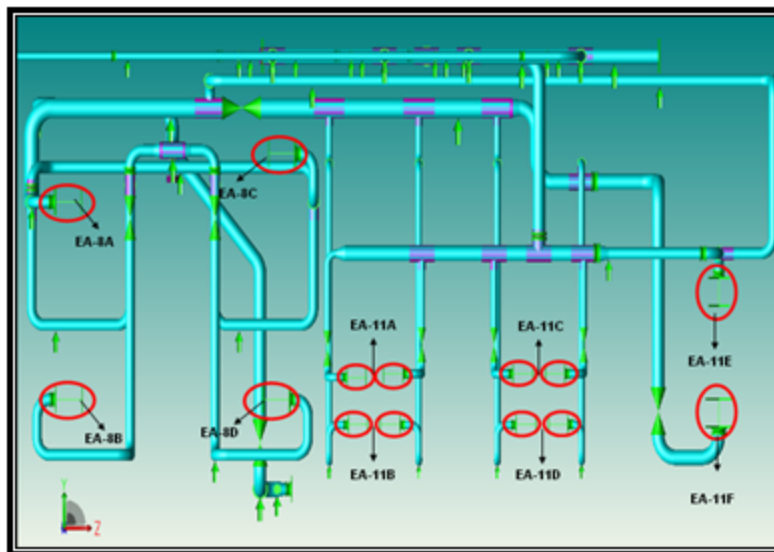


Figura 4.13 Boquillas de los Intercambiadores de Calor del Sistema de Tuberías de la Línea de Crudo (Diseño Original), Fuente [CAESAR].



4.2.3 Pases de Entrada al Horno BA-1

4.2.3.1 Pase N°1 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.21 Cargas en la Boquilla N°1 (Pase N°1) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°1	2495	X	37	200	18.50	-94.40	600	15.73
		Y	38	400	9.50	383	450	85.11
		Z	369	400	92.25	-368.20	450	81.82

4.2.3.2 Pase N°4 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.22 Cargas en la Boquilla N°4 (Pase N°4) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°4	3695	X	34	200	17	-9.90	600	1.65
		Y	19	400	4.75	411.50	450	91.44
		Z	363	400	90.75	-374.40	450	83.20



4.2.3.3 Pase N°5 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.23 Cargas en la Boquilla N°5 (Pase N°5) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento	Pctj. (%)
				Permitida (lbf)			Permitido (lbf.ft)	
N°5	5715	X	53	200	26.50	198	600	33
		Y	10	400	2.50	323	450	71.78
		Z	364	400	91	-361	450	80.22

4.2.3.4 Pase N°8 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.24 Cargas en la Boquilla N°8 (Pase N°8) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento	Pctj. (%)
				Permitida (lbf)			Permitido (lbf.ft)	
N°8	4775	X	47	200	23.50	195.70	600	32.62
		Y	27	400	6.75	332.40	450	73.87
		Z	359	400	89.75	-407.70	450	90.60



Las cargas en las boquillas de los pases N^o 1, 4, 5 y 8, de entrada al horno BA-1, correspondientes al diseño original del sistema de tuberías de la línea de crudo mostradas en las tablas (4.21 - 4.24), arrojó una serie de resultados (reportados en el anexo I), los cuales cumplen con el requerimiento establecido en la norma API 560 [12], al no exceder los valores admisibles que se encuentran en la misma.

Por dicha razón, no fue necesario realizar ninguna modificación en el sistema de tuberías de la línea de crudo. En la figura 4.14, pueden observarse los pases del horno BA-1 previamente analizados.

