UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE

ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE AGUA EN TUBERÍAS INCORPORANDO EL FENÓMENO DE FLASHING MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA

PAULO SALGADO ALVAREZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : DR.-ING. MIRIAM ROTH
PROFESOR CORREFERENTE : DR.-ING. JOAQUIN MURA

NOVIEMBRE 2020

Agradecimientos

Primero que todo, dar las gracias a mi familia, si bien somos pocos, cada uno siempre me dio su apoyo y preocupación para lograr este objetivo, a mi mama; Maruja siempre valoro todos tus consejos y apoyo, a mis hermanos; Victor y Mauri, agradezco su preocupación, a mi polola; Gianni estuviste en la última parte del proceso pero siempre me diste ánimos para poder terminar mi carrera, un pilar fundamental.

Dar las gracias a la Universidad, por entregarme una formación acádemica, y tantos recuerdos, buenos y malos pero siempre se rescata lo mejor. A los profesores con los que tuve oportunidad de aprender y compartir buenos momentos, mención especial para la Profesora Miriam, gracias por aceptarme como alumno memorista luego de cambiar una tésis y estar complicado con la elección de un tema, mencionar a profesores y funcionarios; Luis Guzmán, Mauricio Osses, Sheila Lascano, Danilo Estay, Claudio Aravena, Jaime Nuñez (ambos), Exzequiel Catalán, Luis Rosales, Don Lorenzo, Lisette Cerda, Profe Tamara, Profe Carolina, Italo, y perdón si se me queda alguno.

Importante, agradecer a mis amigos, los que forme lazos en la universidad, y los que me conocen de hace casi 15 años tambíen, se merecen su mención; Nicolás Morales, Cristobal Cortés, álvaro Valenzuela, Raymundo Valverde, Felipe Benítez, Pablo Paredes, Carlos Chacón, Camila Olmedo, Ricardo Guzmán, Ismael Alfaro, Claudio Donoso, Gonzalo Serrano, Rodrigo Cortés.

Último, pero no menor, agradecer a Golder, empresa en la cuál trabajé, y que me permitieron desarrollar mi memoria con todas las facilidades, gracias a todos mis amigos que conocí, en especial a Gabriela Quezada y Sebastián Cantarelli, los cuales continuamente me enseñaron y ayudaron a desarrollar este tema de memoria. Mencionar también a Pedro Desriviers, Rodrigo Ampuero, Danilo Muñoz, Alonso Barrera, Carla Guzmán, Ignacio Araya, José Ramírez, Julio Fernández y Dominiquiella Larrosa.

Resumen

El presente trabajo consiste en el estudio del impacto de un fenómeno denominado flashing sobre un análisis de flexibilidad en un sistema de transporte de agua.

Para este estudio, se analizó la sensibilidad del análisis al incluir el fenómeno de flashing durante la simulación numérica del sistema, con el objetivo de determinar el grado de correlación entre el flashing y los esfuerzos y cargas resultantes de la línea de piping aguas abajo. El análisis se guío por los lineamientos del estándar ASME B 31.3 para analizar los esfuerzos producidos por cargas sostenidas y expansiones térmicas.

El procedimiento consistió primeramente en el estudio del fenómeno de flashing y su comportamiento dentro de un sistema de transporte de agua, específicamente aguas abajo de una válvula de control. Para esto, se investigó acerca de modelos existentes para la predicción y caracterización del fenómeno y se utilizaron datos e información experimental de trabajos existentes relacionados al tema.

Posteriormente, se definieron diferentes calidades de vapor a analizar, luego se determinó el cambio de velocidad y las fuerzas generadas por este fenónemo en los cambios de dirección. Se llevo toda esta información hacia el modelo numérico realizado a través del software CAESAR II, para estudiar la influencia del fenómeno sobre el sistema, el cuál se modeló como fuerza actuando en los cambios de dirección, con esto se analizaron los diversos casos de carga y su efecto en todo el sistema aguas abajo.

Finalmente se analizó la relación entre las cargas provenientes del flashing con los esfuerzos y cargas resultantes del análisis, a través de tablas y gráficos para su entendimiento. Pudiendo así concluir de forma clara y precisa que para efectos flexibilidad en este sistema, el fenómeno genera un incremento en las fuerzas y esfuerzos del sistema Por lo cual, para este estudio particular es importante tener en cuenta el flashing.

Abstract

The present work consists in the impact study of a phenomenon called flashing on an stress analysis in a water transport system.

In this study, the sensitivity of the analysis was analyzed by including the flashing phenomenon during the numerical simulation of the system, in order to determine the correlation degree between the phenomenon and the resulting loads and stresses within the downstream piping line. the analysis was guided by ASME B31.3 standard guidelines to analyze the stresses generated by sustained loads and thermal expansions.

The procedure consisted primarily on the study of the behavior of flashing phenomenon in a piping system, specifically downstream of a control valve. For this, an investigation of the prediction and characterization phenomenon models was realized, data and experimental information of existing works and papers was also used.

Later different vapor fraction were defined, then the change in speed and the forces generated by this phenomenon in the changes of direction were determined. All this data was incorporated to the numerical model made through CAESAR II software, to study the influence of the phenomenon in pipe system. Where phenomenon was modeled as force pair acting on each direction changes, with this the various load cases and their effect on the entire downstream system were analyzed.

Finally, the correlation between the flashing forces and resulting stresses and loads from the analysis was analyzed through tables and graphs for their understanding. Thus being able to conclude clearly and precisely that for stress analysis in this system, the phenomenon does not generate a high force or significant variations, therefore, for this particular study, the phenomenon does not have a major influence on the results.

Glosario

Flashing

Lista de abreviaturas		
p	Presión	$[Pa]$
$\dot{q}$	Flujo de Calor	$[J/s]$
α	Coeficiente de dilatación térmica	$[1/°\text{C}]$
ΔT	Diferente de temperatura	[°C]
$\dot{m}$	Flujo Másico	$[kg/s]$
ρ	Densidad	$[kg/m^3]$
x	Calidad de vapor	[-]
h	Entalpía	$[J/kg]$
L	Largo Tubería	$[m]$
D	Diámetro Tubería	$[m]$
A	Área transversal tubería	$[m^2]$
σ	Razón entre áreas	[-]
W	Velocidad	$[m/s]$
z	Dirección axial a tubería	$[m]$
τ	Esfuerzo de corte en pared	$[Pa]$
φ	Perímetros	$[m]$
g	Aceleración de gravedad	$[m/s^2]$
ν	Volumen especifico	$[m^3/kg]$
y	Indice de valorización	[-]
s	Entropía	$[J/kgK]$
z	Altura geométrica	$[m]$

Flexibilidad

Lista de abreviaturas		
ASME	American Society of Mechanical Engineers	
E	Modulo de elasticidad	$[MPa]$
S	Esfuerzo	$[kPa]$
L	Longitud tubería	$[m]$
U	Distancia entre anclajes	$[m]$
F	Fuerza	$[N]$
M	Momento	$[Nm]$
i	Factor de intensificación de esfuerzos	[-]
Z	Módulo de sección tubería	$[mm^3]$
P	Presión	$[mPa]$
e	Espesor tubería	$[mm]$
d	Diámetro tubería	$[mm]$
A	Área transversal tubería	$[m^2]$
I	Inercia	$[mm^4]$
a	Distancia al punto de interés	$[mm]$
r	Radio tubería	$[mm]$
V	Fuerza cortante	$[N]$
τ	Esfuerzo de corte	$[Pa]$
Q	Factor de forma cortante	[-]
DN	Diámetro nominal	$[mm]$
α	Coeficiente de dilatación térmica	$[1/°\mathrm{C}]$
ΔT	Diferencial de temperatura	$[°\mathrm{C}]$
ξ	Razón de amortiguamiento	[-]
g	Aceleración de gravedad	$[m/s^2]$

Índice general

1. Introducción 1
   1.1. Objetivo general 2
   1.2. Objetivos específicos 2

2. Estado del arte 3
   2.1. Fenómeno Flashing 3
      2.1.1. Modelos de Caracterización 11
   2.2. Análisis de Flexibilidad 19
      2.2.1. Codigo de Diseño ASME B31.3 20
      2.2.2. Tipos de Cargas 23
      2.2.3. Tipos de Esfuerzos en Tuberías 24
      2.2.4. Teorías de Falla 31
      2.2.5. Categorización de Tuberias 33
      2.2.6. Soportes para Tuberías 36
      2.2.7. Factores que afectan la Flexibilidad 41

3. Metodolgía 49
   3.1. Sistema de Transporte de Agua 49
      3.1.1. Elementos del Sistema 51
      3.1.2. Datos Experimentales 51
   3.2. CAESAR II 52
      3.2.1. Descripción 52
      3.2.2. Simulación Numérica 54

4. Resultados 70
   4.1. Cargas 70
      4.1.1. Operación Normal 71
      4.1.2. Operación con Flashing 71
      4.1.3. Variación Cargas 71
   4.2. Verificación de Esfuerzos 73
      4.2.1. Operación Normal 73
      4.2.2. Operación con Flashing 73

4.2.3. Variación Esfuerzos 74

5. Conclusiones y recomendaciones 76
5.1. Conclusiones 76
5.2. Recomendaciones 77

Bibliografía 78

A. Reporte de Cargas 83

B. Reporte de Esfuerzos Sostenidos 84

C. Reporte de Esfuerzos Térmicos 85

D. Reporte de Esfuerzos Ocasionales 86

Índice de figuras

2.1. Etapas descriptivas del flashing. 4
2.2. Relación entre el flujo másico y la presión aguas abajo en el desarrollo de flashing. 12
2.3. Esquema referencial de flashing a través de una línea de descarga. . 12
2.4. Flujo unidimensional. 14
2.5. Esfuerzo longitudinal causado por fuerza axial. 25
2.6. Esfuerzo longitudinal por presión interna. 26
2.7. Variación del esfuerzo flector en la sección transversal. 27
2.8. Esfuerzo circunferencial en una tubería. 28
2.9. Esfuerzo radial en una tubería. 29
2.10. Esfuerzo de corte provocado por fuerzas de corte. 30
2.11. Esfuerzo de corte provocado por cargas torsionales. 31
2.12. Categorización de tuberías. 34
2.13. Machones de anclaje para líneas de relave. 37
2.14. Esquema apoyo simple para tuberías. 37
2.15. Soporte tipo apoyo simple en una tubería de relaves. 38
2.16. Esquema soporte tipo guía. 38
2.17. Soporte guía en una tubería de relaves. 39
2.18. Esquema soporte tipo line stop. 39
2.19. Soporte tipo stop en una tubería de relaves. 40
2.20. Esquema soporte colgante típico. 40
2.21. Soporte colgantes en tuberías de agua de incendio. 41
2.22. Esquema de una junta de expansión metálica. 42
2.23. Línea con lazo de expansión. 43
2.24. Extracto de norma NCh2369 con zonas sísmicas según lugar geográfico. 44
2.25. Extracto de norma NCh2369 con aceleraciones según zonas sísmicas. 45
2.26. Extracto norma NCh 2369 para razón de amortiguamiento. 45
2.27. Extracto norma NCh 2369 para factor de modificación de respuesta. 46
2.28. Extracto norma NCh 2369 para factor de importancia 46
2.29. Proyección de fuerzas transientes sobre cambios de dirección 47

2.30. Velocidades de fluido según calidad de vapor. 48

3.1. Fotografía de la disposición del banco de tubos utilizado para el análisis. 49
3.2. Esquema de referencia utilizado para estudio del flashing. 52
3.3. DCL del sistema para cálculo de fuerzas. 55
3.4. Velocidades según calidades definidas. 56
3.5. Fuerzas según calidades definidas. 57
3.6. Temperatura ambiente definida en CAESAR II. 58
3.7. Componentes sísmicas definidas en CAESAR II. 59
3.8. Parámetros operacionales definidos en CAESAR II 59
3.9. Modelación de Bombas en CAESAR II. 60
3.10. Modelación de codo en CAESAR II. 61
3.11. Modelación de copla en CAESAR II. 61
3.12. Modelación de reducción en CAESAR II. 62
3.13. Modelación de tee en CAESAR II. 62
3.14. Modelación de válvulas en CAESAR II. 63
3.15. Modelación de soportes en CAESAR II. 63
3.16. Modelación de fuerza transiente por Flashing CAESAR II. 64
3.17. Modelo en CAESAR II del sistema piping. 64

4.1. Fuerzas resultantes en codo según calidad de vapor. 71
4.2. Gráfico comparativo de fuerzas. 72
4.3. Variación porcentual de fuerzas según calidad de vapor. 72
4.4. Efuerzos resultantes en codo según calidad de vapor. 74
4.5. Gráfico comparativo de esfuerzos. 74
4.6. Variación porcentual de esfuerzos según calidad de vapor. 75

Ińdice de tablas

2.1. Modelos CFD que consideran el proceso de nucleación 6
2.2. Modelos CFD que desprecian el proceso de nucleación 9

3.1. Datos de los elementos del sistema de piping. 51
3.2. Condiciones y casos de operación según mediciones de Abuaf [15]. . . 52
3.3. Casos de carga Operación Normal. 67
3.4. Casos de carga Operación con Flashing. 68

4.1. Caso de carga sostenido en operación normal. 71
4.2. Caso de carga sostenido en operacción con Flashing. 71
4.3. Caso de carga para verificación de esfuerzo sostenido 73
4.4. Caso de carga para verificación de esfuerzo sostenido 73

Capítulo 1

Introducción

Los sistemas de piping son esenciales para cualquier industria en el transporte eficiente y seguro de fluidos (agua, gases, relaves, etc.). Ya que, tienen por objetivo transportar diversos fluidos para fines propios del proceso productivo, los cuales tienen una gran importancia, como lo son las redes de agua potable, cañerías de gas, entre otros ejemplos.

El fenómeno de flashing consiste en una evaporación acelerada del fluido a presión, debido a una caida de presión por debajo de la presión de saturación (provocando la evaporación). Este proceso ocurre a una alta velocidad generando fuerzas dentro del sistema y desgastes en la linea aguas abajo. Este fenómeno es de interés en varias aplicaciones de la industria; Un ejemplo típico se observa en válvulas de control, el correcto dimensionamiento de las válvulas para estos sistemas es primordial. No obstante, el entendimiento de este fenómeno sigue siendo limitado y las actuales técnicas de medición no son capaces de identificar todas las características propias de este, como la nucleación, salida de burbujas y el proceso de crecimiento de burbujas.

El análisis de flexibilidad (o esfuerzos) tiene por fin garantizar la integridad mecánica del sistema de piping y todos los elementos asociados al mismo (equipos, soportes mecánicos, estructuras, entre otros). Así mismo busca garantizar la seguridad e integridad del personal de operaciones en la planta. Estos análisis de flexibilidad, están relacionados con especialidades muy distintas. Se relaciona, entre otras, con la metalurgia debido a los materiales empleados, mecánica de materiales, mecánica de medios continuos e hidráulica debido a ser sistemas que transportan fluidos con condiciones de temperatura y presión determinadas, y en otras ocasiones críticas.

El fenómeno de flashing no es considerado para los análisis de flexibilidad que se realizan normalmente a los sistemas, por lo cuál, se desconoce su impacto sobre los esfuerzos y cargas resultantes dentro del sistema de piping aguas abajo de la válvula de control. Este trabajo busca determinar la importancia del fénomemo en los análisis sobre sistemas de piping, entregando información de como se debe considerar este fenómeno durante la simulación numérica y cuales son sus impactos.

1.1. Objetivo general

Estudiar la sensibilidad del análisis de flexibilidad ante la inclusión del fenómeno de flashing en su modelamiento numérico a traves del software CAESAR II.

1.2. Objetivos específicos

Con el fin de cumplir el objetivo general, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Estudio y búsqueda de parámetros característicos del fenómeno de flashing.
- Modelación numérica de un sistema con flashing a través del software CAESAR II.
- Incorporación de parámetros numéricos para el fenómeno en el modelo.
- Verificación de cumplimiento del código de diseño.
- Estudio de la sensibilidad del análisis de flexibilidad frente a la incorporación del flashing.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo, se explicará primeramente el fenómeno de flashing, en conjunto con las formas en que este se puede describir, presentando un breve resumen de ciertos modelos que buscan su caracterización. Luego se explica básicamente a que corresponde un análisis de flexibilidad, tipos de cargas, esfuerzos, códigos de diseño, soportes, entre otros temas.

2.1. Fenómeno Flashing

El fenómeno de flashing corresponde a una repentina evaporación del fluido debido a una caída de presión p, la cuál ocurre a una alta velocidad dentro de mecanismos de estrangulamiento, como válvulas de control, boquillas e inyectores, con efectos de no equilibrio, tanto mecánicos (por ejemplo, deslizamiento entre 2 fases), como térmicos (fenómeno de retraso de ebullición). La velocidad de evaporación en un volumen de fluido durante el fenómeno varía de acuerdo a 2 factores; el número de núcleos, y el sobrecalentamiento del fluido.

Este fenómeno se puede dividir en 3 etapas, explicadas gráficamente con la siguiente figura:

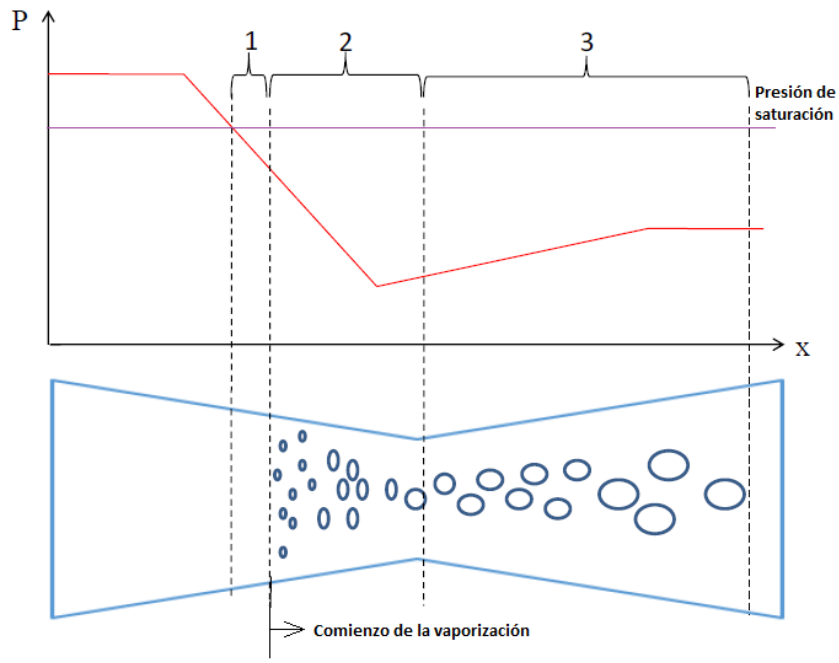

Figura 2.1: *Etapas descriptivas del flashing.*

- Etapa 1: En esta primera etapa, los pequeños núcleos existentes comienzan a crecer, luego que, la presión disminuye por debajo del nivel de saturación indicado con linea púrpura en la figura2.1.
- Etapa 2: Corresponde a la etapa de crecimiento de la burbuja, comienza cuando el diámetro de la burbuja alcanza un determinado valor. La tasa de crecimiento de la burbuja esta dominada por la diferencia de presión entre la superficie de la burbuja y el agua adyacente.
- Etapa 3: Finalmente, en esta etapa el crecimiento esta dominado por la transferencia de calor alrededor de la superficie de la burbuja. Esta transferencia de calor esta principalmente influenciada por la turbulencia del líquido y el movimiento relativo entre las burbujas alrededor del líquido.

Durante la primera etapa, como la burbuja de vapor es pequeña, la fuerza de inercia del líquido que rodea a la burbuja se debe tener en cuenta y la ecuación de Rayleigh-Lamb es apropiada. Posteriormente continúa el crecimiento de la burbuja, hasta que este se termina completamente por el flujo de calor del líquido al vapor debido al sobrecalentamiento ΔT.

$$\dot{q} = \alpha \Delta T \tag{2.1}$$

Donde α es el coeficiente de transferencia de calor, referido a la transferencia de calor del líquido sobrecalentado al área interfacial (por ejemplo, a la burbuja de vapor en la etapa temprana del flashing). En aplicaciones prácticas, cuando se descuida la tensión superficial, se puede suponer que todo el flujo de vapor del líquido sobrecalentado al área interfacial se utiliza para la producción del flujo másico de la fase de vapor por unidad de volumen.

$$\dot{m} = \rho \frac{dx}{dt} = \frac{\dot{q}}{h_{fg}} \tag{2.2}$$

Donde x corresponde a la calidad de vapor, ρ a la densidad de la mezcla de dos fases producida, y h_{fg} el calor de evaporación. Para el flujo de dos fases a través de un canal, x puede promediarse a través del canal, siendo una función de la distancia z (dirección axial) desde el origen del sistema de coordenadas, y del tiempo t. Para el caso de flashing, la calidad de vapor x tiene un valor más bajo que la calidad de vapor del estado de equilibrio. El último se determina por medio de dos parámetros termodinámicos, como la presión p y la entalpía h.

$$\overline{x} = \frac{h - h'(p)}{h_{fg}} \tag{2.3}$$

Donde $h'(P)$ es la entalpía del líquido saturado correspondiente a la línea de $\overline{x} = 0$.

Durante las últimas décadas, se realizaron varios estudios y pruebas experimentales, principalmente por Reocreux [1], Schrock [2], Abuaf [3] y Charless [4], cada uno con distintos mecanismos de estrangulamiento para el estudio del flashing. En general, la configuración para el procedimiento experimental de estas mediciones clásicas incluyen un flujo de agua constante y controlado, que pasa por un estrangulamiento, generando una caída de presión controlada. Las condiciones termodinámicas del agua se diseñaron para medir la tasa de cambio de fase con efectos de desequilibrio. Dentro del dispositivo, se ubican taps (puntos de medición) en la pared interior para obtener datos locales como presión absoluta, fracción promedio de volumen de vapor a lo largo del dispositivo y distribución detallada de la fracción volumétrica de vapor transversal.

En los últimos años, el enfoque de la dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha vuelto progresivamente más atractivo para los investigadores, debido a que la modelación puede ayudar a mejorar la comprensión del comportamiento físico del flujo dentro de estos mecanismos. Estos modelos CFD utilizan métodos RANS (Reynolds Average Navier Stokes) para los análisis de turbulencia y determinación de los parámetros de interés del sistema. Existen dos categorías principales de modelos

de CFD para flashing, los modelos que consideran el proceso de nucleación (explicados en los párrafos anteriores) y los modelos que no lo considera, e imponen coeficientes para controlar los efectos de desequilibrio. Ambos tipos de modelos se describen en las siguientes tablas.

Tabla 2.1: Modelos CFD que consideran el proceso de nucleación

Referencias y Código	Modelo Numérico y Consideraciones	Referencia Experimental y Observaciones
Maksic y Mewes [5] CFX 4.2	- Modelo RANS simplificado de dos fluidos con 5 ecuaciones. - La tasa de nucleación está determinada por el modelo de Jones [6], [7], [8] y [9]. - El diámetro de la burbuja y la densidad del área interfacial son funciones de la calidad de vapor y la densidad del número de burbujas. - No se considera la transferencia de masa, energía y momento impulsada por la nucleación. - Conducción dominada en la interfaz. - Etapa siempre saturada de fase vapor.	- En boquillas está validado por Abuaf [3]. - El movimiento relativo de las burbujas provoca un alto impacto en la transferencia de calor por convección para la mayoría de los casos de flashing.