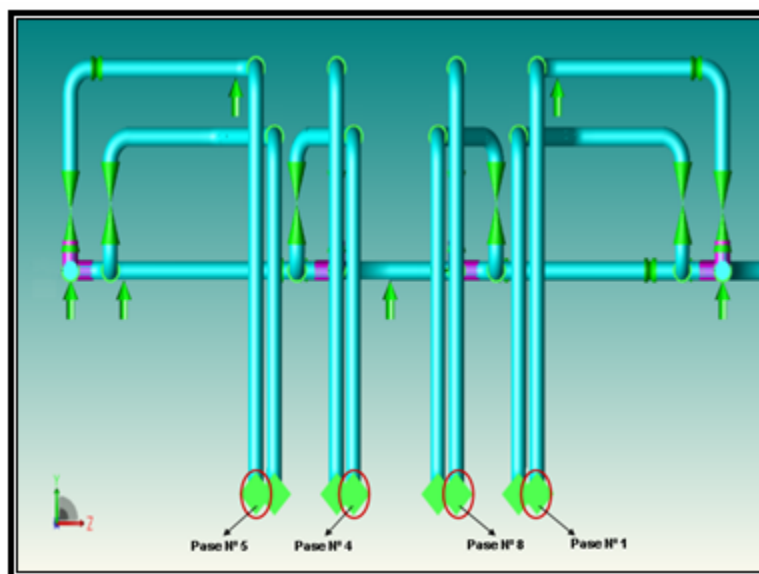


Figura 4.14 Boquillas o Pases N^o 1, 4, 5 y 8, del Horno BA-1, (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

4.2.3.5 Pase N^o 2 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.25 Cargas en la Boquilla N^o 2 (Pase N^o 2) del Horno BA-1 (Diseño Original).



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°2	2755	X	-10	200	5	-63.40	600	10.57
		Y	70	400	17	599.10	450	133.13
		Z	352	400	88	-567	450	126

4.2.3.6 Pase N°3 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.26 Cargas en la Boquilla N°3 (Pase N°3) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°3	3515	X	-12	200	6	122.90	600	20.48
		Y	69	400	17.25	650.50	450	144.56
		Z	340	400	85	-544.50	450	121

4.2.3.7 Pase N°6 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.27 Cargas en la Boquilla N°6 (Pase N°6) del Horno BA-1 (Diseño Original).



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°6	5495	X	-32	200	16	487.40	600	81.23
		Y	57	400	14.25	703.70	450	156.38
		Z	336	400	84.00	-438.30	450	97.40

4.2.3.8 Pase N°7 Horno BA-1 (Diseño Original)

Tabla 4.28 Cargas en la Boquilla N°7 (Pase N°7) del Horno BA-1 (Diseño Original).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°7	5005	X	-24	200	12	376.40	600	62.73
		Y	54	400	13.50	652.20	450	144.93
		Z	323	400	80.75	-487.10	450	108.24

En las tablas (4.25 – 4.28), pertenecientes a las cargas en las boquillas de los pases N° 2, 3, 6 y 7 (ver figura 4.15) del horno BA-1, es claro observar las fallas presentes en dichos pases, al encontrarse en ellos, valores de momento que exceden los límites matemáticos establecidos en la norma API 560. En el caso de los pases N° 2, 3 y 7,



los altos momentos encontrados, se produjeron en las direcciones de los ejes tanto Y como Z, a diferencia del pase N° 6, el cual falló solamente en la dirección del eje Y; sin embargo el valor del momento en el eje Z en este pase, estuvo a tan solo 2,61 % de superar el valor permitido por el código. Esto se produce principalmente por la falta de soportes, que contrarresten los grandes esfuerzos generados en la línea debido a las cargas sostenidas (producto de la presión interna y el peso de la tubería) y a las expansiones térmicas (producto de la temperatura). Ver anexo I, para observar el análisis completo.