Marsh and O'Mahony [10] FLUENT 6.2.16	- Modelo RANS de 6 ecuaciones que incluye: ecuaciones de masa, impulso y energía se realiza por separado para cada fase. - Se consideran los efectos de la nucleación de burbujas y la transferencia de calor interfacial para el proceso de cambio de fase, el momento y la conservación de energía. - Las fuerzas de elevación, lubricación de la pared y dispersión turbulenta se ignoran para la transferencia de momento. - La ecuación de transporte para la fase de vapor con un único término fuente de nucleación heterogénea. - El modelo para la tasa de nucleación se modifica a partir del estudio de Blander y Katz [11] utilizando dos métodos no físicos.	- Un sistema piping apara conectar 2 tanques con flashing en la refinería Rusal Aughinish. - Alrededor de 5 % de error entre resultados numéricos y flujos estimados en plantas.
Mimouni et al. [12] NEPTUNE-CFD	- Modelo RANS de 6 ecuaciones. - Uso del coeficiente de transferencia de calor no físico. - Transferencia de momento, incluyendo arrastre, masa agregada y fuerzas de elevación en la interfase. - La versión modificada del modelo Jones [6], [7], [8] y [9] incorpora las influencias de la velocidad de nucleación a la generación de vapor, el momento y la transferencia de energía. - Etapa siempre saturada de fase de vapor.	- Flujo crítico en la boquilla de Robert et al. [13], con entrada inicialmente subenfriada y flashing a la salida. Para capturar correctamente el perfil de vapor radial, el modelo requiere información experimental. - Prueba experimental de Archer [14] con cavitación aguas abajo de un orificio. Se observa una concordancia cualitativa entre los resultados numéricos y las visualizaciones experimentales.

Janet et al. [15] CFX 14.5	- Modelo de dos fluidos (siempre en fase de vapor saturado). - La transferencia de momento de la interfase consiste en arrastre, sustentación, lubricación, masa virtual y fuerza de dispersión turbulenta. - La transferencia de masa entre fases depende de la transferencia de calor interfacial. - Uso de la ecuación de transporte del número de burbujas para el proceso de nucleación con términos de fuente, incluidos los núcleos en la pared y el efecto de coalescencia de las burbujas. - Los tipos de término fuente de nucleación consisten en Blinkov et al. [9] Modelo RPI [16], [17] y [18], modelo Riznic [19] y [20], modelo Rohatgi [21].	- Boquilla vertical convergente-divergente circular de Abuaf et al. [3]. - Concordancia experimental en términos de flujo crítico y perfiles axiales, pero la calidad de vapor radial no está satisfecha.
Pelletingeas et al. [22] STAR-CD	- Modelo de mezcla. - Ecuación de Rayleigh-Plesset para el crecimiento de la burbuja. - Incluyendo la tensión superficial en la ecuación de momento.	- Un inyector diesel de un solo orificio con diferentes elevadores de aguja. - El resultado numérico y el experimento tienen una concordancia en términos de coeficiente de descarga (error $< 1{,}3\,\%$) para un inyector completamente abierto.

Tabla 2.2: Modelos CFD que desprecian el proceso de nucleación

Referencias y Código	Modelo Numérico y Consideraciones	Referencia Experimental y Observaciones
Laurien y colegas [23] - [24] CFX 4.2	- Modelo RANS de 5 ecuaciones. - No se consideran las fuerzas de no arrastre en la transferencia de momentum. - Se permite el crecimiento del tamaño de burbuja asumiendo densidad numérica de burbuja. - Fase de vapor siempre saturada.	- Flujo en cavitación en tuberías. - Los supuestos del modelo solo son razonables con una zona de nucleación estrecha.
Frank [25] CFX	- Modelo RANS de 5 ecuaciones. - Solo considerando la fuerza de arrastre para la transferencia de momentum. - El diámetro de la burbuja se asume constante (1 mm). - Siempre estado de saturación para la fase de vapor.	- Prueba de purga de Edward.
Liao [26] CFX 14.0	- Modelo RANS de 5 ecuaciones (la fase de vapor está siempre saturada). - Incluyendo fuerzas de arrastre, sustentación, lubricación, masa virtual y de dispersión turbulenta en la transferencia de momentum. - El mecanismo de transferencia de masa depende de la transferencia de calor interfacial. - Densidad numérica de burbuja constante para el proceso de nucleación.	- La liberación de presión transiente en la tubería vertical de Schaffrath [27] se utiliza como punto de referencia. - Mostrar grandes desviaciones en caso de falta de información experimental de densidad numérica de burbuja. - Para mejorar la precisión del modelo, se debe realizar una simulación de dispersión múltiple en lugar del método de dispersión simple.

Yazdani [28] FLUENT 12.0	- Modelo de mezcla con fenómeno de deslizamiento entre dos fases. - La transferencia de calor considera el caso del de cambio de fase impulsado por presión [29] y temperatura. - la ecuación de velocidad sónica de Brennen [30] se utiliza para la tasa de cambio de fase	- Boquilla motriz convergente-divergente de Nakagawa [31]. - Se muestra una concordancia entre el método numérico y el experimental para los perfiles de presión a lo largo de la sección divergente.
Liao y Lucas [32] CFX 14.5	- Modelo RANS de 5 ecuaciones (la fase de vapor está siempre saturada). - Incluyendo fuerzas de arrastre, sustentación, lubricación, masa virtual y de dispersión turbulenta en la transferencia de momentum. - El mecanismo de transferencia de masa depende de la transferencia de calor interfacial. - Densidad numérica de burbuja constante para el proceso de nucleación.	- boquilla convergente-divergente circular y vertical de Abuaf [3]. - La tasa de flujo másico calculada y experimental muestran una concordancia con un error aproximado entre $-6{,}8\,\%$ y $+3{,}4\,\%$. - La presión promedio en la sección transversal y la fracción de vapor concuerdan con las mediciones. Sin embargo, la distribución radial de la fracción de vapor es demasiado uniforme y tiene grandes desviaciones cerca de la salida de la boquilla. - Es necesaria más información experimental para determinar los coeficientes para el modelo de Flashing, incluida la densidad del número de burbuja y el coeficiente de transferencia de calor.

Liao y Lucas [32] CFX	- Mismo modelo que Liao [26] considerando el modelo de nucleación de pared de Blinkov [9] y modelo de nucleación de volumen según el modelo de Rohatgi [21]	- Una visión general de trabajos anteriores con supuestos tanto de enfoque de dispersión simple como de multi dispersión.

2.1.1. Modelos de Caracterización

Los actuales métodos computacionales para flujos compresibles estrangulados (Choked Flow) están basados con un enfoque unidimensional y son bastante aceptables (error menor al 6 %) cuando no se aprecia una gran variación respecto a la sección transversal por la cual circula el fluido. Estos métodos pueden aplicarse para suaves variaciones de la sección transversal, como convergente-divergente. El cálculo del flujo se puede desarrollar mediante un procedimiento iterativo aplicado al caudal másico [33] deducido del análisis geométrico de la solución desarrollada por Bilicki [34]. Este método, llamado PIF (Possible and Impossible Flow), ha sido utilizado por varios autores para la simulación de flujo estrangulado a través de una geometría simple (Yan [35], Féburie [36] , Bolle [37]).

Sin embargo, cuando la geometría de la tubería es más compleja e involucra varias singularidades (expansiones, reducciones, orificios,cambios de dirección, entre otras), el régimen estacionario se puede comportar como un Choked Flow en múltiples ubicaciones a lo largo del tramo de tubería, por lo cual, los métodos conocidos no son los más adecuados para su estudio. A continuación se presentan métodos numéricos que permiten simular estos fenómenos.

La siguiente figura busca mostrar el comportamiento del fluido cuando se desarrolla el Flashing, además de permitir diferenciar los tipos de flujos durante este fenómeno.

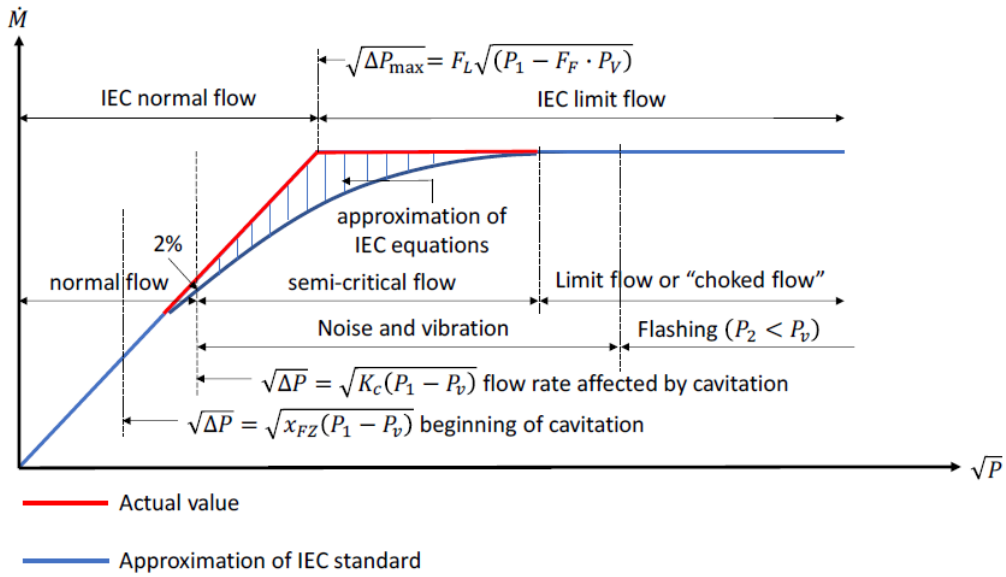

Figura 2.2: *Relación entre el flujo másico y la presión aguas abajo en el desarrollo de flashing.*

Para simplificar el análisis, se considera una línea de descarga horizontal que une los dos estanques de sus extremos (ver figura 2.3). La línea consta de los siguientes elementos: un conducto aguas arriba caracterizado por una longitud y un diámetro constante igual a L_{up} y D_1 respectivamente, una expansión abrupta caracterizada por la relación de la sección transversal del área $\sigma = A_1/A_2$ $(0 < \sigma < 1)$ y una línea aguas abajo caracterizada por una longitud y un diámetro constante igual a L_{down} y D_2 respectivamente.

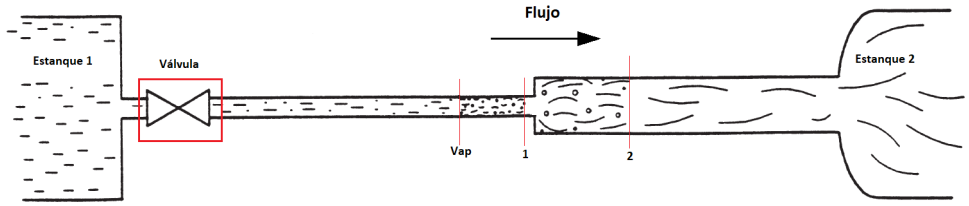

Figura 2.3: *Esquema referencial de flashing a través de una línea de descarga.*

Se considera un flujo de dos fases con flashing en régimen estacionario a través de una tubería representada en la figura 2.3. El flujo se considera abiabático (sin intercambio de calor $\dot{Q} = 0$) . El estado del fluido aguas arriba puede ser subenfriado o de dos fases. Para los valores dados de la contrapresión, los parámetros geométricos (L_{up}, D_1, L_{down}, σ) y las condiciones termodinámicas de entrada, se pueden plantear los siguientes problemas:

- Identificación del régimen del flujo (crítico o no) ver figura 2.2 y la ubicación de las secciones críticas si es que el flujo está estrangulado.

- Determinación del flujo másico y distribución axial del flujo (perfil de velocidad) a través de la tubería.
- Definición del procedimiento de cálculo para el problema.

Debido a la complejidad de la evolución de la distribución interfacial de la mezcla, la resolución de las ecuaciones de equilibrio locales e instantáneas sigue siendo muy difícil. Por lo tanto, estas ecuaciones son promediadas por los operadores espaciales, temporales, integrales y lineales. Estos operadores introducen algunos términos adicionales relacionados con las leyes constitutivas y las condiciones de borde. Cuando la longitud de la tubería es mucho mayor que el diámetro ($L/D > 80$), el enfoque unidimensional está bien justificado. El promedio espacial se realiza sobre la sección transversal de la tubería.

La ecuación unidimensional general para el problema en régimen estacionario (modelo de dos fluidos) involucra 14 incógnitas; siete variables del flujo (presión, velocidad, temperatura de cada fase y calidad de vapor), tres términos de transferencia interfacial (masa, momentum y energía) y cuatro términos de transferencia en la pared (transferencia de momentum y energía de cada fase en la pared). Las ecuaciones de balance para cada fase resultan en seis relaciones. Cuando las fuerzas de tensión superficial son despreciables, la presión en cada fase es igual. Quedan siete leyes de cierre para cerrar el problema. Hasta la fecha, la completa formulación del modelo aun no es factible, debido al limitado conocimiento de los procesos de transferencia en sistemas multifásicos.

Se realizan algunas aproximaciones para reducir el tamaño del problema. Para el flashing de una fase, la suposición más útil es considerar homegeneidad cinemática en la mezcla: quiere decir que las velocidades promedio en la sección transversal de las fases son iguales. Esto permite que el fluido de dos fases sea tratado como un pseudo fluido que satisface las ecuaciones de equilibrio con la misma forma matemática como si fuera un fluido de una sola fase. Las principales propiedades termodinámicas de este pseudo fluido corresponden a las propiedades promedio de las fases, las cuales están expresadas bajo leyes constitutivas que dependen de la naturaleza física del modelo.

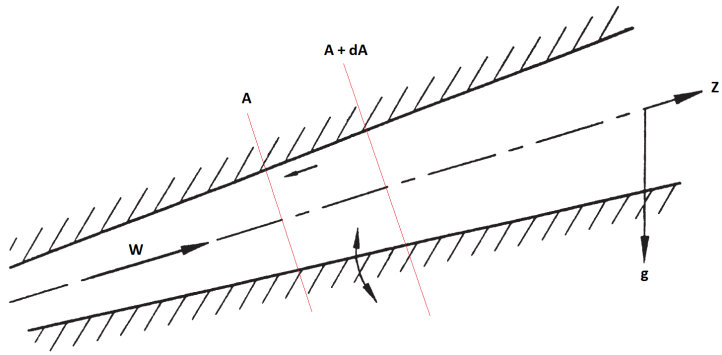

Figura 2.4: *Flujo unidimensional.*

Se considera un flujo unidimensional de flashing puro a través de la tubería (figura 2.4). Este flujo satisface las siguientes hipótesis:

- Flujo en estado estacionario.
- Existe un equilibrio cinemático entre las fases: $W_V = W_L = W$.
- El efecto de la tensión superficial es despreciado: $p_V = p_L = p$.
- Los efectos de la difusión térmica y turbulencia no son tomados en cuenta.
- Los perfiles de velocidad y de calidad de vapor en cualquier sección transversal de la tubería son planos: los coeficientes de distribución espacial son iguales a 1.

De acuerdo a lo asumido en los puntos anteriores, las ecuaciones de balance de masa, momentum y energía de la mezcla resultan en el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{d}{dz}\left(A\rho_m W\right) = 0$$

$$\frac{d}{dz}\left(A\rho_m W^2\right) + A\frac{d\rho}{dz} = -\varphi_W \tau_{TP} + A\rho_m g_z$$

$$\frac{d}{dz}\left(A\rho_m W\left(h_m + \frac{W^2}{2}\right)\right) = \varphi_H q + A\rho_m W g_z \tag{2.4}$$

Donde φ_W y φ_H son los perímetros húmedos y calientes respectivamente, τ_{TP} el esfuerzo de corte en la pared y q el calor transferido a la pared. Considerando un flujo adiabático ($\dot{Q} = 0$), el calor transferido en las ecuaciones de balance de energía desaparece.

Existen diversos métodos númericos desarrollados para describir y caracterizar el fénomeno de flashing, para efectos de esta memoria, se describirán dos de estos, los cuales se desarrollan por Attou [39].

Modelo HEM

Este modelo,llamado “Homogeneus Equilibrium Model”, o “Modelo de Equilibrio Homogéneo”se basa en el equilibrio termodinámico de las fases $T_v = T_l = T_{sat}(p)$. El volumen específico y la entalpía de la mezcla están dados respectivamente por las siguientes ecuaciones:

$$\nu_m = \frac{1}{\rho_m} = x\nu_{V,sat} + (1-x)\nu_{L,sat} \tag{2.5}$$

$$h_m = xh_{V,sat} + (1-x)h_{L,sat} \tag{2.6}$$

Escogiendo p, W y x como variable dependientes del flujo, y tomando en consideración las ecuaciones 2.5 y 2.6, el sistema de ecuaciones 2.4 se convierte en:

$$\begin{pmatrix} (x\nu'_V + (1-x)\nu'_L) & -\dfrac{\nu_m}{W} & (\nu_{V,sat} - \nu_{L,sat}) \\ 1 & \dfrac{W}{\nu_m} & 0 \\ (xh'_V + (1-x)h'_L) & W & (h_{V,sat} - h_{L,sat}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dfrac{dp}{dz} \\ \dfrac{dW}{dz} \\ \dfrac{dx}{dz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{\nu_m}{A}\dfrac{dA}{dz} \\ -\dfrac{\varphi_W}{A}\tau_{TP} + \dfrac{g_z}{\nu_m} \\ g_z \end{pmatrix} \tag{2.7}$$

Donde las cantidades derivadas quedan definidas como:

$$\nu'_K = \left(\frac{\partial \nu_K}{\partial p}\right)_{sat} \qquad y \qquad h'_K = \left(\frac{\partial h_K}{\partial p}\right)_{sat}$$

Las propiedades de cada fase y sus derivadas a través de la curva de saturación solo dependen de la presión.

Modelo DEM

En este modelo, llamado “Delayed Equilibrium Model”, o “Modelo de Equilibrio Desfasado”, se asume que durante el proceso de vaporización, solo una fracción “y”del fluido se transforma en una mezcla saturada, mientras que la otra fracción permanece como líquido metaestable y se somete a una evolución isentrópica (entropia constante). La variable y se denomina índice de vaporización. El volumen específico y la entalpía de la muestra son dados respectivamente por las siguientes relaciones constitutivas:

$$\nu_m = \frac{1}{\rho_m} = (1-y)\,\nu_{LM} + x\nu_{V,sat} + (y-x)\,\nu_{L,sat} \tag{2.8}$$

$$h_m = (1-y)\,h_{LM} + xh_{V,sat} + (y-x)\,h_{L,sat} \tag{2.9}$$

Donde ν_{LM} y h_{LM} corresponden al volumen específico y la entalpía del líquido metaestable. Estas propiedades son determinadas extrapolando los líquidos subenfriados en el dominio metaestable del líquido, es decir, el dominio limitado por la línea de líquido saturado y la curva espinoidal.

Lackmé [40] y Mali & Hardy (1982) han propuesto la primera correlación para el índice de vaporización. Sobre las bases de esta correlación, Féburie [36] han propuesto una nueva correlación adimensional para flujos a través de grietas, con condiciones de subenfriamiento de entrada y un amplio rango de presión:

$$\frac{dy}{dz} = 0,02\frac{\varphi_W}{A}(1-y)\left(\frac{p_{sat}\left(T_{LM}\right)-p}{p_{crit}-p_{sat}\left(T_{LM}\right)}\right)^{\frac{1}{4}} \tag{2.10}$$

Esta relación se ha implementado como ley de cierre para resolver el sistema 2.4 de las ecuaciones de balance junto con las ecuaciones 2.8 y 2.8. Este modelo se ha denominado DEM (Féburie [36], Giot [41]). Sin embargo, la comparación de este modelo en términos de caudal másico crítico y pérfil de presiones con los nuevos datos obtenidos en los flujos vapor-agua [42] conduce a las siguientes consideraciones:

- La sensibilidad de los resultados tanto del modelo DEM como de los experimentales, por ejemplo, la tasa de flujo másico crítico y el perfil de presión son bastante importantes para las condiciones de entrada de líquido saturado (subenfriado o bifásico).

- Para condiciones de entrada cercanas al líquido saturado, el flujo másico predicho por el modelo DEM es sistemáticamente más bajo que lo observado experimentalmente.

- El perfil de presión previsto, casi luego de la expansión, está relativamente lejos del valor experimental.

Estas son las razones por las cuales la correlación 2.10 se ha modificado para abarcar todo el rango de condiciones de entrada, es decir, líquido subenfriado o saturado y mezcla de dos fases. La nueva ecuación de cierre propuesta para la evolución del índice de vaporización se puede escribir de la siguiente manera:

$$\frac{dy}{dz} = 0,01 \frac{\varphi_W}{A} (1-y)^2 \left(\frac{W_{LO}}{W}\right)^{\frac{1}{10}}$$

$$\left(\frac{p_{sat}(T_{LM}) - p}{p_{crit} - p_{sat}(T_{LM})}\right)^{\frac{1}{4}} \equiv Y\left(p, W, T_{LM}, y\right) \tag{2.11}$$

Donde W_{LO} corresponde a la velocidad superficial del líquido.

El factor de velocidad en esta correlación es siempre menor a uno y considera el efecto de retardo debido a la aceleración de la mezcla que se produce durante la vaporización. El retraso en el inicio de la nucleación se considera explícitamente en las ecuaciones de cierre 2.10 y 2.11 que predicen un aumento progresivo de la producción de vapor después de que las condiciones de saturación sean alcanzadas (para $p = p_{sat}(T_{LM})$, $y = 0$ así como $dy/dz = 0$).

Para esta nueva relación se han incorporado los nuevos resultados experimentales en agua de vapor (Attou [42]), así como con los siguientes datos de flujo de agua de vapor:

- A través de un conducto largo con baja presión (Réocreux [43]).
- A través de un conducto largo con alta presión (Rousseau [44]).
- A través de una división, media y alta presión (Amos [45]).

Tomando p, W, x e y como variables dependientes del flujo, y tomando en consideración las ecuaciones 2.8 y 2.9, el sistema 2.4 en conjunto con la ley de cierre 2.11 se transforma en:

$$
\begin{pmatrix}
\begin{pmatrix} (1-y)\,\nu'_{LM} \\ x\nu'_V \\ (y-x)\,\nu'_L \end{pmatrix} & -\dfrac{\nu_m}{W} & (\nu_{V,sat}-\nu_{L,sat}) & (\nu_{L,sat}-\nu_{LM}) \\
1 & \dfrac{W}{\nu_m} & 0 & 0 \\
\begin{pmatrix} (1-y)\,h'_{LM} \\ xh'_V \\ (y-x)\,h'_L \end{pmatrix} & W & (h_{V,sat}-h_{L,sat}) & (h_{L,sat}-h_{LM}) \\
0 & 0 & 0 & 1
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix} \dfrac{dp}{dz} \\ \dfrac{dW}{dz} \\ \dfrac{dx}{dz} \\ \dfrac{dy}{dz} \end{pmatrix} =
$$

$$
\begin{pmatrix} \dfrac{\nu_m}{A}\dfrac{dA}{dz} \\ -\dfrac{\varphi_W}{A}\tau_{TP}+\dfrac{g_z}{\nu_m} \\ g_z \\ Y\left(p, W, T_{LM}, y\right) \end{pmatrix} \tag{2.12}
$$

Donde las cantidades derivadas se definen por:

a) Mezcla saturada:

$$
\nu'_K = \left(\frac{\partial \nu_K}{\partial p}\right)_{sat} \qquad y \qquad h'_K = \left(\frac{\partial h_K}{\partial p}\right)_{sat}
$$

b) Líquido metaestable:

$$
\nu'_{LM} = \left(\frac{\partial \nu_{LM}}{\partial p}\right)_{S_{LM}} \qquad y \qquad h'_{LM} = \left(\frac{\partial h_{LM}}{\partial p}\right)_{S_{LM}}
$$

Las propiedades del líquido metaestable y sus derivadas a lo largo de la línea isentrópica dependen solo de la presión ($\nu_{LM} = \nu_{LM}\left(p, s_{LM}\right)$ y $h_{LM} = h_{LM}\left(p, s_{LM}\right)$ para $s_{LM} = Cte$).

2.2. Análisis de Flexibilidad

Corresponde al estudio del sistema de tuberías o piping, donde se verifica si el sistema a analizar es capaz de absorber cargas y tensiones. Se realiza debido a que estos sistemas de piping están conectados a equipos mecánicos y cuando estas tuberías se deforman generan fuerzas que pueden dañar a los equipos o al mismo sistema de tuberías.

Un análisis de flexibilidad se debe realizar para asegurar el cumplimiento de códigos y normas en el diseño del sistema, por ejemplo, la verificación de los esfuerzos en las tuberías, fuerzas y momentos resultantes en soportes, boquillas de equipos o uniones bridadas (flangeadas).

Objetivos principales de un análisis de flexibilidad:

- Mantener los esfuerzos en la tubería y fittings dentro de los márgenes permitidos por los códigos de diseño.
- Mantener las cargas en boquillas dentro de los niveles permitidos por los códigos.
- Mantener los esfuerzos en recipientes (conexiones) dentro de los límites del código.
- Cálculo de cargas para dimensionamiento de soportes.
- Determinación de desplazamientos de las líneas de tuberías para posibles interferencias.
- Resolución de problemas dinámicos como; vibración, golpe de ariete, flujo transiente, entre otros.
- Optimización de diseño piping.

Además, se requiere conocer ciertos parámetros para el desarrollo de un análisis de flexibilidad, los cuales son los siguientes:

- Materiales y dimensiones de la tubería (diámetro y espesor).
- Parámetros de operación (Temperatura, presión y densidad del fluido).
- Esfuerzos permitidos según código de diseño.
- Cargas externas según condiciones del sitio, como viento y sismos.

Los puntos de interés dentro un análisis de flexibilidad se denominan ”Nodos”, los cuales se utilizan principalmente para:

- Definir geometrías (inicio, final, cambios de dirección, cambios de diámetro, etc.).
- Cambios en condiciones de operación (Temperaturas, presiones, etc.).
- Definir parámetros de rigidez.
- Definir condiciones de borde (desplazamientos, restricciones, etc.).
- Especificar puntos de masa (simulación dinámica).
- Condiciones de carga.
- Recuperación de información del análisis.

2.2.1. Codigo de Diseño ASME B31.3

Este código para tuberías de proceso B31.3, es una sección del código de la sociedad estadounidense de ingenieros mecánicos para tuberías a presión, ASME B31, el cual es un estándar estadounidense nacional. Este se ha desarrollado teniendo en cuenta las tuberías generalmente usadas en refinerías de petróleo; plantas químicas, farmacéuticas, textiles, de papel, de semiconductores y criogénicas, en plantas y terminales relacionados con el procesamiento.

En este código se establecen los requisitos para materiales y componentes, el diseño, la fabricación, el ensamblaje, la instalación, los exámenes de inspección y pruebas de tubería. Este código se aplica a tuberías para todo tipo de fluidos, incluyendo:

a) Productos químicos puros, intermedios y terminados.

b) Productos derivados del petróleo.

c) Gas, vapor, aire y agua.

d) Sólidos fluidizados.

e) Refrigerantes.

f) Fluidos criogénicos.

Análisis de Flexibilidad

No es obligatorio un análisis formal de flexibilidad para un sistema de tuberías, el cual:

a) Duplica o reemplaza sin cambios significativos un sistema que opera con un registro de servicio exitoso.

b) Puede considerarse adecuado de forma fácil mediante comparación con sistemas previamente analizados.

c) Es de tamaño uniforme, no tiene más de dos puntos de sujeción, no tiene sujeciones intermedias y cae dentro de los límites de la ecuación 2.13:

$$\frac{d_y}{(L-U)^2} \leq K_1 \tag{2.13}$$

Donde:

- $d =$ Diámetro externo de la tubería, $[mm]$.
- $E_a =$ Módulo de elasticidad (referencia a $21°C$), $[MPa]$.
- $K_1 = 208000 S_A/E_a$, $[(mm/m)^2]$.
- $L =$ Longitud de la tubería entre anclajes, $[m]$.
- $S_A =$ Intervalo de esfuerzos por desplazamiento permitido, $[MPa]$.
- $U =$ Distancia entre anclajes (línea recta), $[m]$.
- $y =$ Resultante de las deformaciones totales por desplazamiento, que el sistema de tuberías absorbe $[-]$.

Cualquier sistema de tuberías que no cumpla con los criterios descritos anteriormente debe analizarse mediante un método simplificado, aproximado o integral, según corresponda. Los métodos simplificados o aproximados pueden aplicarse solo cuando se utilizan para configuraciones donde ya se ha demostrado que son adecuadas. Los análisis integrales deben tener en cuenta los factores de intensificación de esfuerzos para cualquier componente que no sean tuberías rectas. Se debe considerar la extra flexibilidad para estos componentes.

Cálculo de Esfuerzos

- Esfuerzo Sostenido

  Es el esfuerzo más importante en los sistemas de piping. Estos esfuerzos son generados principalmente por presión, peso propio y por cargas ocasionales, como viento, sismo, fuerzas transientes, entre otras.

  ASME B31.3 no entrega una ecuación explícita para el cálculo de esfuerzos sostenidos, pero solo se requiere que el ingeniero considere el esfuerzo en la tubería debido al peso y la presión, y luego asegurarse que este valor S_L no supere a S_h. esto se representa como:

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} + \frac{P d_o}{4e} \leq S_h \tag{2.14}$$

  Donde:

  - $F_{ax} =$ Fuerza axial debido a cargas sostenidas (primarias).
  - $M_i =$ Momento flector (en el plano) debido a cargas sostenidas (primarias).
  - $M_o =$ Momento flector (fuera del plano) debido a cargas sostenidas (primarias).
  - $i_i, i_o =$ Factores de intensificación de esfuerzos, según ASME B31.3.
  - $S_h =$ Esfuerzo permitido por el material a temperatura de operación (caliente).
  - S_h se define como el mínimo de:

  1) $1/3$ del esfuerzo último del material a temperatura de operación.
  2) $1/3$ del esfuerzo último del material a temperatura de la sala (ambiente).
  3) $2/3$ del esfuerzo de fluencia del material a temperatura de operación ($90\,\%$ del esfuerzo de fluencia para aceros inoxidables austeníticos).
  4) $2/3$ del esfuerzo de fluencia del material a temperatura de la sala (ambiente)($90\,\%$ del esfuerzo de fluencia para aceros inoxidables austeníticos).
  5) $100\,\%$ del esfuerzo promedio, considerando $0,01\,\%$ de Creep cada 1000 horas.
  6) $67\,\%$ del esfuerzo promedio para ruptura luego de 100000 horas.
  7) $80\,\%$ del esfuerzo mínimo para ruptura luego de 100000 horas.

- Esfuerzo de Expansión

  Esfuerzos principalmente generado por variaciones térmicas, respeto a la temperatura de instalación del sistema, y desplazamientos del sistema. El método de cálculo de este tipo de esfuerzo es de la siguiente manera:

$$S_E = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2 + 4M_T^2}}{Z} \leq S_A = f\left(1,25S_c + 1,25S_h - S_L\right) \tag{2.15}$$

  Donde:

  - $M_i =$ Momento flector (en el plano) debido a cargas de expansión (secundarias).
  - $M_o =$ Momento flector (fuera del plano) debido a cargas de expansión (secundarias).
  - $M_T =$ Momento torsor debido a cargas de expansión (secundarias).
  - $S_c =$ Esfuerzo permitido por el material a temperatura de instalación (fría).

- Esfuerzo Ocasional

  Corresponden a esfuerzos sostenidos que ocurren, como su nombre lo dice, ocasionalmente. Generados por cargas de sismos, viento, fuerzas transientes, entre otras.

  La ecuación para calcular esfuerzos ocasionales no está claramente definida por el código B31.3, el cual solo establece que la suma de los esfuerzos longitudinales generados por cargas sostenidas y ocasionales no deben sobrepasar el valor de $1,33S_h$. La interpretación básica de esto indica que se deben calcular los esfuerzos sostenidos y ocasionales de forma independiente.

2.2.2. Tipos de Cargas

Cargas Primarias

Corresponden a las principales cargas que se pueden observar en un sistema, generadas por el mismo sistema, por ejemplo; peso propio del fluido, peso de las tuberías, válvulas, presión interna, fenómenos transientes. Estas cargas no son autolimitadas, esto quiere decir que una vez comienza la deformación plástica, esta continúa hasta que se logre un equilibrio de fuerzas (a través de un cambio en las condiciones de borde, o a través de endurecimiento por deformación del material).

Límites permitidos por esfuerzos primarios son relacionados por las teorías de fallas Von Mises, Tresca o Rankine para el esfuerzo de fluencia del material.

Altas cargas primarias causan gran deformación plástica y rupturas. La falla puede ocurrir con solo una aplicación de la carga. Tener en cuenta que las fallas que se producen debido a la aplicación de una carga única generalmente involucran fallas por presión de diseño, y no se relacionan directamente con los requisitos de flexibilidad acorde a los códigos. Dichos requisitos de diseño de presión están incluidos en los requisitos de espesor mínimo de pared que se analizan en detalle en los diversos códigos.

Cargas Secundarias

Las cargas secundarias (o cargas de expansión) son principalmente generadas por desplazamientos del sistema, como expansión térmica, desplazamientos impuestos, entre otros. Estas cargas son casi siempre autolimitadas, lo que quiere decir, que tienden a disiparse a medida que el sistema se deforma (siempre en rango elástico).

Los límites permitidos para estas cargas son basados en modos de falla cíclicos o de fatiga, por lo tanto, están limitados en base a los requerimientos para ciclos elásticos luego de cambio a fase plástica y curvas de fatiga del material.

Una única aplicación de estas cargas nunca produce una falla. Fallas más catastróficas pueden ocurrir luego de un alto número de aplicaciones de la carga. Por lo tanto, incluso si un sistema ha estado operando correctamente por un largo periodo de tiempo, esto no necesariamente significa que el sistema fue diseñado correctamente para cargas secundarias.

2.2.3. Tipos de Esfuerzos en Tuberías

Los esfuerzos a los que se encuentra sometida una tubería son variados, sin embargo se pueden separar en dos grandes grupos, por un lado los esfuerzos normales, los cuales son originados por la acción de una o más fuerzas en dirección perpendicular al área que las resiste, por otro lado existen los esfuerzos de corte, ocasionados por fuerzas en dirección paralela al área resistente. A continuación se agrupan algunos de los diversos tipos de esfuerzos a los cuales puede estar sometida una tubería:

- Esfuerzos Normales.

    a) Longitudinales (Debido a cargas axiales, presión interna y momentos

flectores).

b) Circunferenciales (causados por presión interna).

c) Radiales (causados por presión interna).

- Esfuerzos de Corte (causados por torsión, fuerzas laterales y estado tridimensional de esfuerzos).

Esfuerzo Normal

Los esfuerzos normales son aquellos que actúan en dirección normal a la cara del material, los cuales pueden estar en tracción o compresión según su naturaleza (los esfuerzos normales en piping tienden a ser de tracción debido a la predominante naturaleza de la presión interna como caso de carga). Estos esfuerzos son aplicados en diferentes direcciones y pueden generarse por varios tipos de cargas

Esfuerzo Longitudinal

Corresponde al esfuerzo que actúa en dirección axial a la tubería. Puede ser causado por una fuerza interna que actúa axialmente dentro de la tubería.

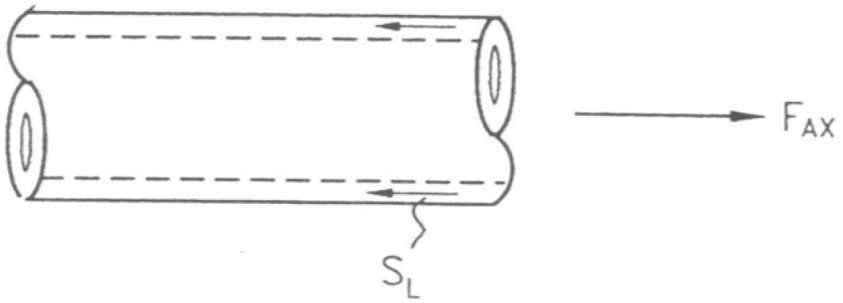

Figura 2.5: *Esfuerzo longitudinal causado por fuerza axial.*

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} \tag{2.16}$$

Donde:

- S_L: Corresponde al esfuerzo longitudinal o axial.
- F_{ax}: Fuerza axial actuando en el interior de la tubería.
- A_m: Área de la sección transversal de la tubería.
- $A_m = \pi \left(d_o^2 - d_i^2\right)/4$

- $A_m = \pi \cdot d_m \cdot e$
- d_o: Diámetro exterior.
- d_i: Diámetro interior.
- d_m: Diámetro medio.
- $d_m = (d_o + d_i)/2$

Un tipo especifico de esfuerzo axial o longitudinal, corresponde al causado por la presión interna, como se muestra a continuación:

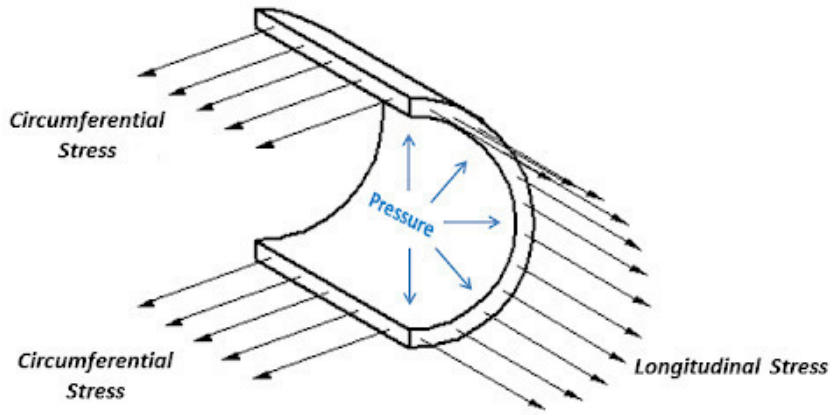

Figura 2.6: *Esfuerzo longitudinal por presión interna.*

$$S_L = \frac{P \cdot A_i}{A_m} \tag{2.17}$$

Donde:

- P: Presión de diseño.
- A_i: Área interior de la tubería.
- $A_i = \pi \cdot d^2/4$

Reemplazando términos por las áreas internas y medias, la ecuación se puede volver reescribir de la siguiente forma:

$$S_L = \frac{P \cdot d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} \tag{2.18}$$

$$S_L = \frac{P \cdot d_i^2}{4 \cdot d_m \cdot e} \tag{2.19}$$

Por conveniencia, este esfuerzo se aproxima de manera conservadora de la siguiente forma:

$$S_L = \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot e} \tag{2.20}$$

Otro componente del esfuerzo axial, es el causado por la flexión. Los esfuerzos flectores son iguales a cero en el eje central de la tubería, y varían linealmente a través de la sección transversal de la tubería; desde la fibra exterior de la tubería como esfuerzo máximo en compresión, hasta la otra fibra exterior como esfuerzo máximo en tensión. Calculando el esfuerzo como proporción lineal de la distancia hacia el eje neutral:

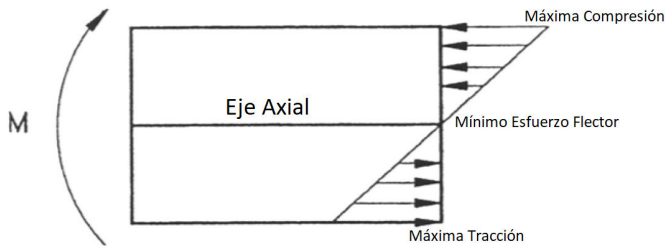

Figura 2.7: *Variación del esfuerzo flector en la sección transversal.*

$$S_L = \frac{M_b a}{I} \tag{2.21}$$

Donde:

- M_b: Momento flector actuando en la sección transversal.
- a: Distancia al punto de interés desde el eje central.
- I: Momento de inercia de la sección transversal de la tubería.
- $I = \frac{\pi}{64}\left(d_o^4 - d_i^4\right)$

El máximo esfuerzo flector se obtiene cuando la distancia al punto de interés es máxima, esto ocurre cuando el valor de a corresponde al radio exterior de la tubería. Reemplazando en la ecuación, se obtiene:

$$S_{max} = \frac{M_b r_o}{I} \rightarrow \frac{M_b}{Z} \tag{2.22}$$

Donde:

- r_o: Radio exterior de la tubería.
- Z: Módulo de sección de la tubería.
- $Z = \frac{I}{r_o}$

Finalmente, sumando todos los componentes del esfuerzo axial, se tiene lo siguiente:

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{Pd_o}{4e} + \frac{M_b}{Z} \tag{2.23}$$

Esfuerzo Circunferencial

Existen otros esfuerzos normales presentes en una tubería, aplicados en direcciones ortogonales al eje axial de la tubería. Uno de esos esfuerzos es el Esfuerzo Circunferencial o también conocido como "Hoop Stress". Este esfuerzo actúa en dirección paralela a la tangente de la circunferencia de la tubería, tal como se muestra a continuación:

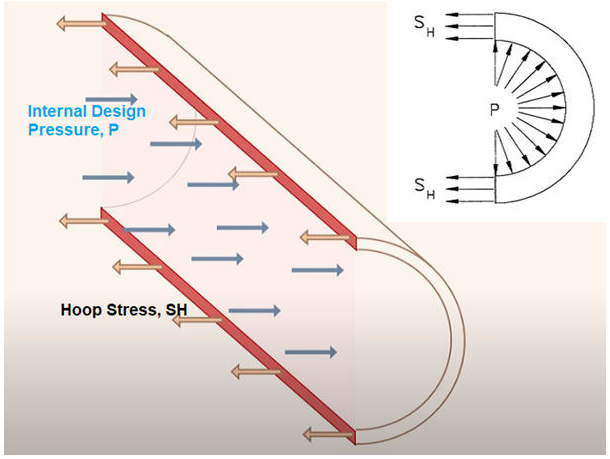

Figura 2.8: *Esfuerzo circunferencial en una tubería.*

La magnitud del esfuerzo circunferencial varía a través de la pared de la tubería, y se calcula mediante la ecuación de "Lame", como se ve a continuación:

$$S_H = P\left(r_i^2 + r_i^2 r_o^2/r^2\right) / \left(r_o^2 - r_i^2\right) \tag{2.24}$$

Donde:

- S_H: Esfuerzo cirfunferencial, causado por presión.
- r_i: Radio interior de la tubería.
- r_i: Radio exterior de la tubería.
- r_i: Posición radial donde el esfuerzo esta siendo considerado.

El esfuerzo circunferencial puede ser aproximado de manera conservadora por un cilindro de pared delgada (espesor muy pequeño), asumiendo que la fuerza de presión,

aplicada en un largo arbitrario de la tubería "L"$(F = Pd_iL)$, es resistido uniformemente por la pared de la tubería sobre esa misma longitud $(A_m = 2eL)$.

$$S_H = \frac{Pd_il}{2eL} \tag{2.25}$$

o de manera conservadora:

$$S_H = \frac{Pd_o}{2e} \tag{2.26}$$

Esfuerzo Radial

El esfuerzo radial es el tercer esfuerzo normal presente en la pared de una tubería, actuando en la tercera dirección ortogonal, paralela al radio de la tubería. Este esfuerzo, el cual es causado por la presión interna, varía entre un esfuerzo igual a la presión interna contenida en la sección interior de la tubería y a un esfuerzo igual a la presión atmosférica en la superficie externa de la tubería.

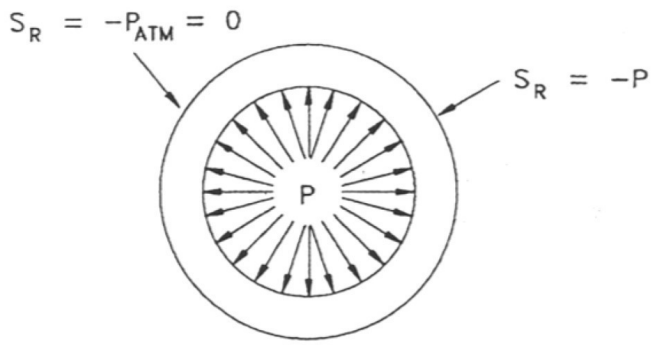

Figura 2.9: *Esfuerzo radial en una tubería.*

Asumiendo que no existe presión externa, el esfuerzo radial se puede calcular de la siguiente forma:

$$S_R = P\left(r_i^2 - r_i^2 r_o^2/r^2\right) / \left(r_o^2 - r_i^2\right) \tag{2.27}$$

Donde:

- S_R: Esfuerzo radial, debido a la presión.

Notar que el esfuerzo radial es cero cuando r toma el valor del radio exterior r_o, donde el esfuerzo por flexión es máximo. por esta razón, esta componente de esfuerzo ha sido tradicionalmente ignorada durante los cálculos de esfuerzos para análisis de flexibilidad.

Esfuerzo de Corte

Estos esfuerzos son aplicados en una dirección paralela a la cara del plano de la estructura de cristal del material, y tienden a formar planos adyacentes de cristal que deslizan unos contra otros. Estos esfuerzos pueden ser causados por más de un tipo de carga aplicada. Por ejemplo, se puede causar esfuerzo cortante por una fuerza cortante, actuando en la sección transversal de la tubería:

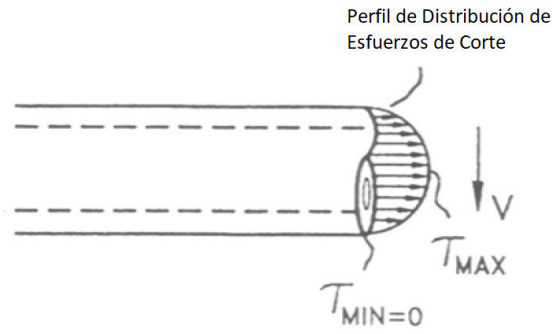

Figura 2.10: *Esfuerzo de corte provocado por fuerzas de corte.*

$$\tau_{max} = \frac{VQ}{A_m} \tag{2.28}$$

Donde:

- τ_{max}: Esfuerzo de corte máximo.
- V: Fuerza cortante.
- Q: Factor de forma cortante ($1,333$ para una sección circular sólida).

La distribución de estos esfuerzos esta dada de la siguiente forma; son máximos en el eje axial de la tubería, y mínimos cuando mayor es la distancia al eje central de la tubería. Siendo estos esfuerzos lo contrario a los esfuerzos por flexión, y debido a que estos esfuerzos son pequeños, son tradicionalmente despreciados en los cálculos de esfuerzos.

También pueden ser causados por cargas torsionales:

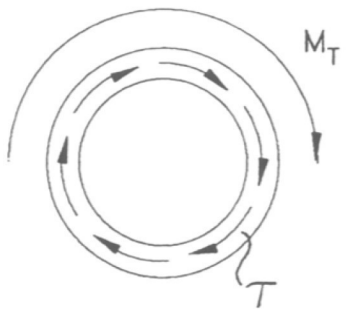

Figura 2.11: *Esfuerzo de corte provocado por cargas torsionales.*

$$\tau_{max} = \frac{M_T a}{R} \tag{2.29}$$

Donde:

- M_T: Momento torsor interno, actuando en la sección transversal.
- a: Distancia al punto de interés desde el centro de la tubería.
- R: Resistencia torsional de la sección transversal.
- $R = 2I \quad \rightarrow \quad \dfrac{p\,(d_o^4 - d_i^4)}{32}$

El esfuerzo torsional máximo ocurre cuando c es máximo, esto ocurre cuando $a = r_o$ (radio exterior).

$$\tau_{max} = \frac{M_T r_o}{2I} \quad \rightarrow \quad \frac{M_T}{2Z} \tag{2.30}$$

Sumando todas las componentes, el esfuerzo de corte máximo de la sección transversal es:

$$\tau_{max} = \frac{VQ}{A_m} + \frac{M_T}{2Z} \tag{2.31}$$

2.2.4. Teorías de Falla

Los esfuerzos calculados deben ser comparados con los permitidos por cada material. Los esfuerzos permitidos por los materiales son los determinados por los ensayos axiales de tracción. Para poder relacionar y comparar estos esfuerzos se deben estudiar las diversas teorías de fallas, las cuales establecen una relación entre un estado tridimensional y un estado uniaxial de esfuerzos, debido a que los datos de falla son obtenidos a través de ensayos de tracción del material.