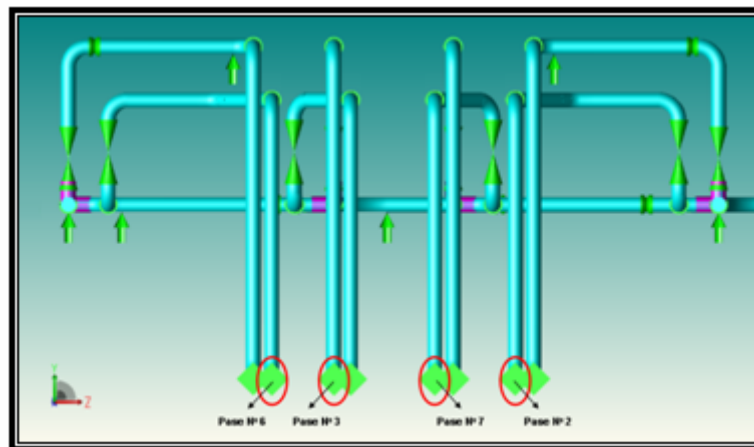


Figura 4.15 Boquillas o Pases N°2, 3, 6 y 7, del Horno BA-1, (Diseño Original), Fuente [CAESAR].

Tal situación, nos permite afirmar que debe ser realizada una propuesta de mejoras, para solventar los problemas antes descritos en los pases del horno BA-1. Una propuesta, que se encuentra dentro de los márgenes respecto al cumplimiento de los códigos y normas de diseño de ingeniería, es que el sistema de tuberías sea modificado agregando ocho soportes al sistema de la línea de crudo, con las siguientes características:



- ✓ Cuatro soportes en el sentido positivo del eje Z declarados en los nodos 2305, 3545, 4625 y 5525, a razón de disminuir las altas fuerzas productos de las cargas sostenidas en la línea. Los mismos pueden ser observados en las Figuras 4.16, 4.17, y 4.18.

- ✓ Cuatro soportes de resorte suspendido con carga variable, que disminuyan las cargas debido a expansiones térmicas, los cuales se localizaron en los nodos 2655, 3415, 4905 y 5395. (Ver Figura 4.19, para observar la ubicación de los mismos).

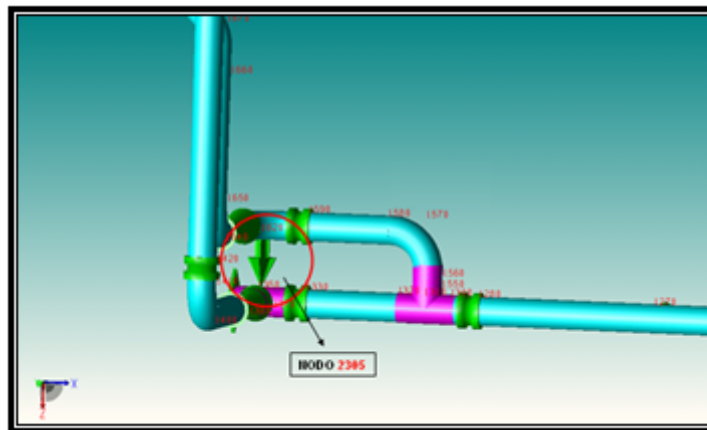


Figura 4.16 Soporte Tipo Z Positivo, Agregado a la Línea (Nodo 2305), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].

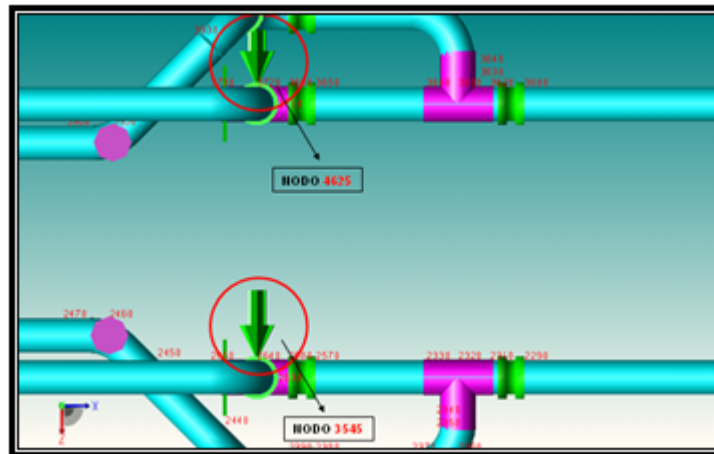


Figura 4.17 Soportes Tipo Z Positivo, Agregados a la Línea (Nodos 3545 y 4525), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].