Dentro de las teorías de falla utilizadas por los códigos se pueden mencionar:

Teoria de Von Mises

"La falla ocurre cuando el esfuerzo de corte octaedral en un cuerpo, es igual al esfuerzo de corte octaedral bajo condición de fluencia en un ensayo de tracción". El esfuerzo de corte octaedral es calculado de la siguiente forma:

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2}}{3} \tag{2.32}$$

Para las condiciones de un ensayo de tracción uniaxial se tienen las siguientes consideraciones:

- $S_1 = S_{flu}$
- $S_2 = S_3 = 0$

Por lo tanto el esfuerzo de corte octaedral para un ensayo uniaxial tiene la siguiente forma:

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{(S_{flu} - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - S_{flu})^2}}{3}$$

$$\tau_{oct} = \sqrt{2} \cdot \frac{S_{flu}}{3} \tag{2.33}$$

Por lo tanto, se tiene que la deformación plástica ocurrirá cuando el esfuerzo de corte octaedral supere el valor obtenido mediante la ecuación 2.33.

Teoria de Tresca

"La falla ocurre cuando el esfuerzo de corte máximo en un cuerpo, es igual al esfuerzo de corte máximo bajo condición de fluencia en un ensayo de tracción". El esfuerzo de corte máximo es calculado de la siguiente forma:

$$\tau_{max} = \frac{S_1 - S_3}{2} \tag{2.34}$$

Para las condiciones de un ensayo de tracción uniaxial se tienen las siguientes consideraciones:

- $S_1 = S_{flu}$
- $S_2 = S_3 = 0$

Por lo tanto el esfuerzo de corte máximo para un ensayo uniaxial tiene la siguiente forma:

$$\tau_{max} = \frac{S_{flu} - 0}{2}$$

$$\tau_{max} = \frac{S_{flu}}{2} \tag{2.35}$$

Por lo tanto se tiene que la deformación plástica ocurrirá cuando el esfuerzo de corte máximo supere el valor obtenido mediante la ecuación 2.35.

Teoria de Rankine

"La falla ocurre cuando el esfuerzo de tracción máximo en un cuerpo, es igual al esfuerzo de tracción máximo bajo condición de fluencia en un ensayo de tracción". El esfuerzo de tracción máximo corresponde al esfuerzo máximo principal (S_1). Por ende, para las condiciones de un ensayo de tracción uniaxial se tienen las siguientes consideraciones:

$$S_1 = S_{flu}$$

$$S_2 = S_3 = 0 \tag{2.36}$$

Por lo tanto se tiene que la deformación plástica ocurrirá en un estado tridimensional de esfuerzos cuando el esfuerzo máximo principal supere el valor obtenido del esfuerzo de fluencia.

2.2.5. Categorización de Tuberias

La categorización de las tuberías consiste en definir el grado de criticidad que tienen para el sistema, con el fin de establecer el tipo de estudio y grado de detalle del análisis que se debe realizar. Con esto se logra diferenciar aquellas líneas que requieren de un análisis de flexibilidad formal, de manera computacional o manual, de otras líneas que solo requieren inspección visual.

Esta categorización se realiza en una primera instancia de acuerdo a las condiciones de diseño y operación del sistema (temperatura y presión), los equipos conectados a ella (bombas, compresores, hidrociclones, entre otros), tipo de fluido transportado, etc.

Las líneas se categorizan en cuatro niveles o categorías, siendo "I" la más crítica, y "IV" la menos crítica. A continuación se presenta un gráfico donde se clasifican las líneas según diámetro y temperatura de operación.

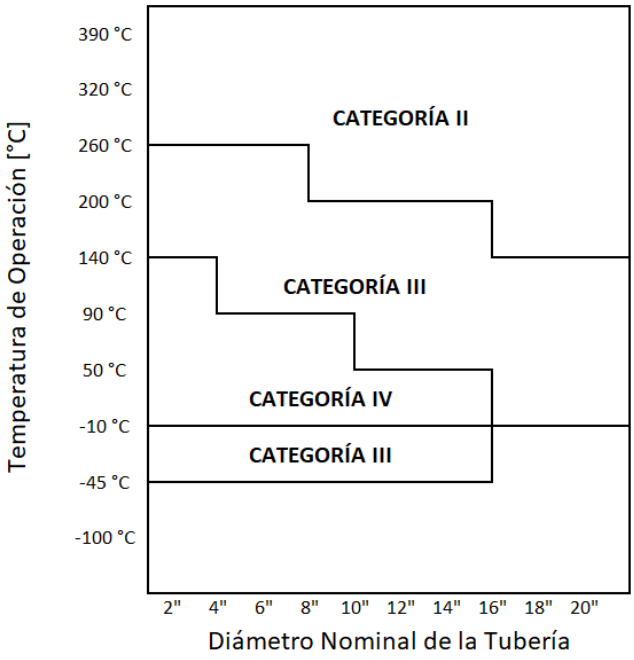

Figura 2.12: *Categorización de tuberías.*

Categoría I

Corresponden a líneas críticas, las cuales requieren un diseño y análisis especial. Estas líneas deben ser analizadas con un software especializado en diseño de tuberías.

Algunos de los criterios a considerar para clasificar estas líneas son los siguientes:

- Líneas de operación con alta presión (mayores a 900 Psi).
- Líneas de servicios con alta temperatura (superiores a 315°C).
- Líneas de diámetro mayor a 20”(DN 500).
- Líneas diseñadas para más de 22.000 ciclos de operación.
- Líneas conectadas a equipos que requieran estudios de vibración.
- Líneas con flujo en dos fases.
- Líneas con juntas de expansión.
- Líneas con servicio de fluidos críticos por toxicidad, inflamabilidad, etc., incluidos en la categoría M de la norma ASME B31.3.
- Líneas de gas natural licuado (LNG).
- Líneas de categoría II que según criterio del ingeniero deben someterse a un estudio más exhaustivo.

Categoría II

Este tipo de tuberías son de un grado de criticidad menor que las de categoría I, pero que también requieren de un análisis por computadora con un software especializado.

Para esta categoría se incluyen:

- Líneas conectadas a bombas y compresores alternativos o centrífugos, y/o turbinas que cumplan con los siguientes aspectos [**?**]:

  a) Diámetro nominal menor a 3”(DN 75) y temperatura de diseño mayor a 65°C, o menor a 6°C.

  b) Diámetro nominal mayor a 12”(DN 300) y temperatura de diseño mayor que 50°C, o menor que 6°C.

- Líneas conectadas a bombas centrífugas.
- Líneas conectadas a recipientes a presión.
- Líneas contectadas a hornos y calderas.
- Líneas sometidas a vibraciones.
- Líneas conectadas a cajas frías.
- Líneas conectadas a aeroenfriadores.
- Líneas sujetas a presión externa.
- Líneas de materiales especiales como titanio, monel, incoloy, entre otros.
- Líneas sometidas a cargas ocasionales importantes que requieran de algún análisis dinámico.

Categoría III

Estas líneas requieren un análisis formal, aunque no tan detallado como las categorías I y II. Estos análisis se pueden hacer de manera manual o utilizando hojas de cálculo. Sin embargo, si los cálculos dan como resultado la necesidad de realizar cambios en el diseño de la línea, habrá que corroborar estos cambios con un cálculo por computadora, debido a que los métodos manuales son más conservadores, por lo que se pueden evitar cambios innecesarios dentro del diseño. Dentro de las líneas que se encuentran dentro de esta categoría están las siguientes:

- Líneas conectadas a equipos con limitación de cargas externas y/o de esfuerzos, que aparecerían dentro de la Categoría II, pero que debido a su diámetro o temperatura, no quedan dentro de ella.
- Líneas catalogadas como Power Plant Piping según ASME B31.3.

Categoría IV

En esta categoría se encuentran las líneas con bajo gradiente de temperatura o que se encuentran a temperatura ambiente, cuyo diámetro es relativamente pequeño. Estas líneas sólo requieren de una inspección visual para la colocación de soportes.

- Líneas que sustituyan a líneas existentes sin cambios significativos.
- Líneas con arreglos iguales a otras existentes en la planta y con las mismas condiciones de operación y diseño.
- Líneas que por semjanza a estudios previos pueda desestimarse efectuar un nuevo cálculo.

2.2.6. Soportes para Tuberías

Corresponden a elementos cuya función es soportar las cargas generadas en el sistema, así como, restringir o limitar movimientos de la tubería frente a la acción de cargas externas y de desplazamientos por expansión.

Existe una gran variedad de tipos de soportes, según el grado de restricción que estos ofrecen. A continuación se presentan algunos de los soportes más utilizados en los sistemas de piping.

Anclajes

Corresponde a un empotramiento de la cañería, el cual genera restricción tanto de fuerzas como momentos, en todos los ejes (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z). Normalmente estos empotramientos se conocen como ”Machones”, los cuales se fabrican de hormigón para anclar la tubería, tal como se muestra en la imagen a continuación:

Figura 2.13: *Machones de anclaje para líneas de relave.*

Apoyos Simple

Soportes cuyo objetivo es generar una restricción en solo 1 dirección, por lo general en el eje vertical para aguantar pesos de la cañeria, soportar válvulas, flanges u otros elementos.

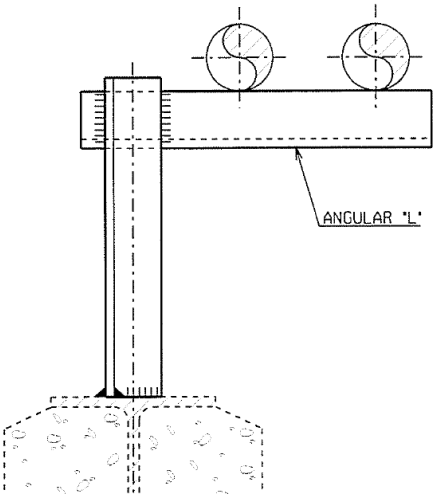

Figura 2.14: *Esquema apoyo simple para tuberías.*

Figura 2.15: *Soporte tipo apoyo simple en una tubería de relaves.*

Guías

Estos soportes generan restricciones verticales y transversales. Para las restricciones transversales están pueden tener restricción completa a los desplazamientos, o tener cierto margen para que la tubería deslice, de manera de disminuir las cargas en el propio soporte, y aportar flexibilidad al sistema.

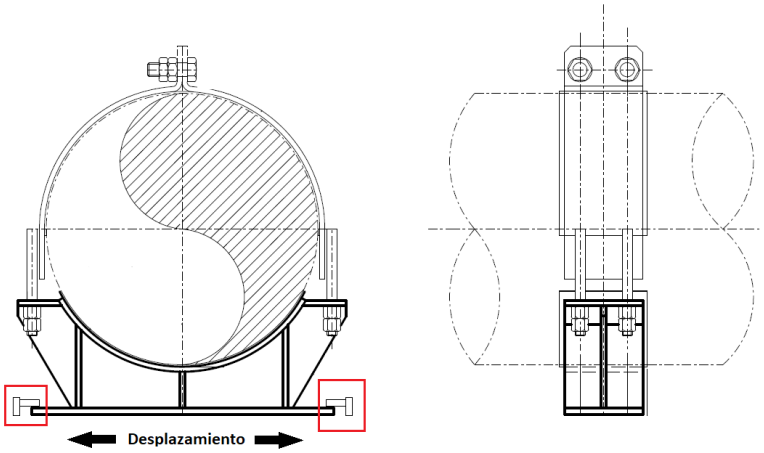

Figura 2.16: *Esquema soporte tipo guía.*

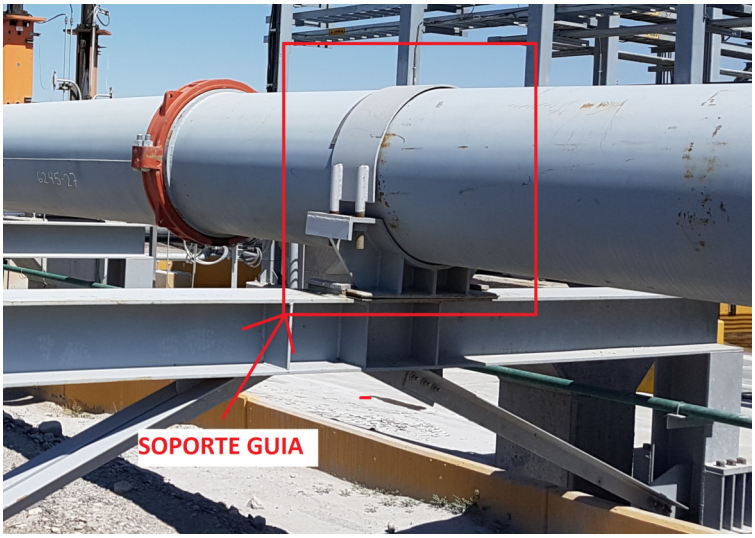

Figura 2.17: *Soporte guía en una tubería de relaves.*

Line Stop

Este tipo genera restricción en el eje axial de la tubería, al igual que los soportes guía, pueden tener restricción completa o permitir cierto desplazamiento en esta.

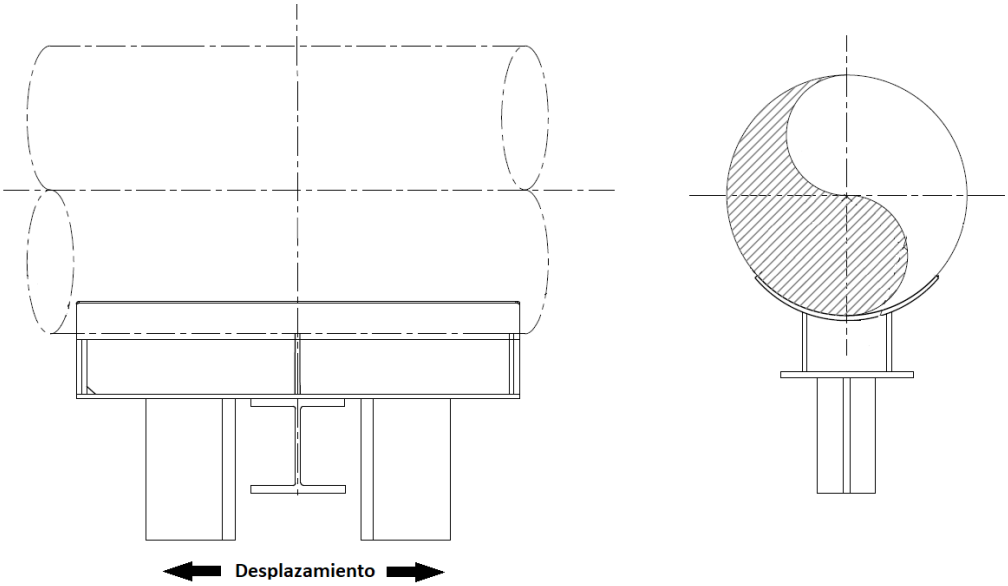

Figura 2.18: *Esquema soporte tipo line stop.*

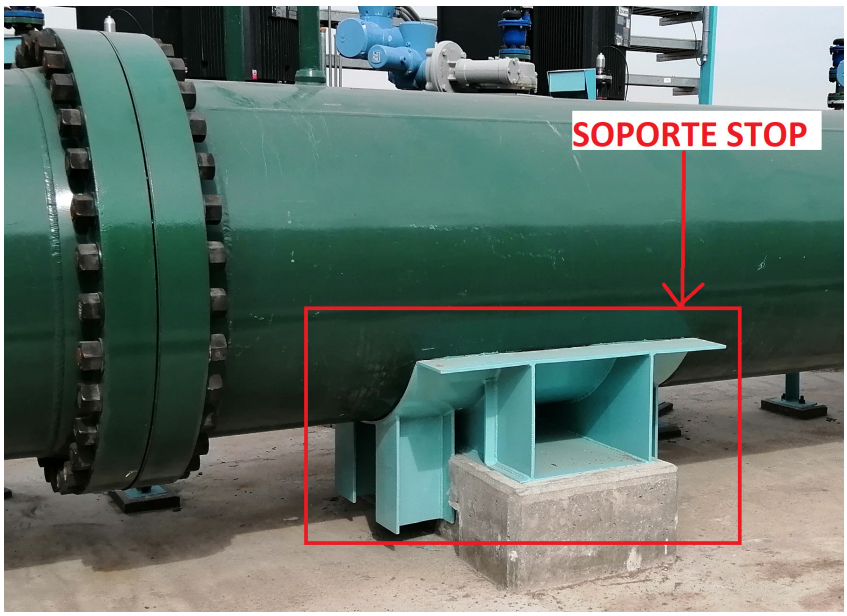

Figura 2.19: *Soporte tipo stop en una tubería de relaves.*

Colgantes

Corresponden a los soportes que se ubican generalmente a través de estructuras, y que van a alturas considerables, donde las opciones son suspendidos y soportados en la estructura con colgadores o tirantes.

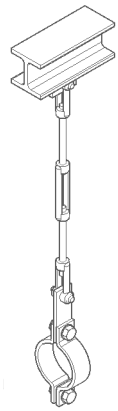

Figura 2.20: *Esquema soporte colgante típico.*

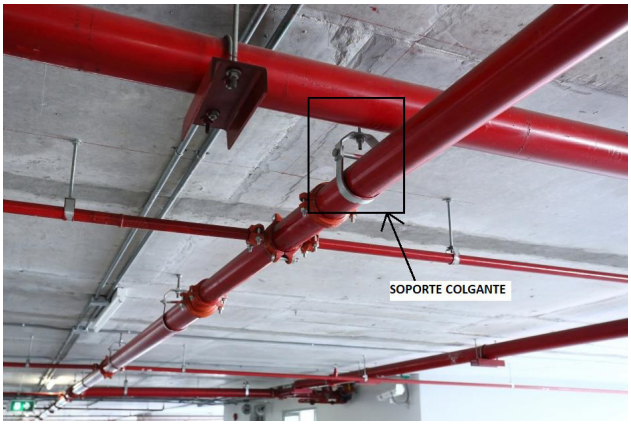

Figura 2.21: *Soporte colgantes en tuberías de agua de incendio.*

2.2.7. Factores que afectan la Flexibilidad

Diámetro y Peso

Respecto al diámetro, mientras más grande sea, mayor será la rigidez de la tubería, por lo tanto esta será menos flexible. El peso tanto de la cañería como del fluido que transporta se considera como una carga uniformemente distribuida. Los flanges, válvulas, codos, reducciones y otros se modelan como cargas con un factor de intensificación de esfuerzos.

Presión Interna

La presión interna de la tubería afecta de forma significativa la flexibilidad de la línea. Como el esfuerzo por presión es directamente proporcional a la presión interna, con una presión mayor, se requiere un espesor de pared mayor, por lo cual, la rigidez de la tubería aumenta, y con ello disminuye la flexibilidad asociada a la línea.

Cambios de Dirección

Estos son muy necesarios, principalmente para compensar los efectos de expansión térmica, las conexiones con tramos rectos presentan problemas, ya que son altamente rígidas, y debido a la expansión o compresión de la tubería se generan cargas muy altas en las conexiones. Debido a esto es que siempre se busca flexibilizar el sistema con codos de 90°, para así compensar los desplazamientos. Codos en otros ángulos no generan el mismo efecto.

Expansión Térmica

Este es el efecto más importante que se debe tener en consideración en un análisis de flexibilidad para tuberías, este es el causante de la mayoría de las fallas. La

expansión depende del material de la tubería, largo y diferencia de temperatura entre la instalación y operación. Según la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \tag{2.37}$$

Para el manejo de estas expansiones térmicas, se debe tomar en cuenta su magnitud. Su manejo se realiza empleando lazos de expansión (Liras u omegas), uniones flexibles (tipo victaulic), manguerotes y juntas de expansión o juntas tipo Dresser.

- Juntas de Expansión

  Mecanismo utilizado para absorber los cambios dimensionales producidos por expansión y/o contracción térmica de tuberías. Estos elementos resultan una solución para casos como:

  a) Poca disponibilidad de espacio.
  b) Tuberías de aceros especiales, donde los lazos de expansión resultan muy costosos.
  c) Aislación de vibraciones mecánicas de un equipo del sistema de piping.
  d) Protección de equipos delicados, donde las cargas admisibles de estos son muy bajas.

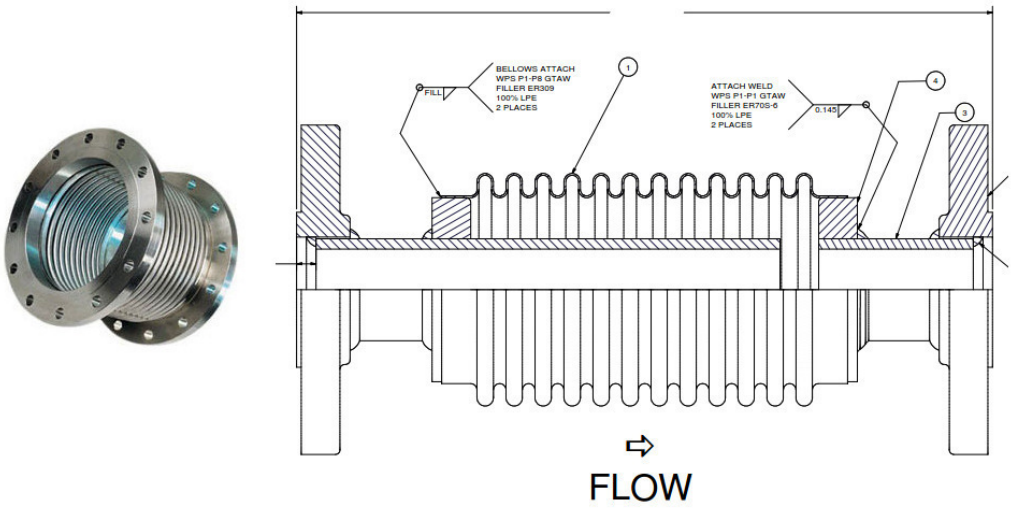

Figura 2.22: *Esquema de una junta de expansión metálica.*

- Lazos de Expansión

  Los lazos de expansión (liras u omegas) son diseñados para contrarrestar los cambios dimensionales ocurridos por expansiones térmicas. Son simples y económicos para líneas pequeñas. A medida que los diámetros van

incrementandose, la instalación de estos se vuelve más compleja, lo cual resulta en altos costos. Su mayor desventaja es que incrementan las pérdidas por fricción del sistema. Sin embargo, son más seguros que las juntas de expansión. Generalmente utilizados en tramos de tuberías a campo traviesa.

Figura 2.23: *Línea con lazo de expansión.*

Viento

Estos se consideran como fuerzas estáticas uniformemente distribuidas en la dirección predominante de estos. Se deben tomar en cuenta en el cálculo de líneas mayores a 24”que estén expuestas al ambiente y cuya elevación supere los 9 metros de altura. Los valores de estas cargas se establecen en las bases de diseño de cada proyecto, y acorde a la norma chilena NCh432Of.2010.

Sismos

Para las cargas sísmicas, se utilizan los coeficientes sísmicos definidos por la norma chilena NCh 2369 Of. 2003. El sismo se define según la ubicación geográfica dentro de Chile, tal como se aprecia en la siguiente figura, extracto de la tabla original de la norma NCh 2369.

Tabla 5.1 - Zonificación sísmica por comunas para las Regiones Cuarta a Novena (continuación)

Región	Zona 3	Zona 2	Zona 1
Metropolitana	Alhué Curacaví El Monte Lampa María Pinto Melipilla San Pedro Tiltil	Buin Calera de Tango Cerrillos Cerro Navia Colina Conchalí El Bosque Estación Central Huechuraba Independencia Isla de Maipo La Cisterna La Florida La Granja La Pintana La Reina Las Condes Lo Barnechea Lo Espejo Lo Prado Maipú Ñuñoa Paine Pedro Aguirre Cerda Peñaflor Peñalolén Pirque Providencia Pudahuel Puente Alto Quilicura Quinta Normal Recoleta Renca San Bernardo San Joaquín San José de Maipo San Miguel San Ramón Santiago Talagante Vitacura	

(continúa)

Figura 2.24: *Extracto de norma NCh2369 con zonas sísmicas según lugar geográfico.*

Los valores de aceleraciones máximas se extraen de la tabla 5.2 de la norma NCh 2369, según se muestra a continuación:

Tabla 5.2 - Valor de la aceleración efectiva máxima A_0

Zona sísmica	A_0
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

Figura 2.25: *Extracto de norma NCh2369 con aceleraciones según zonas sísmicas.*

Para el cálculo de los coeficientes sísmicos por componente se utilizan los parámetros R, ξ y factor de importancia I según referencias de la norma NCh 2369, a continuación se presentan extractos de estas tablas:

Tabla 5.5 - Razones de amortiguamiento

Sistema resistente	ξ
Manto de acero soldado; chimeneas, silos, tolvas, tanques a presión, torres de proceso, cañerías, etc.	0,02
Manto de acero apernado o remachado	0,03
Marcos de acero soldados con o sin arriostramiento	0,02
Marcos de acero con uniones de terreno apernadas, con o sin arriostramiento	0,03
Estructuras de hormigón armado y albañilería	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado puramente gravitacionales	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas dilatadas de los elementos no estructurales	0,03
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones secas, dilatadas y no dilatadas: Con conexiones apernadas y conexiones mediante barras embebidas en mortero de relleno Con conexiones soldadas	 0,03 0,02
Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista	0,02

Figura 2.26: *Extracto norma NCh 2369 para razón de amortiguamiento.*

Tabla 5.6 - Valores máximos del factor de modificación de la respuesta (conclusión)

Sistema resistente		R
8.	Torres, tuberías y equipos	
8.1	Torres de proceso	3
8.2	Torres de enfriamiento de madera o plástico	4
8.3	Gabinetes de control eléctrico apoyados en el suelo	3
8.4	Tuberías de acero, excepto sus conexiones	5
9.	Estanterías de almacenamiento	4

Figura 2.27: *Extracto norma NCh 2369 para factor de modificación de respuesta.*

C1	I = 1,20
C2	I = 1,00
C3	I = 0,80

Figura 2.28: *Extracto norma NCh 2369 para factor de importancia*

Fuerzas Transientes

Estas fuerzas son generadas por fenómenos transientes o transitorios en el sistema, principalmente generadas por cierres de válvulas, aperturas en válvulas de alivio, estrangulamientos repentinos, entre otros factores. Para efectos prácticos, estas cargas pueden considerarse como fuerzas estáticas.

Las fuerzas transitorias se consideran dentro de los análisis de flexibilidad como fuerzas aplicadas en los codos y cambios de dirección del sistema, estas se calculan considerando el diferencial de presión causado por el fenómeno transiente (Waterhammer) en cada cambio de dirección.

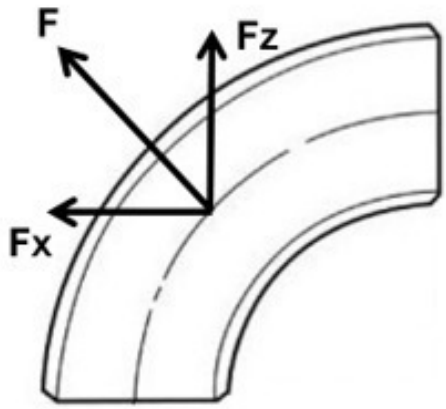

Figura 2.29: *Proyección de fuerzas transientes sobre cambios de dirección*

La fuerza generada sobre los cambios de dirección se determina utilizando el Teorema de Transporte de Reynolds, mediante el cuál se evalúa la conservación de la masa y la cantidad de movimiento. Estas ecuaciones se describen a continuación

Conservación de masa:

$$\frac{d}{dt}\iiint_{VC}\rho dV + \iint_{SC}\rho\left(\overrightarrow{W}\cdot\widehat{n}\right)dA = 0 \tag{2.38}$$

Conservación de la cantidad de movimiento:

$$\sum F_{externas} = \frac{d}{dt}\iiint_{VC}\rho\overrightarrow{W}dV + \iint_{SC}\rho\overrightarrow{W}\left(\overrightarrow{W}\cdot\widehat{n}\right)dA \tag{2.39}$$

Para determinar la velocidad del fluido según la proporción de vapor generada por Flashing, se utiliza el siguiente gráfico el cual muestra la relación entre la calidad de vapor y la velocidad del fluido.

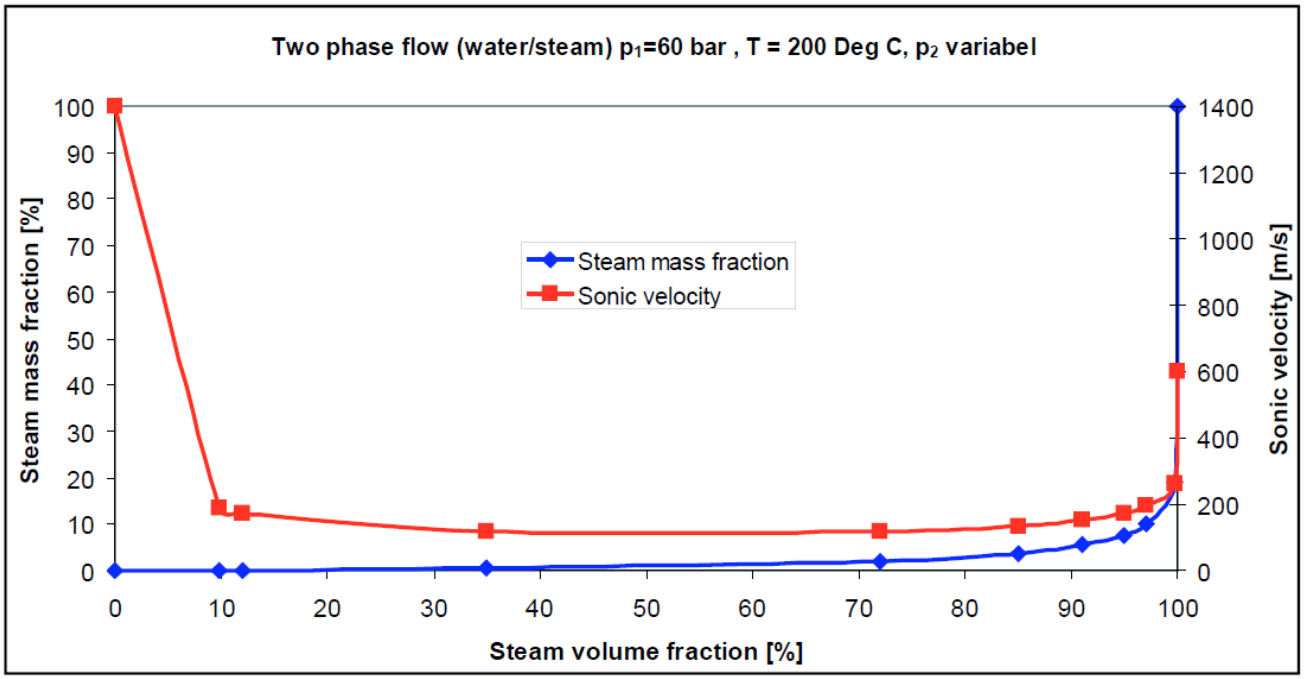

Figura 2.30: *Velocidades de fluido según calidad de vapor.*

Capítulo 3

Metodolgía

En este capítulo, se explicarán los detalles del sistema considerado para el análisis, en conjunto con todas las consideraciones para el estudio del fenómeno en cuestión. Además, se describen los pasos utilizados para la generación del modelo piping, los parámetros utilizados y consideraciones para la simulación numérica.

3.1. Sistema de Transporte de Agua

Para el desarrollo de esta memoria se estudiará el fenómeno de flashing en un sistema de piping. Para ello se utilizó la configuración del banco de tubos, ubicado en el laboratorio de termofluidos de la "Universidad Técnica Federico Santa María". La configuración del sistema se puede apreciar en la siguiente imagen.

Figura 3.1: *Fotografía de la disposición del banco de tubos utilizado para el análisis*.

El sistema esta compuesto por 2 bombas centrífugas, las cuales bombean agua a través de una línea de acero de 2 pulgadas en un circuito cerrado, descargando en un estanque desde el cual se vuelve a bombear el agua. Los detalles de los diferentes elementos presentes en el sistema se detallan a continuación:

- Cañerías

  Líneas de 2", acero ASTM A53 Grado A, Schedule STD, ERW.

- Bombas

  El sistema de bombeo esta compuesto por 2 bombas centrífugas. Se considera un flujo de $25m^3/h$ con una altura de 50 mca.

- Válvulas e instrumentos

  Dentro de las válvulas del sistema, se tienen; válvulas de bola (para cerrar o abrir líneas) con extremos roscados y una válvula de globo neumática (Para control de flujo del sistema) con extremos flangeados.

  La instrumentación presente esta compuesta de sensores de presión en las succiones y descargas de bombas, y en otros tramos de la línea. Además se tiene un flujómetro (instrumento para medir el caudal que circula por la línea) con extremos flangeados.

- Fittings

  Los fittings corresponden a todas las piezas que permiten lograr el trazado de un sistema de piping, cambios de dirección, uniones, reducciones, etc. Dentro de los fittings que componen el sistema estan los siguientes:

  a) Codo de $90°$ en tamaños de 2" y 2 1/2".
  b) Tee en tamaños de 2" y 2 1/2".
  c) Coplas en tamaños de 2" y 2 1/2".
  d) Flange en tamaños de 2".
  e) Reducción concéntrica en tamaños de 2×1 1/2".
  f) Copla reductora en tamaños de 2×1 1/2".

Además de conocer los elementos presentes en el sistema, es importante tener la información técnica de estos, materialidad, peso, distancia entre caras. Todos estos datos son fundamentales para construir un modelo representativo del sistema real que se va a analizar, es por ello que a continuación se adjunta una tabla con los datos necesarios de cada elemento para la construcción del modelo numérico.

3.1.1. Elementos del Sistema

Existen distintos elementos que conforman el sistema de piping, por lo tanto, es necesario poseer la información técnica referente a ellos (Dimensiones principales, peso, materialidad, etc.). Dentro de los elementos que podemos ver en el sistema.

Tabla 3.1: Datos de los elementos del sistema de piping.

Descripción	Tamaño[Pulgadas]	Face to Face[mm]	Peso[N]
Codo 90°	2”	70	6
Codo 90°	2 1/2”	76	8,5
Tee	2”	70	9,2
Tee	2 1/2”	76	14,5
Reducción concéntrica	2×1 1/2”	64	4,2
Copla reductora	2×1 1/2”	46	6,7
Copla	2”	46	6,7
Copla	2 1/2”	46	7,9
Válvula de bola	1 1/2”	95	20
Válvula de bola	2”	109	25
Válvula de bola	2 1/2”	160	35
Flujómetro	2”	200	90
Válvula de globo	2”	255	170
Flange	2”	25	35

3.1.2. Datos Experimentales

Para la inclusión en el análisis del fenómeno de flashing se utilizó el desarrollo experimental realizado por Abuaf [3]. Este estudio fue realizado en una boquilla convergente-divergente, considerando inicialmente agua en estado de líquido comprimido (sub-cooled liquid). La figura 3.2 muestra esquemáticamente la forma de la boquilla y sus dimensiones. Las condiciones de operación (temperatura, presión, etc) se muestran en la tabla 3.2. La configuración del experimento contempla un flujo agua en estado estacionario que se estrangula a través de la boquilla para generar flashing aguas abajo de la estrangulación. Este experimento contempla 49 puntos de medición en la pared de la boquilla, además, dos ventanillas de observación para la entrada y salida de fluido. Con esto, se obtienen las mediciones de flujo másico, presión aguas arriba y aguas abajo, temperatura del fluido y punto de flasheo del fluido (flashing inception point).

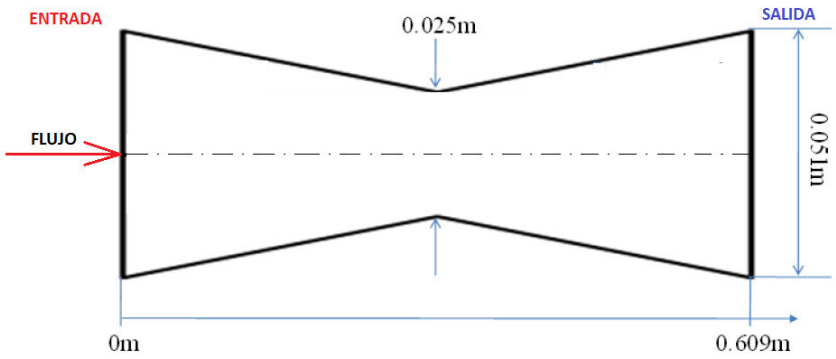

Figura 3.2: *Esquema de referencia utilizado para estudio del flashing.*

Los parámetros de operación utilizados se recogen del documento desarrollado por Dang Le [46], estos datos se adjuntan a continuación:

Tabla 3.2: Condiciones y casos de operación según mediciones de Abuaf [15].

Caso	Presión Aguas Arriba [Pa]	Temperatura [°C]	Presión Aguas Abajo [Pa]	Presión Flashing [Pa]	Presión Saturación [Pa]	Flujo Másico [kg/s]
BNL 284	530000	149, 2	456000	404700	466000	7, 3
BNL 309	555900	149, 1	402500	393500	464800	8, 8
BNL 273	573500	148, 7	442100	419200	459800	8, 7
BNL 268	575200	148, 9	443000	405700	462300	8, 7
BNL 304	577700	149, 0	441000	399700	463500	8, 8
BNL 278	688600	148, 8	434100	425700	461000	11, 7
BNL 296	764900	148, 8	432600	417000	461000	13, 1

3.2. CAESAR II

El análisis de flexibilidad del sistema de piping anteriormente descrito se realiza utilizando el software CAESAR II, el cuál permite realizar simulaciones numéricas de sistemas de cañerías a través del método de elementos finitos y permitiendo exportar los reportes necesarios para mostrar resultados.

3.2.1. Descripción

Este programa permite al usuario realizar una simulación numérica de un sistema de cañerías y de los elementos que lo componen, considerando los parámetros operacionales para los cuales el sistema esta diseñado (presión, temperatura, fluido, entre otras).

En el presente trabajo, se utiliza el software CAESAR II para un análisis estático del sistema de tuberías, en el cuál se modelan los elementos que componen a este, de acuerdo a sus especificaciones técnicas respectivas. Los parámetros de operación son incorporados de acuerdo a las condiciones propias del sistema y de las referencias bibliográficas de los experimentos considerados.

El análisis estático en un sistema de cañerías utilizando CAESAR II consta básicamente de tres etapas:

- Piping Input: Primera etapa del proceso, donde se definen las condiciones de operación del sistema, se modelan las tuberías y todos los elementos del sistema (bombas, válvulas, fittings, etc). se define el código bajo el cual se analizará el sistema, y se incorporan las condiciones de diseño propias del sistema (sismos, viento, temperatura de instalación, entre otros aspectos).
- Static Analysis: Definición de los casos de carga que se utilizarán en el análisis, definiendo las combinaciones según lo requerido (Pruebas hidrostáticas, casos operacionales, expansiones térmicas y casos ocasionales).
- Static Output: Módulo donde se presentan los resultados, donde se pueden reportes de cargas en soportes, esfuerzos, revisión de flanges, desplazamientos, entre otros. según lo requiera el análisis del sistema.

La generación de los modelos en CAESAR II es un proceso relativamente simple, que consiste en describir los elementos que componen el sistema de piping, así como los efectos externos que actúan sobre él (condiciones de borde o cargas). Cada elemento del sistema está definido por un nodo de origen y uno de término, y requiere la especificación de diversos parámetros geométricos y materiales entre los que se encuentran; características dimensionales, longitud, dirección y sentido de la línea central, diámetro, espesor, tolerancias de corrosión y fabricación, materiales y sus propiedades, densidad, módulo de Poisson, módulo de elasticidad, densidad del fluido transportado, características del aislante en caso de requerirlo, entre otros.

Para elementos como flanges, válvulas, instrumentos, entre otros. El usuario, además, debe señalar que este se trata de un elemento rígido y definir su peso. Así mismo, se deben especificar las condiciones de temperatura y presión de diseño y operación de la línea. Para cada nodo definido en el modelo, es posible señalar la presencia de codos, tees, restricciones, fuerzas externas, desplazamientos impuestos, factores de intensificación de esfuerzos, etc.

Cuando se finaliza la incorporación de datos, el programa verifica su consistencia lógica, advirtiendo al usuario si detecta errores (nodos sin información, curvas

inconsistentes, entre otros.), y posteriormente genera los archivos que se procesarán en el análisis.

Luego, el usuario define los casos de carga y las condiciones de carga bajo las cuales se evaluará el sistema. Estos casos se construyen combinando las cargas definidas en el modelo del sistema. Para cada uno de estos grupos, el usuario puede definir un tipo de esfuerzo, lo que gobierna cuales ecuaciones de los códigos se emplearán para calcular y verificar los esfuerzos, con esta información el programa realiza la solución utilizando el método de elementos finitos del estado de esfuerzos, cargas y desplazamientos del sistema.

El próximo paso consiste en la revisión de los resultados obtenidos para así generar los reportes de texto y gráficos que detallan desplazamientos, esfuerzos, fuerzas y momentos para cada elemento, reacciones sobre restricciones, cumplimiento del código de diseño seleccionado para evaluar los esfuerzos.

3.2.2. Simulación Numérica

Previo a la construcción del modelo, es necesario tener la información técnica del sistema de piping a estudiar. Para esto, se visita al laboratorio de termofluidos de la "Universidad Técnica Federico Santa María", con el fin de registrar la información necesaria para la construcción y posterior simulación numérica del sistema.

La simulación comienza con la selección de la configuración de unidades de trabajo, la opción "MM.FILL"será la utilizada, por conveniencia. Con el fin que la modelación y los reportes que se extraigan estén en unidades convenientes para el usuario y de uso común en la industria. Luego se comienzan a agregar elementos, incorporando la información necesaria para cada par de nodos, detallada a continuación:

- Datos de la cañería (Materialidad, diámetro, espesor, longitud del tramo, dirección).
- Rangos de temperatura del sistema.
- Presiones de trabajo y de prueba hidráulica.
- Código de diseño a utilizar.

Los parámetros operacionales del sistema son definidos según el experimento de Abuaf [3], descritos en el trabajo de Dang Lee [46], según la tabla 3.2. Para determinar el caso a utilizar y sus datos operacionales se determina la fuerza transiente máxima

producida por este fenómeno, evaluando cada caso según las ecuaciones definidas en el capitulo 2.2.7, el caso máximo corresponde al caso BNL 296 de la tabla 3.2, y su cálculo se describe a continuación:

El sistema se analiza como se muestra en el siguiente esquema:

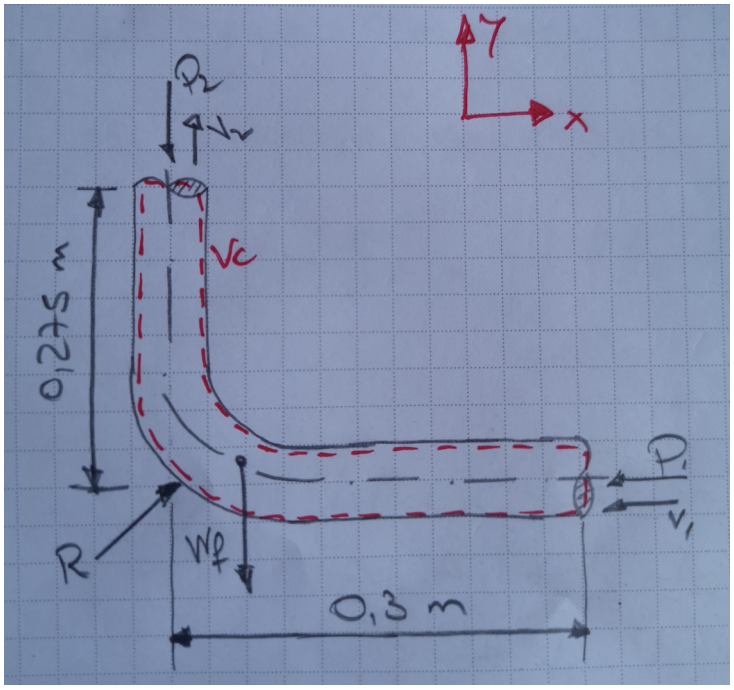

Figura 3.3: *DCL del sistema para cálculo de fuerzas.*

Además se definen los siguientes datos característicos del sistema:

- Diámetro interior tubería: $52,48mm$ según ASME B36.10
- Agua a $150°C$
- $\dot{m} = 13,1\,[kg/s]$
- $P_{entrada} = 765\,[kPa]$
- $A_i = 0,002163\,[m^2]$

Primero se definen las calidades de vapor a analizar

- $X = 0$
- $X = 0,1$
- $X = 0,3$
- $X = 0,55$

Luego, para cada valor de calidad de vapor se determina su velocidad según el gráfico de la figura 2.30, como se muestra a continuación:

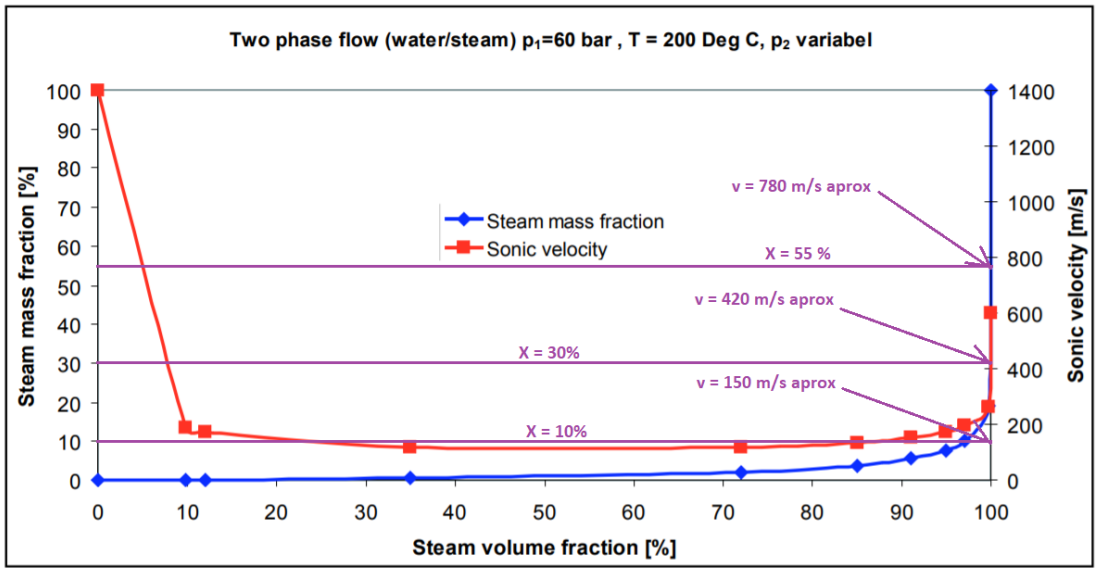

Fig. 8: Case study of sonic velocity areas below 200 m/s [656 ft/sec]

Figura 3.4: *Velocidades según calidades definidas.*

Luego, para determinar el valor de P_2 se utiliza la Ecuación de Bernoulli :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{W_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{W_2^2}{2g} + Z_2 + \sum perdidas \tag{3.1}$$

Para determinar las fuerzas ejercidas sobre el codo, se utiliza la conservación de la cantidad de movimiento en ambos ejes coordenados, dada por la ecuación 2.39.

Eje X

$$R_x - P_1 \cdot A_1 = \rho \cdot W_{prom}^2 \cdot A_1$$

Eje Y

$$R_y - P_2 \cdot A_2 - w_f = \rho \cdot W_{prom}^2 \cdot A_2$$

Por lo tanto, la reacción generada en el codo tiene una magnitud de:

$$\rightarrow R = \sqrt{R_x^2 + R_y 2}$$

Para cada caso de calidad de vapor se determinan las fuerzas asociadas, las cuales se muestran a continuación:

Calidad	Velocidad [m/s]	Fx [N]	Fy [N]	F [N]
0,00	-	-	-	-
0,10	150	2146,4	2001,7	2934,9
0,30	420	4156,4	4107,3	5843,4
0,55	780	7019,4	6992,5	9907,9

Figura 3.5: *Fuerzas según calidades definidas.*

Para el caso de operación normal se considera una calidad de $X = 0$ ya que no se genera vapor. Las fuerzas calculadas se incluyen en la simulación numérica.