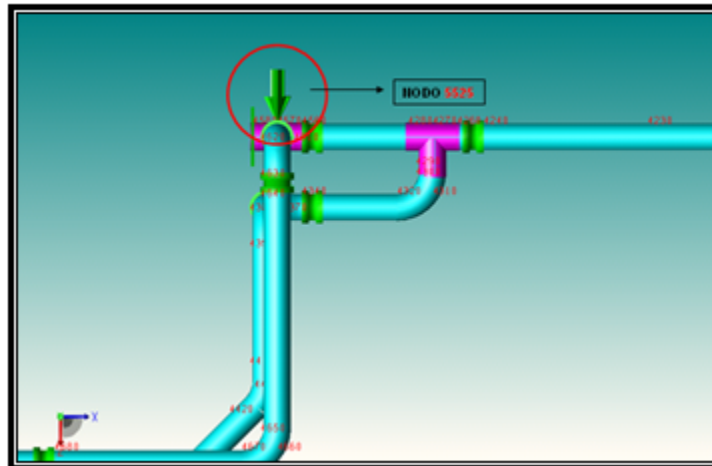


Figura 4.18 Soporte Tipo Z Positivo, Agregado a la Línea (Nodo 2305), (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

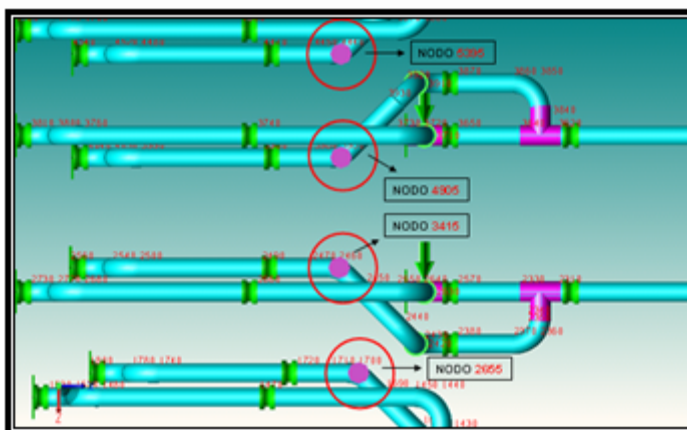


Figura 4.19 Soportes de Resorte Suspendingo con Carga Variable, Agregados a la Línea, (Diseño Propuesto), Fuente [CAESAR].

En la tabla 4.29 se pueden observar las características de los mismos, obtenidas de igual manera con la que fueron elegidos los Soportes de Resortes Suspendingos pertenecientes al diseño propuesto del sistema.

Tabla 4.29 Características de los Soportes de Resorte Suspendingo con Carga Variable, Adicionados a la Línea (Diseño Propuesto).

Nodo	Desplazamiento (in.)	Carga en Caliente (lb.f)	Carga Instalada (lb.f)	Tipo	Modelo
2655	0.1362	236	252	5	E82-F
3415	0.1632	589	626	8	E82-F
4905	0.1623	583	620	8	E82-F
5395	0.1292	266	292	5	E82-F

4.2.3.9 Pase N°2 Horno BA-1 (Diseño Propuesto)

Tabla 4.30 Cargas en la Boquilla N°2 (Pase N°2) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°2	2755	X	-29	200	14.50	-577.30	600	96.22
		Y	-5	400	1.25	322.70	450	71.71
		Z	196	400	49	-266.80	450	59.29