Los elementos se componen de nodos de inicio y fin, mediante los cuales se genera la forma del sistema, dependiendo de los elementos que se quieran representar serán los datos que deberán ser digitados por el usuario. Los parámetros de operación se incorporan en el primer elemento, luego estos se mantienen por defecto, a menos que se requiera cambiar en algún elemento en particular. Los parámetros operacionales ingresados se aprecian a continuación:

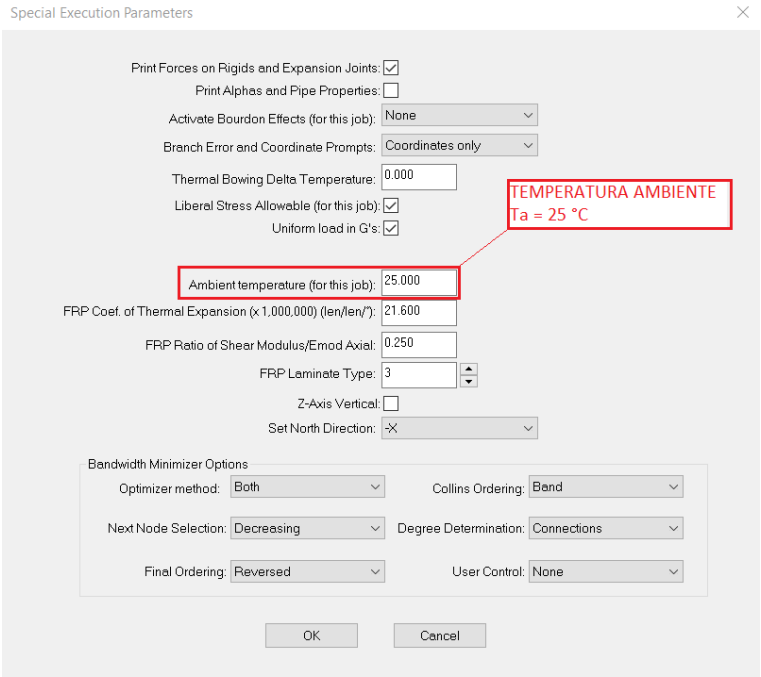

Figura 3.6: *Temperatura ambiente definida en CAESAR II.*

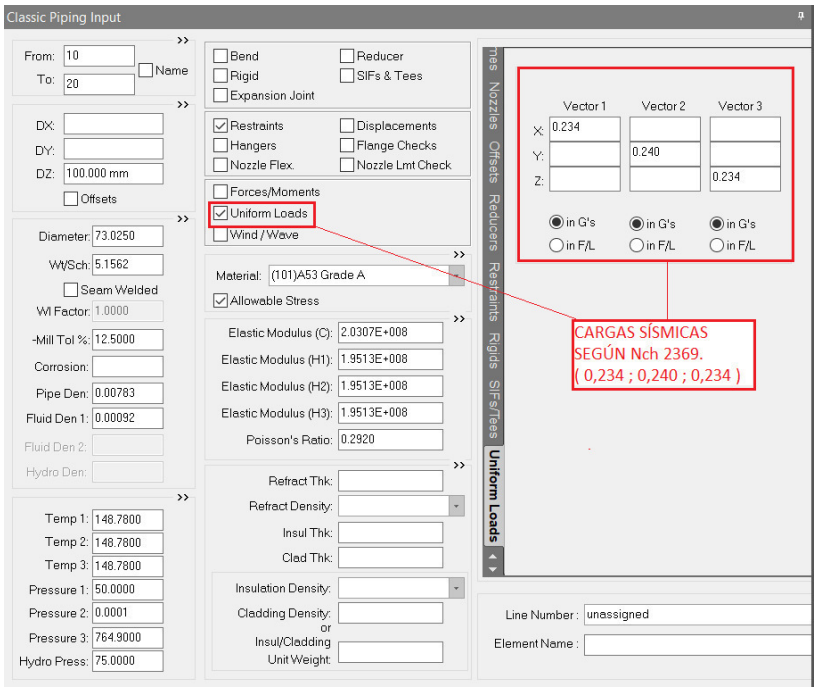

Figura 3.7: *Componentes sísmicas definidas en CAESAR II.*

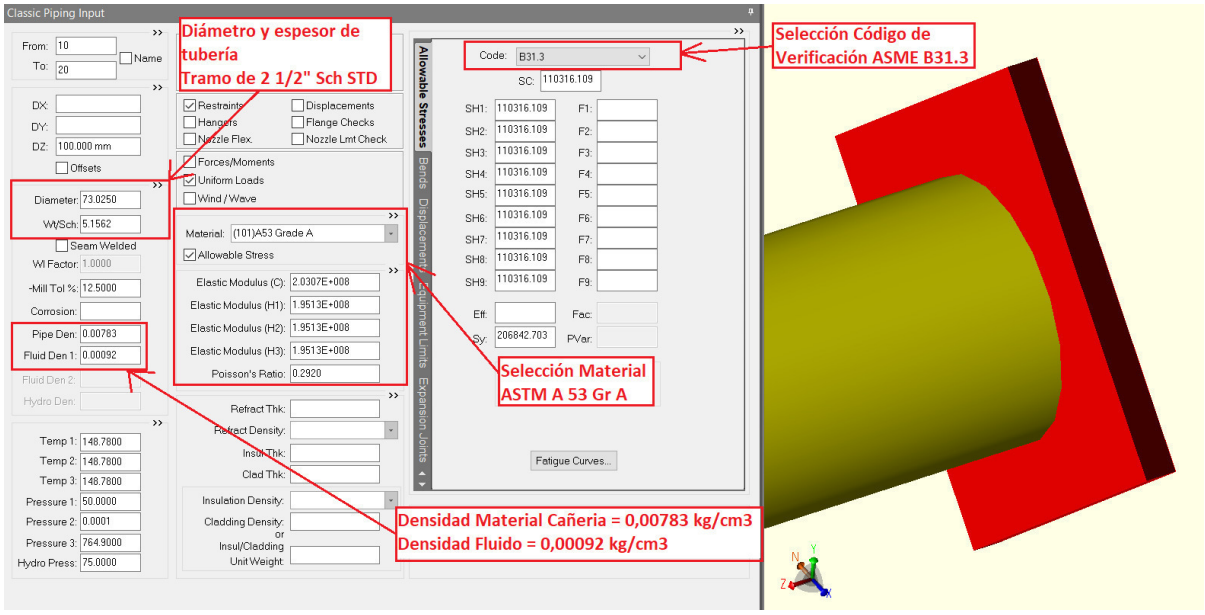

Figura 3.8: *Parámetros operacionales definidos en CAESAR II*

El código de diseño es el ASME B31.3, para tuberías de procesos. Esta norma es aplicable para variados sistemas de piping, se utiliza debido a la naturaleza del experimento de Abuaf [46] involucrando industrias de refinería, además, porque es de conocimiento general para análisis de flexibilidad y considera factores más restrictivos en su diseño, como las presiones de análisis de prueba hidráulica y esfuerzos máximos.

Luego de ingresar los parámetros en el primer elemento, se continúa con la modelación de los siguientes, con tal de replicar la configuración del sistema piping a analizar. Para modelar codos y tees solo basta con asignar el cambio de dirección correspondiente y luego especificar a que tipo de fitting corresponde. Para agregar reducciones basta con especificar dos diámetros y los espesores correspondientes. Válvulas, flanges e instrumentos se agregan como elementos rígidos, para lo cual se necesita especificar la distancia entre caras y su peso. La modelación de todos los elementos se puede apreciar en las siguientes figuras.

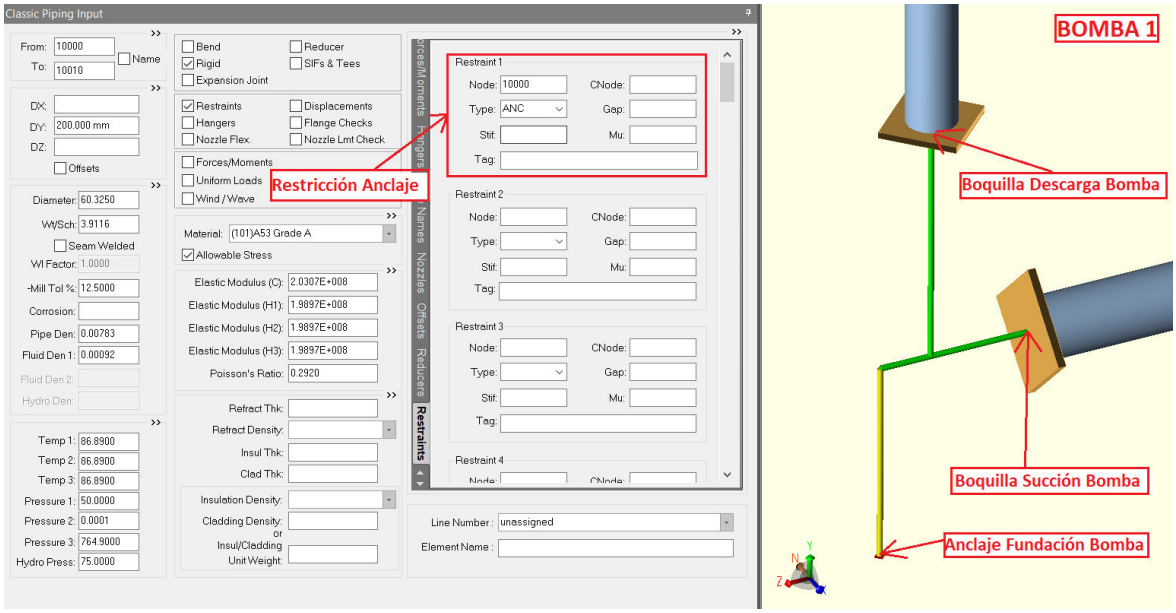

Figura 3.9: *Modelación de Bombas en CAESAR II.*

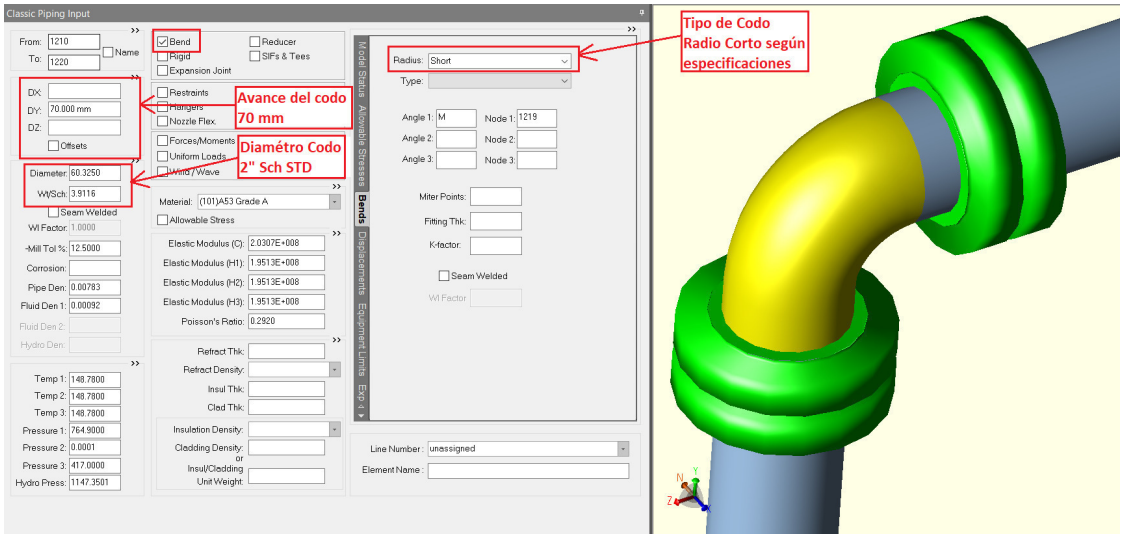

Figura 3.10: *Modelación de codo en CAESAR II.*

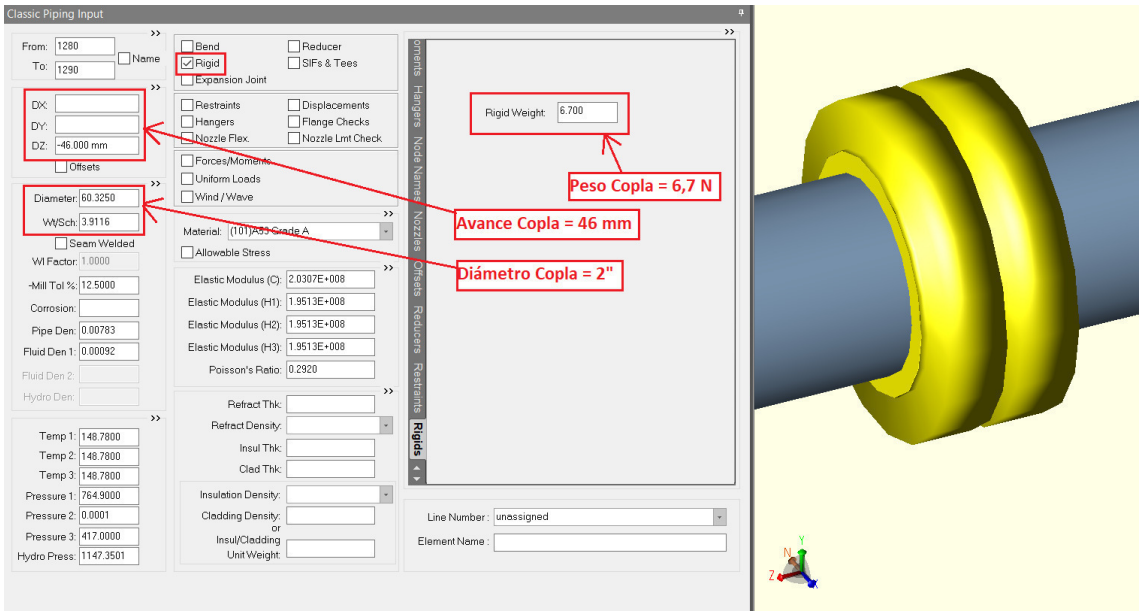

Figura 3.11: *Modelación de copla en CAESAR II.*

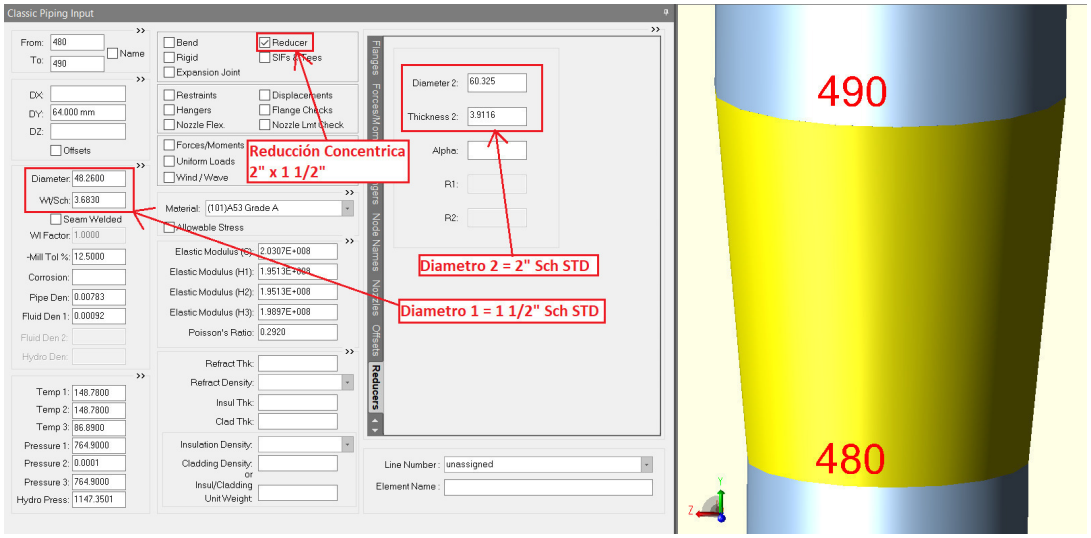

Figura 3.12: *Modelación de reducción en CAESAR II.*

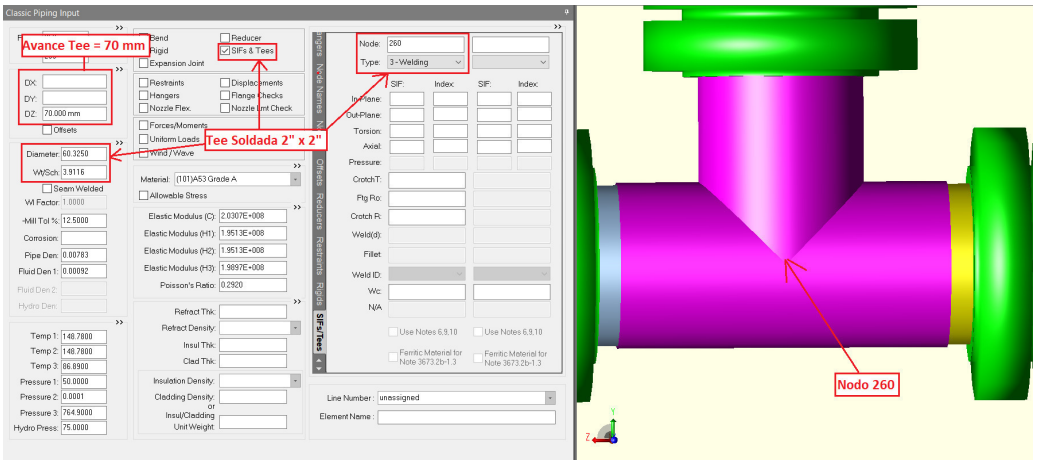

Figura 3.13: *Modelación de tee en CAESAR II.*

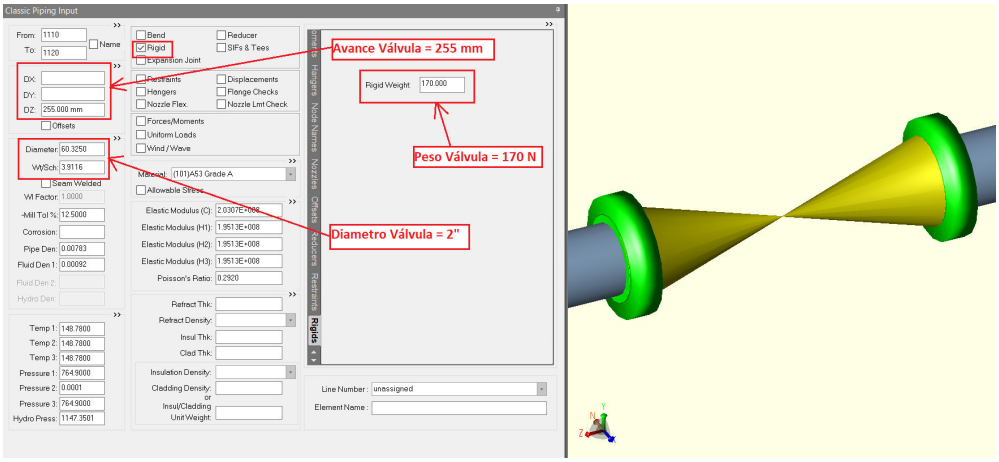

Figura 3.14: *Modelación de válvulas en CAESAR II.*

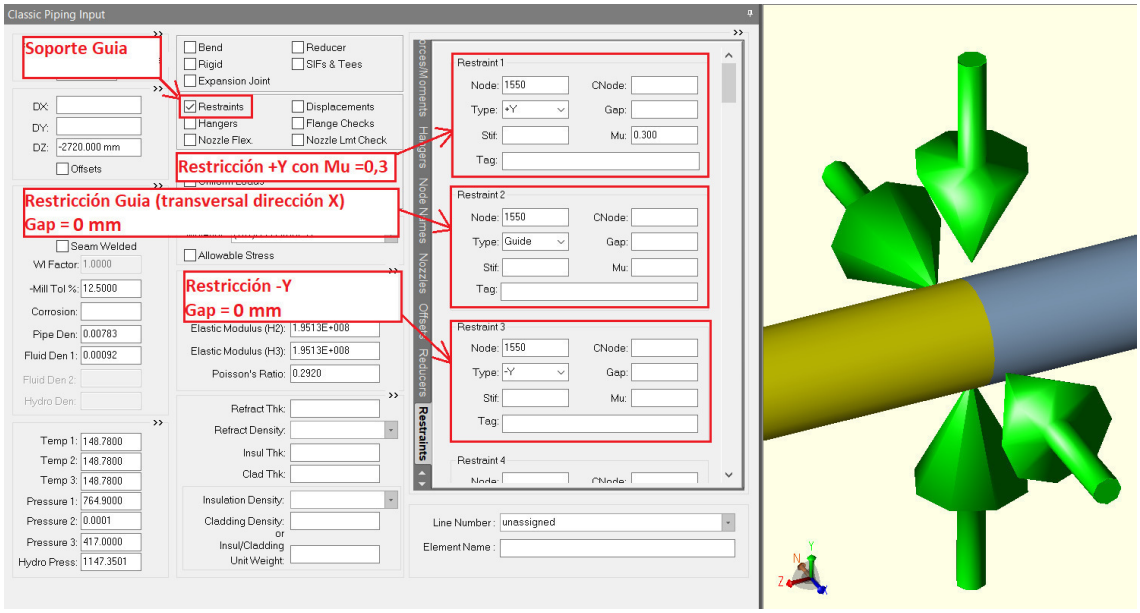

Figura 3.15: *Modelación de soportes en CAESAR II.*

La modelación de fuerza transitoria se realiza en cambios de dirección donde ocurre la diferencia de presión según lo definido en el capítulo anterior. Su magnitud fue definida previamente para seleccionar el caso operativo (BNL 296) y los parámetros a considerar según la tabla 3.2. La modelación de carga por Flashing se muestra a continuación:

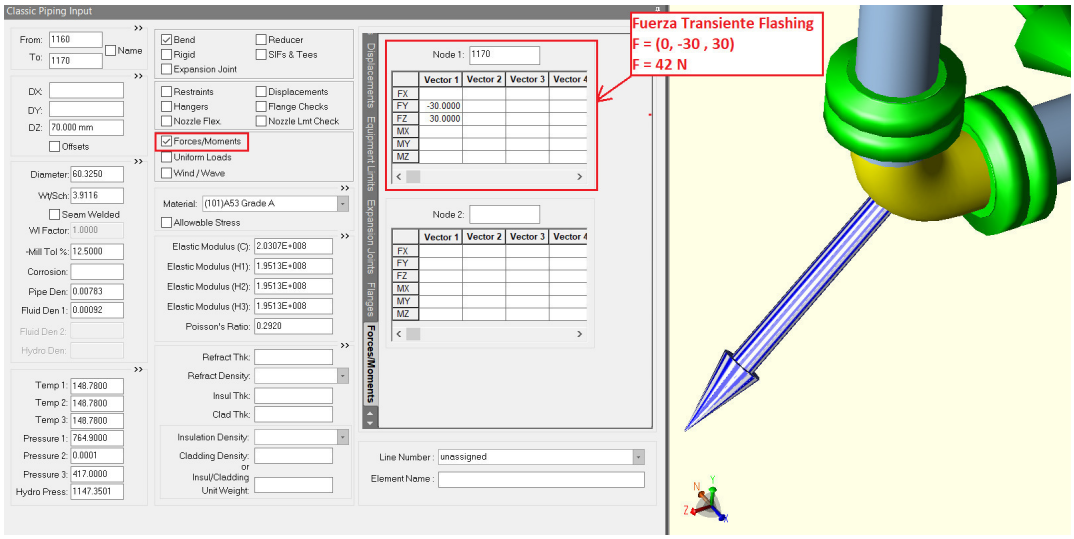

Figura 3.16: *Modelación de fuerza transiente por Flashing CAESAR II.*

Al finalizar el modelamiento se puede apreciar el sistema final, el cual representa el banco de ensayo del laboratorio de termofluidos a estudiar.

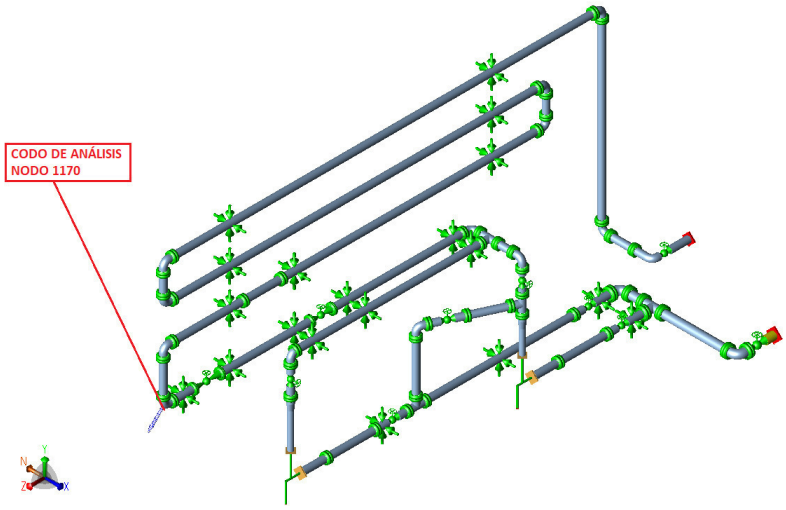

Figura 3.17: *Modelo en CAESAR II del sistema piping.*

A continuación se explica brevemente la definición de los casos de carga, y la combinación de estos para la simulación numérica.

- Prueba Hidráulica (HYD): Considera la prueba hidrostática del sistema, involucra los pesos propios de la cañería llena de agua y la presión de prueba hidrostática definida, se define como $1,5$ veces la presión de operación según el código ASME B31.3.

- Casos Operativos (OPE): Considera los casos de operación normal, incluyendo evaluación a diferentes temperaturas y combinatorias sísmicas. Los parámetros involucrados son el peso propio de la cañería, válvulas, revestimientos y el fluido, presión, temperaturas, sismos y fuerzas externas.

- Casos Sostenidos (SUS): Considera el peso del sistema de tuberías (tubería, válvulas, flan-ges y fluido) y la presión del sistema. Este caso es utilizado para verificar los esfuerzos sostenidos requeridos por el código de diseño (ASME B31.3).

- Casos Térmicos (EXP): Considera las cargas que se generan en el sistema debido a diferencias de temperatura. Este caso se utiliza para verificar los esfuerzos de expansión requeridos por el código de diseño (ASME B31.3)

- Casos Ocasionales (OCC): Considera las cargas ocasionales como sismos y fuerzas transitorias ocurridas durante la operación normal del sistema. Estas cargas ocurren durante un periodo acotado de tiempo. Este caso se utiliza para verificar los esfuerzos de ocasionales requeridos por el código de diseño (ASME B31.3)

Los distintos tipos de cargas que actúan en el sistema se describen a continuación:

- W: Peso de cañería y componentes llenos de fluido.

- WW: Peso de cañería y componentes llenos de agua.

- WNC: Peso de componentes y cañería vacía.

- T1: Temperatura de operación máxima (2 bombas operando).

- T2: Temperatura ambiente mínima (1 bomba operando).

- T3: Temperatura ambiente máxima (1 bomba operando).

- T4: Temperatura ambiente mínima.

- T5: Temperatura ambiente máxima.

- P1: Presión de operación normal.
- P2: Presión de operación con cañería vacía.
- HP: Presión hidrostática ($1,5$ veces la presión de operación según ASME B31.3).
- U1: Vector de carga sísmica en el eje X.
- U2: Vector de carga sísmica en el eje Y.
- U3: Vector de carga sísmica en el eje Z.
- F1: Fuerza transiente (Flashing para este análisis).

La combinación de cargas representa los distintos escenarios operativos a los que estará sujeto el sistema piping. Existen combinaciones que tienen una condición de salida Keep las cuales son analizadas obtener cargas en soportes y verificar esfuerzos según el código de diseño (ASME B31.3). Mientras que las combinaciones con una condición de salida $\mathrm{Suppress}$ corresponden a combinaciones que no son analizadas, sino que funcionan como casos constructivos, que permiten generar otras combinaciones que si son analizadas.

Se definen casos de carga para el análisis de operación normal y operación con flashing, estos se muestran a continuación:

- Operación Normal

Tabla 3.3: Casos de carga Operación Normal.

Caso	Combinación	Tipo	Salida	Nota
1	WW + HP	HYD	Keep	Prueba Hidrostática
2	W + P1 + T1	OPE	Keep	Op Máxima
3	W + P1 + T2	OPE	Keep	Op Normal
4	W + P1 + T3	OPE	Keep	Op Normal
5	WNC + P2 + T4	OPE	Keep	Vacia a min T
6	WNC + P2 + T5	OPE	Keep	Vacia a min T
7	W + P1 + T1 + U1 + U2	OPE	Keep	Op con Sismo +X +Y
8	W + P1 + T1 + U1 - U2	OPE	Keep	Op con Sismo +X -Y
9	W + P1 + T1 - U1 + U2	OPE	Keep	Op con Sismo -X +Y
10	W + P1 + T1 - U1 - U2	OPE	Keep	Op con Sismo -X -Y
11	W + P1 + T1 + U2 + U3	OPE	Keep	Op con Sismo +Y +Z
12	W + P1 + T1 + U2 - U3	OPE	Keep	Op con Sismo +Y -Z
13	W + P1 + T1 - U2 + U3	OPE	Keep	Op con Sismo -Y +Z
14	W + P1 + T1 - U2 - U3	OPE	Keep	Op con Sismo -Y -Z
15	W + P1 + T1 + U1	OPE	Suppress	Op con Sismo +X
16	W + P1 + T1 - U1	OPE	Suppress	Op con Sismo -X
17	W + P1 + T1 + U2	OPE	Suppress	Op con Sismo +Y
18	W + P1 + T1 - U2	OPE	Suppress	Op con Sismo -Y
19	W + P1 + T1 + U3	OPE	Suppress	Op con Sismo +Z
20	W + P1 + T1 - U3	OPE	Suppress	Op con Sismo -Z
21	W + P1	SUS	Keep	Sostenido Normal
22	WNC + P2	OPE	Keep	Sostenido Vacio
23	L2 - L21	EXP	Keep	T1
24	L3 - L21	EXP	Keep	T2
25	L4 - L21	EXP	Keep	T3
26	L5 - L22	EXP	Keep	T4
27	L6 - L22	EXP	Keep	T5
28	L23 - L26	EXP	Keep	T1-T4
29	L15 - L2	OCC	Suppress	+U1
30	L16 - L2	OCC	Suppress	-U1
31	L17 - L2	OCC	Suppress	+U2
32	L18 - L2	OCC	Suppress	-U2

33	L19 - L2	OCC	Suppress	+U3
34	L20 - L2	OCC	Suppress	-U3
35	L29 + L31	OCC	Suppress	+X +Y
36	L29 + L32	OCC	Suppress	+X -Y
37	L30 + L31	OCC	Suppress	-X +Y
38	L30 + L32	OCC	Suppress	-X -Y
39	L31 + L33	OCC	Suppress	+Y +Z
40	L31 + L34	OCC	Suppress	+Y -Z
41	L32 + L33	OCC	Suppress	-Y +Z
42	L32 + L34	OCC	Suppress	-Y -Z
43	L21 + L35	OCC	Keep	Sostenido +X +Y
44	L21 + L36	OCC	Keep	Sostenido +X -Y
45	L21 + L37	OCC	Keep	Sostenido -X +Y
46	L21 + L38	OCC	Keep	Sostenido -X -Y
47	L21 + L39	OCC	Keep	Sostenido +Y +Z
48	L21 + L40	OCC	Keep	Sostenido +Y -Z
49	L21 + L41	OCC	Keep	Sostenido -Y +Z
50	L21 + L42	OCC	Keep	Sostenido -Y -Z

- Operación con Flashing

Tabla 3.4: Casos de carga Operación con Flashing.

Caso	Combinación	Tipo	Salida	Nota
1	WW + HP	HYD	Keep	Prueba Hidrostática
2	W + P1 + T1 +F1	OPE	Keep	Op Máxima con Flashing
3	W + P1 + T2 +F1	OPE	Keep	Op Normal con Flashing
4	W + P1 + T3 +F1	OPE	Keep	Op Normal con Flashing
5	WNC + P2 + T4	OPE	Keep	Vacia a min T
6	WNC + P2 + T5	OPE	Keep	Vacia a min T
7	W + P1 + T1 + U1 + U2 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo +X +Y y Flashing
8	W + P1 + T1 + U1 - U2 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo +X -Y y Flashing
9	W + P1 + T1 - U1 + U2 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo -X +Y y Flashing
10	W + P1 + T1 - U1 - U2 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo -X -Y y Flashing
11	W + P1 + T1 + U2 + U3 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo +Y +Z y Flashing
12	W + P1 + T1 + U2 - U3 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo +Y -Z y Flashing
13	W + P1 + T1 - U2 + U3 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo -Y +Z y Flashing
14	W + P1 + T1 - U2 - U3 + F1	OPE	Keep	Op con Sismo -Y -Z y Flashing

15	W + P1 + T1 + U1 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo +X y Flashing
16	W + P1 + T1 - U1 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo -X y Flashing
17	W + P1 + T1 + U2 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo +Y y Flashing
18	W + P1 + T1 - U2 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo -Y y Flashing
19	W + P1 + T1 + U3 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo +Z y Flashing
20	W + P1 + T1 - U3 + F1	OPE	Suppress	Op con Sismo -Z y Flashing
21	W + P1 + F1	SUS	Keep	Sostenido con Flashing
22	WNC + P2	OPE	Keep	Sostenido Vacio
23	L2 - L21	EXP	Keep	T1
24	L3 - L21	EXP	Keep	T2
25	L4 - L21	EXP	Keep	T3
26	L5 - L22	EXP	Keep	T4
27	L6 - L22	EXP	Keep	T5
28	L23 - L26	EXP	Keep	T1-T4
29	L15 - L2	OCC	Suppress	+U1
30	L16 - L2	OCC	Suppress	-U1
31	L17 - L2	OCC	Suppress	+U2
32	L18 - L2	OCC	Suppress	-U2
33	L19 - L2	OCC	Suppress	+U3
34	L20 - L2	OCC	Suppress	-U3
35	L29 + L31	OCC	Suppress	+X +Y
36	L29 + L32	OCC	Suppress	+X -Y
37	L30 + L31	OCC	Suppress	-X +Y
38	L30 + L32	OCC	Suppress	-X -Y
39	L31 + L33	OCC	Suppress	+Y +Z
40	L31 + L34	OCC	Suppress	+Y -Z
41	L32 + L33	OCC	Suppress	-Y +Z
42	L32 + L34	OCC	Suppress	-Y -Z
43	L21 + L35	OCC	Keep	Sostenido +X +Y con Flashing
44	L21 + L36	OCC	Keep	Sostenido +X -Y con Flashing
45	L21 + L37	OCC	Keep	Sostenido -X +Y con Flashing
46	L21 + L38	OCC	Keep	Sostenido -X -Y con Flashing
47	L21 + L39	OCC	Keep	Sostenido +Y +Z con Flashing
48	L21 + L40	OCC	Keep	Sostenido +Y -Z con Flashing
49	L21 + L41	OCC	Keep	Sostenido -Y +Z con Flashing
50	L21 + L42	OCC	Keep	Sostenido -Y -Z con Flashing

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se muestran las cargas y momentos en el cambio de dirección (codo) definido anteriormente. Además se muestran los resultados de la verificación del código de diseño ASME B31.3 utilizado para este estudio.

Los casos de estudio se separan en 2 grupos; casos de análisis de cargas sobre codo, los cuales se componen de prueba hidráulica, operacionales y sostenidos, y los casos de verificación de esfuerzos según código (ASME B31.3), casos sostenidos, térmicos y ocasionales.

Los esfuerzos se presentan en figuras que indican el nodo donde se produce este esfuerzo (codo) y el porcentaje de cumplimiento respecto al código de diseño. Se presentan resultados de esfuerzos sostenidos para la verificación de Flashing. Los esfuerzos térmicos y ocasionales se muestran en los ANEXOS C y D respectivamente.

Las cargas se muestran en tablas con los valores máximos por componente en el codo (ver figura 3.17). Se comparan las cargas de casos sostenidos, ya que son las cuales muestran operación normal y fuerzas por Flashing, las cargas por prueba hidráulica y operación se adjuntan en el ANEXO A, junto a todas las cargas en cada punto del sistema.

4.1. Cargas

Para las cargas, se considera el nodo 1170 correspondiente al codo a analizar, según la figura 3.17.

Los resultados de las cargas obtenidas incluyen cargas sostenidas,

comparando el caso sostenido normal y el caso sostenido con flashing.

4.1.1. Operación Normal

Para operación normal se analiza el caso sostenido normal, el cual no incluye flashing en su combinación

Tabla 4.1: Caso de carga sostenido en operación normal.

Combinación	Tipo	Nota
W + P1	SUS	Sostenido Normal

Para el nodo 1170 se determinan las fuerzas y momentos asociados en cada componente, los resultados de este cálculo se presenta a continuación:

$$F_{normal} = (0, -72, -5) = 72,2N$$

4.1.2. Operación con Flashing

Para operación con flashing se analiza el caso sostenido con flashing, el cual incluye flashing en su combinación

Tabla 4.2: Caso de carga sostenido en operacción con Flashing.

Combinación	Tipo	Nota
W + P1 +F1	OPE	Sostenido con Flashing

Para el nodo 1170 se determinan las fuerzas según la calidad de vapor definida, los resultados de este cálculo se presenta a continuación:

Calidad	Fx	Fy	Fz	F total [N]
0,10	-1,0	-1980,0	1825,0	2692,8
0,30	-2,0	-4105,0	3768,0	5572,1
0,55	-3,0	-7024,0	6548,0	9602,8

Figura 4.1: *Fuerzas resultantes en codo según calidad de vapor.*

4.1.3. Variación Cargas

La diferencia entre las fuerzas se muestra en el siguiente gráfico:

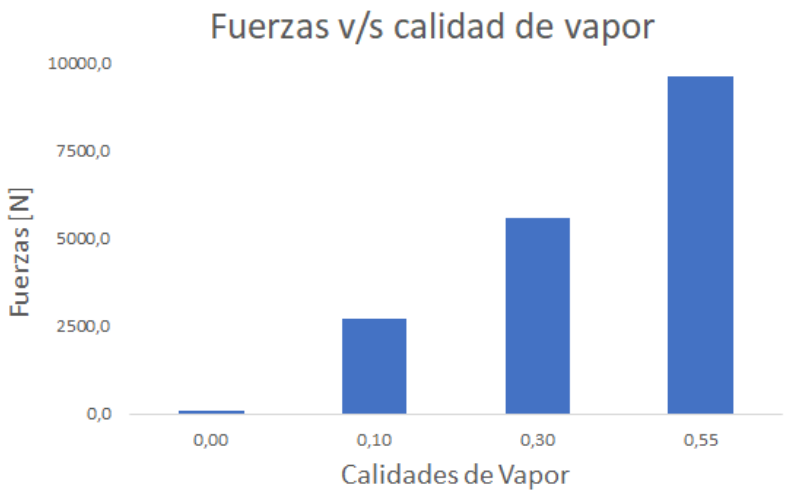

Figura 4.2: *Gráfico comparativo de fuerzas.*

Por lo tanto, la variación porcentual de las fuerzas según la calidad de vapor es la siguiente:

Calidad	% Variación
0,10	3631,0
0,30	7620,5
0,55	13205,1

Figura 4.3: *Variación porcentual de fuerzas según calidad de vapor.*

4.2. Verificación de Esfuerzos

Para los esfuerzos, se considera el nodo 1170 correspondiente al codo a analizar, según la figura 3.17.

Los esfuerzos para analizar flashing corresponden a esfuerzos sostenidos, caso sostenido normal y caso sostenido con flashing.

4.2.1. Operación Normal

Para operación normal se analiza el caso sostenido normal, el cual no incluye flashing en su combinación

Tabla 4.3: Caso de carga para verificación de esfuerzo sostenido

Combinación	Tipo	Nota
W + P1	SUS	Sostenido Normal

El esfuerzo calculado es el siguiente:

$$S_{sus} \rightarrow 2,6MPa$$

$$S_{admisible} \rightarrow 110,3MPa$$

$$Cumplimiento = \frac{S_{sus}}{S_{admisible}} \rightarrow 2,4\,\%$$

4.2.2. Operación con Flashing

Para operación con flashing se analiza el caso sostenido con flashing, el cual incluye flashing en su combinación

Tabla 4.4: Caso de carga para verificación de esfuerzo sostenido

Combinación	Tipo	Nota
W + P1 +F1	OPE	Sostenido con Flashing

Para el nodo 1170 se determinan los esfuerzos según la calidad de vapor definida, los resultados de este cálculo se presenta a continuación::

Calidad	Esfuerzo Flex [Mpa]	Esfuerzo Adm [Mpa]	% Cumplimiento
0,10	26,6	110,3	24,1
0,30	44,9	110,3	40,7
0,55	69,9	110,3	63,4

Figura 4.4: *Efuerzos resultantes en codo según calidad de vapor.*

4.2.3. Variación Esfuerzos

La diferencia entre los esfuerzos se muestra en el siguiente gráfico:

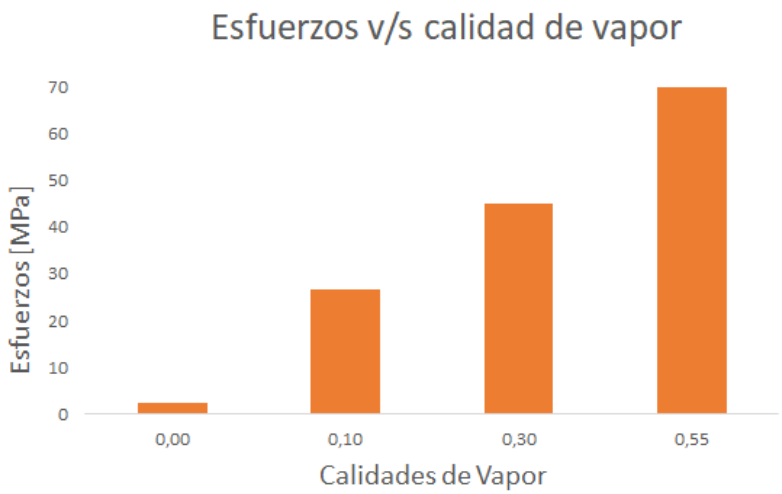

Figura 4.5: *Gráfico comparativo de esfuerzos.*

Por lo tanto, la variación porcentual de los esfuerzos según la calidad de vapor es la siguiente:

Calidad	% Variación
0,10	923,1
0,30	1626,9
0,55	2588,5

Figura 4.6: *Variación porcentual de esfuerzos según calidad de vapor.*

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Los experimentos asociados a mediciones y determinación de parámetros en el flashing son diversos y complejos, aun no existe mucha información, o es bastante dificultosa su búsqueda. Para este trabajo el experimento realizado por Abuaf [3] y explicado en el trabajo de Dang Lee [46] entrega la mayoría de los parámetros asociados y permite asociar este experimento con el banco de ensayos estudiado, por sus dimensiones y valores operacionales.

El fenómeno de Flashing genera cargas, las cuales dependen de la cantidad de vapor que se genere (calidad X), el flujo másico, entre otros parámetros. La modelación de fuerzas para un análisis de flexibilidad requiere el previo cálculo de estás (utilizando ecuaciones de mecánica de fluidos) para su posterior incorporación y definición para los cálculos de flexibilidad.

Se puede ver que al generar flashing, los esfuerzos sostenidos aumentan y sobrepasan los esfuerzos admisibles según el código de diseño, por lo tanto, el sistema no cumple con este código. Además, para esfuerzos térmicos el sistema falla (ver ANEXO C), sin embargo, existen diferentes soluciones, tal como se explico en el presente trabajo, liras o lazos de expansión, juntas de expansión o uniones flexibles son grandes alternativas para la solución de estos problemas.

Finalmente, con los resultados obtenidos (Ver Anexos A, B, B y D) se concluye que para las cargas generadas sobre el codo las variaciones porcentuales de estas son muy altas ($13205\,\%$ máxima variación) debido a la carga generada por la rápida evaporación del fluido (flashing). Los esfuerzos generados también aumentan con la generación de flashing, con una variación de ($2588\,\%$ máxima variación), por lo que de acuerdo a las cargas y esfuerzos generados, se puede concluir que el flashing es un fenómeno de gran impacto en los sistemas de transporte de fluidos (piping).

5.2. Recomendaciones

Para la disminución de esfuerzos térmicos, es recomendable hacer cambios en el diseño del sistema; materiales de cañeria, temperaturas de operación, modificación de trazados. Cabe destacar que el banco de ensayos no opera con estos parámetros, solo se tomó como referencia para evaluar un sistema de bombeo de agua que eventualmente pudiese generar Flashing, tal como se mostró en el trabajo.

Para extender el análisis, se pueden evaluar las cargas en boquillas de equipos de bombeo, según las cargas máximas a las cuales estos equipos estén diseñados. Estos datos deben ser entregados por el fabricante a través de planos certificados.

Otro tipo de análisis que se puede realizar con este fenómenos es la tasa de desgaste producida aguas abajo debido al rápido incremento de velocidad en el fluido, evaluando distintos modelos de tasa de desgaste y determinando cual es el más apropiado para estos fenómenos.

Bibliografía

[1] M Reocreux. Contribution to the study of critical flow rates in two-phase water vapor flow, volume 3. US Nuclear Regulatory Commission, 1977.

[2] VE Schrock, ES Starkman, and RA Brown. Flashing flow of initially subcooled water in convergent–divergent nozzles. 1977.

[3] N Abuaf, BJC Wu, GA Zimmer, and P Saha. Study of nonequilibrium flashing of water in a converging-diverging nozzle. volume 1: experimental. Technical report, Brookhaven National Lab., Upton, NY (USA), 1981.

[4] Garry Charles Carofano. An analytical and experimental study of the flow of air-water and steam-water mixtures in a converging-diverging nozzle. 1969.

[5] S Maksic and D Mewes. Cfd-calculation of the flashing flow in pipes and nozzles. In ASME 2002 Joint US-European Fluids Engineering Division Conference, pages 511–516. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2002.

[6] OC Jones Jr and N Zuber. Bubble growth in variable pressure fields. 1978.

[7] Tai Sung Shin and Owen C Jones Jr. An active cavity model for flashing. Nuclear Engineering and Design, 95:185–196, 1986.

[8] TS Shin and OC Jones. Nucleation and flashing in nozzles—1. a distributed nucleation model. International journal of multiphase flow, 19(6):943–964, 1993.

[9] VN Blinkov, OC Jones, and BI Nigmatulin. Nucleation and flashing in nozzles—2. comparison with experiments using a five-equation model for vapor void development. International journal of multiphase flow, 19(6):965–986, 1993.

[10] CA Marsh and AP O'Mahony. Three-dimensional modelling of industrial flashing flows. Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal, 9(6-7):393–398, 2009.

[11] Milton Blander and Joseph L Katz. Bubble nucleation in liquids. AIChE Journal, 21(5):833–848, 1975.

[12] S Mimouni, M Boucker, J Laviéville, A Guelfi, and D Bestion. Modelling and computation of cavitation and boiling bubbly flows with the neptune_cfd code. Nuclear Engineering and Design, 238(3):680–692, 2008.

[13] M Robert, M Farvacque, M Parent, and B Faydide. Cathare 2 v2. 5: a fully validated cathare version for various applications. Proc. 10th Int. Topl. Mtg. Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH 10), Seoul, Republic of Korea, 2003.

[14] Antoine Archer. A predictive model for cavitation erosion downstream orifices. In ASME 2002 Joint US-European Fluids Engineering Division Conference, pages 403–409. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2002.

[15] Jon Paul Janet, Yixiang Liao, and Dirk Lucas. Heterogeneous nucleation in cfd simulation of flashing flows in converging–diverging nozzles. International Journal of Multiphase Flow, 74:106–117, 2015.

[16] M Lemmert et al. Influence of flow velocity on surface boiling heat transfert coefficient. 1972.