4.2.3.10 Pase N°3 Horno BA-1 (Diseño Propuesto)

Tabla 4.31 Cargas en la Boquilla N°3 (Pase N°3) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°3	3515	X	-36	200	18	-412.70	600	68.78
		Y	-37	400	9.25	201.20	450	44.71
		Z	28	400	7	-109.10	450	24.24

4.2.3.11 Pase N°6 Horno BA-1 (Diseño Propuesto)

Tabla 4.32 Cargas en la Boquilla N°6 (Pase N°6) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°6	5495	X	-22	200	11	87.10	600	14.52
		Y	-80	400	20	189.90	450	42.20
		Z	157	400	39.25	136.90	450	30.42

4.2.3.12 Pase N°7 Horno BA-1 (Diseño Propuesto)

Tabla 4.33 Cargas en la Boquilla N°7 (Pase N°7) del Horno BA-1 (Diseño Propuesto).

Pase	Nodo de la Boquilla	Dirección	Fuerza (lbf)	Fuerza Permitida (lbf)	Pctj. (%)	Momento (lbf.ft)	Momento Permitido (lbf.ft)	Pctj. (%)
N°7	5005	X	-25	200	12.50	61	600	10.17
		Y	-54	400	13.50	175.50	450	39
		Z	44	400	11	2.90	450	0.64

Las tablas (4-30 – 4.33), muestran como la formulación de la propuesta planteada, reduce los excesivos valores de momentos que se generaban en los pases involucrados. Pudiéndose de esta manera afianzar que el diseño propuesto, de los pases del horno BA-1 se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por el código.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En función a los resultados obtenidos durante la realización del Análisis Estático de Flexibilidad de la Línea de Crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz, se puede concluir que:

- ✓ Dicho análisis, fue determinante para verificar que existen problemas en las tuberías del sistema involucrado.
- ✓ Se obtuvieron valores de esfuerzo y carga, dentro y fuera de los límites matemáticos establecidos en los códigos ASME B31.3, API 610, API 560 y WRC 107, debido a las condiciones extremas de trabajo del sistema de tuberías.
- ✓ En vista de que la línea de crudo presentó problemas de flexibilidad originados por elevadas expansiones térmicas, se utilizó un lazo de expansión que solventara dicha situación.
- ✓ Las cargas en la boquilla de descarga de la bomba GA-2, exceden los valores admisibles establecidos en la norma API 610, esto se debe principalmente a la falta de soportes que sean capaces de resistir el peso de los accesorios conectados a dicha descarga.
- ✓ Las boquillas de los intercambiadores de calor no presentaron inconvenientes, ya que las tuberías conectadas a estos equipos están diseñadas para ser lo



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



suficientemente flexible, soportando los esfuerzos y cargas generadas en las boquillas antes mencionadas, cumpliendo así con los límites admisibles establecidos en la norma.

- ✓ Las fallas presentes en los pases del horno BA-1 con respecto a las exigencias descritas en la norma API 560, son originadas por la falta de soportes tipo durmientes y de resorte suspendido, que disminuyan las cargas debido a presión y peso, y las cargas ocasionadas por expansiones térmicas.

- ✓ El análisis estático de flexibilidad del modelo propuesto, corroboró que el mismo, satisface los requerimientos establecidos por las normas que rigen al sistema estudiado.



RECOMENDACIONES

Del análisis de los resultados de este estudio, se deduce que la situación del sistema de tuberías de crudo incrementa los costos de producción, además genera un riesgo a la salud, seguridad y al ambiente. Tal motivo conllevó a generar las siguientes recomendaciones:

- ✓ Generar la ingeniería de detalle para la implementación de la propuesta planteada.
- ✓ Agregar al sistema de la línea de crudo, el lazo de expansión térmica, siguiendo cautelosamente las especificaciones descritas en el diseño propuesto.
- ✓ Realizar la inspección y avalúo de las condiciones actuales de los soportes de resorte suspendido instalados actualmente a la línea de crudo, para una posterior calibración, con las cargas en caliente y las cargas instaladas planteadas.
- ✓ Añadir los soportes planteados que solventan la problemática de la descarga de la bomba GA-2, encontrada en el diseño original.
- ✓ A pesar de que las boquillas de los intercambiadores de calor no presentaron cargas excesivas respecto a las especificaciones normadas, se recomienda realizar una inspección de rutina, que permitan identificar el buen o mal estado de las boquillas en cuestión.



CAPÍTULO V **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



- ✓ Adicionar los soportes de resorte suspendido y los soportes descritos, que solucionan los problemas de flexibilidad en las boquillas o pases de entrada al horno BA-1.

- ✓ Se debe efectuar un plan de mantenimiento, en el que se incluya una inspección periódica de las condiciones de la red tuberías de crudo de la unidad, con el objetivo de verificar el estado de los soportes, ya que los mismos influyen en gran medida sobre la flexibilidad del sistema en estudio.

- ✓ En vista de que el sistema de la línea de crudo se encuentra conectado a equipos sometidos a cargas de viento, sismo, entre otras, tales como equipos rotativos, hornos, etc., debe ser planteado un análisis dinámico de flexibilidad, que genere las respuestas ante ese tipo de cargas.

Luego de las recomendaciones anteriores, es necesario tener en cuenta que al momento de la implementación de las mejoras formuladas en este trabajo, la misma debe ser realizada siguiendo exhaustivamente las geometrías dispuestas en el diseño propuesto, colocando los soportes en el lugar que se indican. Cualquier cambio por insignificante que parezca, puede generar esfuerzos que sobrepasen los límites permisibles por las normas ASME B31.3, API 610, API 560 y WRC 107.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cabello, J. **“Diagrama de Proceso de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1”**, Puerto La Cruz, Venezuela (2006).
- [2] Corrales, J. y Neptune, J. **“Estudio dinámico de flexibilidad del sistema de bombeo de residual de la Refinería Puerto la cruz”**. Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UDO, Puerto la Cruz, Venezuela (2001).
- [3] Bastardo, F. y Valdivia, P. **“Mejoras al Sistema de Retiro y Condensado e Ingeniería Básica para el Diseño del Sistema de Recolección y Retorno de Condensado de DA-1 hacia Servicios Industriales”**. Tesis de Grado, Coordinación Docente de Ingeniería Mecánica, USB, Venezuela (2005).
- [4] Molero, Y. **“Análisis de Flexibilidad en las líneas de Succión y Descarga de las bombas GA-15-10 Y GA-7-10 de la casa de bombas en la Refinería de Puerto La Cruz”**. Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UNEFA, Puerto Cabello, Mayo (2004).
- [5] Armas, R. **“Análisis Estático de Flexibilidad de Los Cabezales de Vapor de la Unidad DA-1 de la Refinería PLC”**. Tesis de Grado, Coordinación Docente de Ingeniería Mecánica, USB, Sartenejas, Abril (2007).
- [6] Universidad Pedagógica Experimental Libertador, **“Normas para la Elaboración y Presentación de los Trabajos de Grado y de Especialización, Mestrías y Tesis Doctorales”**, Caracas, Venezuela (1998).



- [7] Hernández, H. **“Metodología de la Investigación”**, McGraw-Hill, México D.F., México (2004).
- [8] Balestrini, M. **“Estudios Documentales y Teóricos, Análisis de Discurso y las Historias de Vida”**, Servicio Editorial BL, Consultores Asociados, Caracas, Venezuela (1997).
- [9] Representaciones CAESAR, **“Curso de Análisis de Esfuerzo en Tuberías”**, Dictado por Ing. Reynaldo Pinto, Refinería Puerto La Cruz, Noviembre (2000).
- [10] Código ASME, **“ASME B31.3 Tuberías Para Procesos Químicos y Refinerías de Petróleo (Chemical Plant Petroleum Refinery Piping)”**, USA (1993).
- [11] American Petroleum Institute, **“Standard API 610 Centrifugal Pumps”**, USA (1995).
- [12] American Petroleum Institute, **“Standard API 560 Fired Heaters for General Refinery Service”**, USA (2001).
- [13] Welding Research Council, Bulletin, **“WRC 107 Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loading”**, USA (1995).
- [14] PDVSA, **“Norma PDVSA H-221 Materiales para Tuberías”**, Venezuela (1992).



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



[15]

PDVSA, **“Manual de Operaciones de Proceso de Plantas de PDVSA”**, Venezuela (2004).

[16] SPIRAX SARCO, **“Design Fluid System (Steam Utilization)”**, USA (2004).

[17] AAA Technology & Specialties Co., Inc., **“Spring Hangers Catalogue”**, USA (2002).

[18] COADE, Engineering Software **“CAESAR II V4.5 Technical Reference Manual”**, USA (2005).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	“ANÁLISIS ESTÁTICO DE FLEXIBILIDAD DE LA LÍNEA DE CRUDO DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
URRIETA A. CHRISTIAN J.	CVLAC: 17.008.110 E MAIL: christianurrieta6@hotmail.com E MAIL: christianurrieta@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Análisis de esfuerzos en tuberías

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
MECÁNICA	SÓLIDOS

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo de grado se realizó un Análisis Estático de Flexibilidad de la Línea de Crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz, empleando el software de flexibilidad en tuberías CAESAR. Se analizaron los esfuerzos en el sistema, producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas, además se compararon las cargas en las boquillas de los diferentes equipos conectados a la línea, con su norma correspondiente. Se encontraron diferencias entre los isométricos de la empresa con respecto a las características actuales que posee la línea de crudo en planta. Los esfuerzos de las tuberías se compararon con los permisibles por la norma ASME B31.3, las cargas en la boquilla de la bomba se compararon con las fundamentadas por la API 610, las de los intercambiadores con la WRC 107 y por último las cargas en las boquillas o pases del horno con la API 560. Los esfuerzos obtenidos en el sistema de la línea de crudo sobrepasan a los permisibles por el código. Se observó que tanto la boquilla de la bomba como las boquillas del horno, superan las cargas admisibles por las normas que los rigen. Caso contrario al que sucede con las cargas en las boquillas de los intercambiadores de calor. Debido a esto se realizaron propuestas de mejoras en el sistema de tuberías, en donde se propone cambiar el ruteo de la línea, agregando un lazo de expansión y añadir y/o reemplazar distintos soportes al sistema. Una vez aplicadas las propuestas planteadas, se realizó un análisis estático de flexibilidad al modelo recomendado, en el cual se comprobó, que el mismo se encuentra dentro de las cargas permisibles y los límites de esfuerzos establecidos en las normas o códigos que rigen a dicho sistema.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	X TU	JU
CARLOS GOMES	CVLAC:	10.305.208			
	E_MAIL	carlos.j.gomes@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	X TU	JU
HECTOR PERNÍA	CVLAC:	15.457.160			
	E_MAIL	perniahs@pdvsa.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	X JU
CARMEN GARCÍA	CVLAC:	3.792.282			
	E_MAIL	carmencitakey@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	X JU
FRANCISCO GARCÍA	CVLAC:	5.188.071			
	E_MAIL	garciacova@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	X JU

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009 AÑO	01 MES	19 DÍA
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.CHRISTIANU.doc	application/msword

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

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO _____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PRE-GRADO _____

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA _____

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOATEGUI _____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

" Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo Participará al Consejo Universitario".

CHRISTIAN J., URRIETA A.

AUTOR

CARLOS GÓMES

TUTOR

CARMEN GARCÍA

JURADO

FRANCISCO GARCÍA

JURADO

COORDINADOR DE SUB-COMISIÓN DE TESIS

DELIA DE VILLARROEL