[17] N Kurul. On the modeling of multidimensional effects in boiling channels. ANS. Proc. National Heat Transfer Con. Minneapolis, Minnesota, USA, 1991, 1991.

[18] Robert Cole. Bubble frequencies and departure volumes at subatmospheric pressures. AIChE Journal, 13(4):779–783, 1967.

[19] G Kocamustafaogullari and M Ishii. Interfacial area and nucleation site density in boiling systems. International Journal of Heat and Mass Transfer, 26(9):1377–1387, 1983.

[20] Jovica R Riznic and Mamoru Ishii. Bubble number density and vapor generation in flashing flow. International Journal of Heat and Mass Transfer, 32(10):1821–1833, 1989.

[21] US Rohatgi and E Reshotko. Non-equilibrium one-dimensional two-phase flow in variable area channels. In In: Non-equilibrium two-phase flows; Proceedings of the Winter Annual Meeting, Houston, Tex., November 30-December 5, 1975. Meeting sponsored by the American Society of Mechanical Engineers. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1975, p. 47-54., pages 47–54, 1975.

[22] Alexandre Pelletingeas, Louis Dufresne, and Patrice Seers. Characterization of flow structures in a diesel injector for different needle lifts and a fluctuating injection pressure. Journal of Fluids Engineering, 138(8), 2016.

[23] Tobias Giese, Eckart Laurien, and Wolfgang Schwarz. Experimental and numerical investigation of gravity-driven pipe flow with cavitation. In 10th International Conference on Nuclear Engineering, pages 15–21. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2002.

[24] Eckart Laurien. Influence of the model bubble diameter on three-dimensional numerical simulations of thermal cavitation in pipe elbows. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation, Pisa, Italy, pages 22–24, 2004.

[25] Thomas Frank. Simulation of flashing and steam condensation in subcooled liquid using ansys cfx. In Proceedings of the 5th Joint FZR & ANSYS Workshop "Multiphase Flows: Simulation, Experiment and Application", Dresden, Germany, pages 26–27, 2007.

[26] Yixiang Liao, Dirk Lucas, Eckhard Krepper, and Roland Rzehak. Flashing evaporation under different pressure levels. Nuclear Engineering and Design, 265:801–813, 2013.

[27] Andreas Schaffrath, AK Krussenberg, Frank-Peter Weiß, Enno Frerich Hicken, M Beyer, H Carl, HM Prasser, J Schuster, P Schutz, M Tamme, et al. Topflow-a new multipurpose thermalhydraulic test facility for the investigation of steady state and transient two phase flow phenomena. KERNTECHNIK-BILINGUAL EDITION-, 66(4):209–213, 2001.

[28] Miad Yazdani, Abbas A Alahyari, and Thomas D Radcliff. Numerical modeling and validation of supersonic two-phase flow of co2 in converging-diverging nozzles. Journal of fluids Engineering, 136(1), 2014.

[29] Ashok K Singhal, Mahesh M Athavale, Huiying Li, and Yu Jiang. Mathematical basis and validation of the full cavitation model. J. Fluids Eng., 124(3):617–624, 2002.

[30] Christopher Earls Brennen and Christopher E Brennen. Fundamentals of multiphase flow. Cambridge university press, 2005.

[31] Masafumi Nakagawa, Menandro Serrano Berana, and Akinori Kishine. Supersonic two-phase flow of co2 through converging–diverging nozzles for the ejector refrigeration cycle. International Journal of Refrigeration, 32(6):1195–1202, 2009.

[32] Yixiang Liao and Dirk Lucas. 3d cfd simulation of flashing flows in a converging-diverging nozzle. Nuclear Engineering and Design, 292:149–163, 2015.

[33] Thierry Vromman. Modélisation des écoulements critiques diphasiques dans un homogénéisateur de fluides pétroliers. PhD thesis, Université catholique de Louvain, Faculté des sciences appliquées ..., 1988.

[34] Z Bilicki, C Dafermos, J Kestin, G Majda, and DL Zeng. Trajectories and singular points in steady-state models of two-phase flows. International journal of multiphase flow, 13(4):511–533, 1987.

[35] F Yan, L Bolle, J Franco, and M Giot. Analysis of choked liquid-vapor flows. In Proc. Multiphase Flows' 91, pages 309–312, 1991.

[36] V Feburie, Michel Giot, Sylviane Granger, and Jean-Marie Seynhaeve. A model for choked flow through cracks with inlet subcooling. International Journal of Multiphase Flow, 19(4):541–562, 1993.

[37] Léon Bolle, P Downar-Zapolski, J Franco, and Jean-Marie Seynhaeve. Experimental and theoretical analysis of flashing water flow through a safety value. Journal of Hazardous Materials, 46(2-3):105–116, 1996.

[38] A Attou and J Franco. Simple and double choked two-phase flow through sudden enlargements: an experimental study. In 2nd European Thermal-Science Conference, pages 1373–1380, 1996.

[39] A Attou and Jean-Marie Seynhaeve. Steady-state critical two-phase flashing flow with possible multiple choking phenomenon: Part 1: physical modelling and numerical procedure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 12(5):335–345, 1999.

[40] C Lackmé. Cinetique de la vaporisation de l'eau chaude qui se détand dans un tube. In Report CEA-R-5108, CEA, Grenoble. 1981.

[41] JM Seynhaeve, M Giot, S Granger, et al. A model of single and two-phase flow (critical or not) through cracks. Technical report, Electricite de France (EDF), 1995.

[42] A Attou, L Bolle, J Franco, and JM Seynhaeve. Flow through singularities and ducts downstream of safety valves, towards a better design of pressure relief system in chemical and petroteum industries. Environment program EU, UCL-TERM contribution, 1996.

[43] M Roecreux. Contribution a l'etude des debits critiques en encoulement diphasique eau-vapeur. PhD thesis, Grenoble Scientific and Medical Universities, 1969.

[44] JC Rousseau. Flashing flow. Multiphase Science and Technology, 3:378–389, 1987.

[45] CN Anos and Virgil E Schrock. Critical discharge of initially subcooled water through slits. 1983.

[46] QUANG DANG LE. Flashing flow model for industrial energy applications. PhD thesis, Italy, 2017.

Anexo A

Reporte de Cargas

GLOBAL ELEMENT FORCES REPORT: Forces on Elements
CASE 21 (SUS) W+P1+F1

Node	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	N	N	N	Nm	Nm	Nm
10	17	125	-1	-29	5	-6
20	-17	-114	1	17	-3	6
20	17	114	-1	-17	3	-6
30	-17	-74	1	2	0	6
30	17	74	-1	-2	0	-6
40	-17	-65	1	-1	0	6
40	17	65	-1	1	0	-6
49	-17	-58	1	-5	1	5
49	17	58	-1	5	-1	-5
50	-17	-52	1	-6	2	3
50	17	52	-1	6	-2	-3
60	-17	-51	1	-6	1	2
60	17	51	-1	6	-1	-2
70	-17	-42	1	-6	1	0
70	17	42	-1	6	-1	0
80	-17	30	1	-6	1	-4
80	17	-30	-1	6	-1	4
90	-17	39	1	-6	1	-2
90	17	-39	-1	6	-1	2
100	-17	47	1	-6	1	1
100	15	23	-19	-4	-4	1
110	-15	-15	19	4	3	-2
110	15	15	-19	-4	-3	2
120	-15	-6	19	4	2	-3
120	15	6	-19	-4	-2	3
130	-15	6	19	4	0	-3
130	15	-6	-19	-4	0	3

140	-15	15	19	4	-1	-2
140	15	-15	-19	-4	1	2
149	-15	22	19	4	-2	-1
149	15	-22	-19	-4	2	1
150	-15	27	19	6	-1	-1
150	15	-27	-19	-6	1	1
160	-15	29	19	6	-1	-1
160	15	-29	-19	-6	1	1
170	-15	37	19	7	0	-1
170	15	-37	-19	-7	0	1
180	-15	44	19	11	1	-1
180	-5	67	-57	-11	-1	1
190	5	-64	57	8	1	-1
190	-5	64	-57	-8	-1	1
200	5	-36	57	3	0	-1
200	-5	36	-57	-3	0	1
210	5	-31	57	0	0	-1
210	-5	31	-57	0	0	1
220	5	-23	57	-1	0	-1
220	-5	23	-57	1	0	1
230	5	31	57	2	-4	-1
230	16	-23	-57	-2	4	1
240	-16	78	57	40	8	-1
240	16	-78	-57	-40	-8	1
250	-16	85	57	43	9	-1
250	16	-85	-57	-43	-9	1
260	-16	90	57	49	10	-1
260	-57	-1057	708	311	-11	-2
270	57	1062	-708	-237	7	2
270	-57	-1062	708	237	-7	-2
280	57	1069	-708	-188	4	2
280	-57	-1069	708	188	-4	-2

290	57	1075	-708	-107	0	2
290	-57	-1075	708	107	0	-2
300	57	1102	-708	11	-6	2
300	-57	-1102	708	-11	6	-2
310	57	1105	-708	66	-9	2
310	16	125	330	-66	9	-2
320	-16	-122	-330	60	-8	2
320	16	122	330	-60	8	-2
330	-16	-114	-330	55	-8	2
330	16	114	330	-55	8	-2
340	-16	-81	-330	10	0	2
340	16	81	330	-10	0	-2
350	-16	-73	-330	6	0	2
350	16	73	330	-6	0	-2
360	-16	-55	-330	-10	4	2
100	2	-71	18	10	4	-2
370	-2	79	-18	-4	-4	2
370	2	-79	18	4	4	-2
380	-2	87	-18	0	-3	2
380	2	-87	18	0	3	-2
390	-2	94	-18	9	-3	2
390	7	51	-27	-9	3	-2
400	-7	-47	27	6	-3	2
400	7	47	-27	-6	3	-2
410	-7	-20	27	3	-2	2
410	7	20	-27	-3	2	-2
420	-7	-15	27	1	-2	2
420	7	15	-27	-1	2	-2
430	-7	-7	27	1	-1	2
430	7	7	-27	-1	1	-2
440	-7	26	27	5	2	2
440	7	-26	-27	-5	-2	-2

450	-7	34	27	6	2	2
450	7	-34	-27	-6	-2	-2
460	-7	52	27	17	4	2
10000	-15	2199	-1269	-827	2	8
10010	15	-2199	1269	573	-2	-5
10010	-15	2199	-1269	-573	2	5
10020	15	-2199	1269	683	-1	-5
10020	-16	-55	-330	-15	6	2
10030	16	55	330	10	-4	-2
10020	0	2254	-939	-668	-5	2
10040	0	-2254	939	433	5	-3
10050	475	-1150	-731	-645	-93	-328
10060	-475	1150	731	499	93	233
10060	475	-1150	-731	-499	-93	-233
10070	-475	1150	731	441	69	233
10070	-7	52	27	22	5	2
10080	7	-52	-27	-17	-4	-2
10070	482	-1202	-758	-464	-74	-235
10090	-482	1202	758	274	74	115
470	0	2254	-939	-433	-5	3
480	0	-2234	939	86	5	-3
480	0	2234	-939	-86	-5	3
490	0	-2231	939	26	5	-3
490	0	2231	-939	-26	-5	3
500	0	-2228	939	-7	5	-3
500	0	2228	-939	7	-5	3
510	0	-2220	939	-50	5	-3
510	0	2220	-939	50	-5	3
520	0	-2215	939	-121	5	-3
520	0	2215	-939	121	-5	3
530	0	-2188	939	-223	5	-3
530	0	2188	-939	223	-5	3

540	0	-2183	939	-280	5	-3
540	0	2183	-939	280	-5	3
550	0	-2176	939	-324	5	-3
550	0	2176	-939	324	-5	3
559	0	-2171	939	-343	5	-3
559	0	2171	-939	343	-5	3
560	0	-2169	939	-279	5	-3
560	0	2169	-939	279	-5	3
570	0	-2167	939	-238	5	-3
570	0	2167	-939	238	-5	3
580	0	-2162	939	-337	5	-3
580	0	2162	-939	337	-5	3
590	0	-2147	939	94	5	-3
590	208	-228	-939	-94	-5	3
600	-208	268	939	-43	-110	-3
600	-403	133	-1060	43	110	3
610	403	-53	1060	60	334	-3
610	-1495	895	-1323	-60	-334	3
620	1495	-889	1323	124	442	-3
620	-1495	889	-1323	-124	-442	3
630	1495	-882	1323	165	510	-3
630	-1495	882	-1323	-165	-510	3
960	1495	-877	1323	226	615	-3
260	73	966	-765	-360	0	3
650	-73	-961	765	307	0	-8
650	73	961	-765	-307	0	8
660	-73	-954	765	272	0	-11
660	73	954	-765	-272	0	11
670	-73	-918	765	-98	0	-47
670	73	918	-765	98	0	47
680	-73	-911	765	-133	0	-50
680	73	911	-765	133	0	50

689	-73	-907	765	-163	3	-49
689	73	907	-765	163	-3	49
690	-73	-904	765	-145	12	-36
690	73	904	-765	145	-12	36
700	-73	-902	765	-129	17	-29
700	73	902	-765	129	-17	29
710	-73	-895	765	-91	28	-12
710	73	895	-765	91	-28	12
720	-73	-889	765	-30	47	15
720	73	889	-765	30	-47	-15
730	-73	-862	765	57	74	55
730	73	862	-765	-57	-74	-55
740	-73	-857	765	115	93	81
740	73	857	-765	-115	-93	-81
750	-73	-849	765	151	104	98
750	73	849	-765	-151	-104	-98
760	-73	-827	765	378	178	200
760	73	827	-765	-378	-178	-200
770	-73	-820	765	413	190	216
770	73	820	-765	-413	-190	-216
840	-73	-815	765	465	207	239
790	482	-1202	-758	-274	-74	-115
800	-482	1214	758	85	74	-6
800	482	-1214	-758	-85	-74	6
810	-482	1218	758	36	74	-37
810	482	-1218	-758	-36	-74	37
820	-482	1221	758	10	74	-53
820	482	-1221	-758	-10	-74	53
830	-482	1229	758	-25	74	-76
830	482	-1229	-758	25	-74	76
840	-482	1234	758	-78	74	-109
840	555	-419	-1523	-387	-281	-130

850	-555	424	1523	280	281	91
850	555	-424	-1523	-280	-281	-91
860	-555	432	1523	210	281	66
860	555	-432	-1523	-210	-281	-66
870	-555	434	1523	157	281	46
870	555	-434	-1523	-157	-281	-46
880	-555	461	1523	-9	281	-14
880	555	-461	-1523	9	-281	14
890	-555	464	1523	-63	281	-33
890	555	-464	-1523	63	-281	33
900	-555	472	1523	-133	281	-59
900	555	-472	-1523	133	-281	59
909	-555	476	1523	-217	259	-82
909	555	-476	-1523	217	-259	82
910	-555	479	1523	-239	204	-74
910	555	-479	-1523	239	-204	74
920	-555	480	1523	-239	175	-64
920	555	-480	-1523	239	-175	64
930	-555	488	1523	-239	105	-42
930	555	-488	-1523	239	-105	42
940	-555	496	1523	-239	-66	13
940	555	-496	-1523	239	66	-13
950	-555	503	1523	-239	-136	36
950	555	-503	-1523	239	136	-36
960	-555	509	1523	-239	-243	71
960	-940	368	-2846	13	-372	-68
970	940	-363	2846	-13	173	43
970	-940	363	-2846	13	-173	-43
980	940	-355	2846	-13	42	26
980	-940	355	-2846	13	-42	-26
989	940	-351	2846	-18	-129	7
989	-940	351	-2846	18	129	-7

990	940	-348	2846	-31	-205	2
990	-940	348	-2846	31	205	-2
1000	940	-347	2846	-38	-223	2
1000	-940	347	-2846	38	223	-2
1010	940	-339	2846	-53	-266	2
1010	-940	339	-2846	53	266	-2
1020	940	-334	2846	-78	-334	2
1020	417	-65	-2846	78	334	-2
1030	-417	145	2846	38	125	2
1030	-251	117	-2925	-38	-125	-2
1040	251	-106	2925	21	87	2
1040	-251	106	-2925	-21	-87	-2
1050	251	-71	2925	19	81	2
1050	-251	71	-2925	-19	-81	-2
1060	251	23	2925	14	31	2
1060	-251	-23	-2925	-14	-31	-2
1070	251	59	2925	15	24	2
1070	-251	-59	-2925	-15	-24	-2
1080	251	70	2925	25	-13	2
1080	27	168	-2997	-25	13	-2
1090	-27	-119	2997	-72	5	2
1090	-10	-3011	-2997	72	-5	-2
1100	10	3017	2997	200	4	2
1100	-10	-3017	-2997	-200	-4	-2
1110	10	3053	2997	276	4	2
1110	-10	-3053	-2997	-276	-4	-2
1120	10	3228	2997	1076	1	2
1120	-10	-3228	-2997	-1076	-1	-2
1130	10	3263	2997	1158	1	2
1130	-10	-3263	-2997	-1158	-1	-2
1140	10	3270	2997	1452	0	2
1140	3	7045	-6548	-1452	0	-2

1150	-3	-7039	6548	818	0	2
1150	3	7039	-6548	-818	0	-2
1160	-3	-7031	6548	494	0	2
1160	3	7031	-6548	-494	0	-2
1169	-3	-7027	6548	9	1	2
1169	3	7027	-6548	-9	-1	-2
1170	-3	-7024	6548	-330	1	1
1170	3	32	471	330	-1	-1
1180	-3	-30	-471	-321	1	1
1180	3	30	471	321	-1	-1
1190	-3	-23	-471	-300	1	1
1190	3	23	471	300	-1	-1
1200	-3	-1	-471	-158	1	0
1200	3	1	471	158	-1	0
1210	-3	7	-471	-137	1	0
1210	3	-7	471	137	-1	0
1219	-3	11	-471	-111	1	0
1219	3	-11	471	111	-1	0
1220	-3	14	-471	-104	0	0
1220	3	-14	471	104	0	0
1230	-3	15	-471	-105	0	0
1230	3	-15	471	105	0	0
1240	-3	23	-471	-105	0	0
1240	3	-23	471	105	0	0
1250	-3	65	-471	-131	-1	0
1250	-2	242	368	131	1	0
1260	2	-234	-368	-104	-1	0
1260	-2	234	368	104	1	0
1270	2	-226	-368	-93	-1	0
1270	-2	226	368	93	1	0
1280	2	-201	-368	-18	0	0
1280	-2	201	368	18	0	0

1290	2	-193	-368	-9	0	0
1290	-2	193	368	9	0	0
1300	2	-185	-368	13	0	0
1300	0	32	368	-13	0	0
1310	0	117	-368	-75	0	0
1310	-1	45	318	75	0	0
1320	1	-12	-318	-63	0	0
1320	-1	12	318	63	0	0
1330	1	-5	-318	-62	0	0
1330	-1	5	318	62	0	0
1339	1	-1	-318	-57	1	0
1339	-1	1	318	57	-1	0
1340	1	2	-318	-46	1	0
1340	-1	-2	318	46	-1	0
1350	1	4	-318	-40	1	0
1350	-1	-4	318	40	-1	0
1360	1	11	-318	-25	1	0
1360	-1	-11	318	25	-1	0
1370	1	22	-318	23	1	0
1370	-1	-22	318	-23	-1	0
1380	1	30	-318	37	1	1
1380	-1	-30	318	-37	-1	-1
1389	1	34	-318	55	1	1
1389	-1	-34	318	-55	-1	-1
1390	1	37	-318	61	0	1
1390	-1	-37	318	-61	0	-1
1400	1	38	-318	62	0	1
1400	-1	-38	318	-62	0	-1
1410	1	46	-318	64	0	1
1410	-1	-46	318	-64	0	-1
1420	1	79	-318	92	0	1
1420	0	136	247	-92	0	-1

1430	0	62	-247	-10	-1	1
1430	-1	68	204	10	1	-1
1440	1	-26	-204	-36	-2	1
1440	-1	26	204	36	2	-1
1450	1	-18	-204	-38	-2	1
1450	-1	18	204	38	2	-1
1459	1	-14	-204	-35	-2	1
1459	-1	14	204	35	2	-1
1460	1	-11	-204	-28	-2	1
1460	-1	11	204	28	2	-1
1470	1	-10	-204	-24	-2	1
1470	-1	10	204	24	2	-1
1480	1	-2	-204	-15	-2	1
1480	-1	2	204	15	2	-1
1490	1	9	-204	16	-2	1
1490	-1	-9	204	-16	2	-1
1500	1	16	-204	25	-2	1
1500	-1	-16	204	-25	2	-1
1509	1	21	-204	36	-2	1
1509	-1	-21	204	-36	2	-1
1510	1	24	-204	38	-2	1
1510	-1	-24	204	-38	2	-1
1520	1	25	-204	38	-2	1
1520	-1	-25	204	-38	2	-1
1530	1	33	-204	36	-2	1
1530	-1	-33	204	-36	2	-1
1540	1	74	-204	6	-1	1
1540	-5	67	204	-6	1	-1
1550	5	131	-204	-82	13	1
1550	4	217	97	82	-13	-1
1560	-4	-142	-97	102	9	1
1560	4	142	97	-102	-9	-1

1570	-4	-134	-97	109	9	1
1570	4	134	97	-109	-9	-1
1579	-4	-130	-97	114	9	1
1579	4	130	97	-114	-9	-1
1580	-4	-127	-97	113	9	1
1580	4	127	97	-113	-9	-1
1590	-4	-126	-97	111	9	1
1590	4	126	97	-111	-9	-1
1600	-4	-118	-97	107	9	1
1600	4	118	97	-107	-9	-1
1610	-4	11	-97	-65	9	8
1610	4	-11	97	65	-9	-8
1620	-4	18	-97	-69	9	8
1620	4	-18	97	69	-9	-8
1629	-4	23	-97	-74	7	8
1629	4	-23	97	74	-7	-8
1630	-4	26	-97	-76	4	7
1630	4	-26	97	76	-4	-7
1640	-4	27	-97	-76	2	6
1640	4	-27	97	76	-2	-6
1650	-4	35	-97	-76	-3	5
1650	4	-35	97	76	3	-5
1660	-4	49	-97	-76	-22	-4
1660	4	-49	97	76	22	4
1670	-4	57	-97	-76	-26	-6
1670	4	-57	97	76	26	6
1680	-4	63	-97	-76	-35	-11
1680	4	-63	97	76	35	11
1689	-4	68	-97	-77	-41	-15
1689	4	-68	97	77	41	15
1690	-4	70	-97	-79	-42	-16
1690	4	-70	97	79	42	16

1700	-4	72	-97	-81	-42	-16
1700	4	-72	97	81	42	16
1710	-4	183	-97	-95	-43	-16
1710	4	-183	97	95	43	16
1720	-4	198	-97	-133	-43	-16

Anexo B

Reporte de Esfuerzos Sostenidos

B31.3 STRESSES REPORT: Stresses on Elements
CASE 21 (SUS) W+P1+F1

Piping Code (1 of 1): B31.3 -2018, Aug 30, 2019

The SLP column shows the longitudinal pressure stress.

Stresses Evaluation CHECK FAILED : LOADCASE 21 (SUS) W+P1+F1

Highest Stresses: (KPa)
Ratio (%): 153.0 @Node 1140
Code: 168798.4 Allowable: 110316.1
SLP 2389.0 @Node 490
F/A 10132.3 @Node 1170
Bending 158000.6 @Node 1140
Torsion 18294.4 @Node 909
SIF/Index In-Plane 1.7 @Node 689
SIF/Index Out-Plane 1.4 @Node 689
SIF/Index Torsion 1.0 @Node 10
SIF/Index Axial 1.0 @Node 10

Node	SLP KPa	F/A KPa	Bending KPa	Torsion KPa	SIF Index In-Plane	SIF Index Out-Plane	SIF Index Torsion	SIF Index Axial	Code KPa	Allowable KPa	Ratio %
10	140.5	0.9	1681.0	-180.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1858.0	110316.1	1.7
20	140.5	0.9	991.3	180.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1189.0	110316.1	1.1
20											
30											
30											
40											
40	140.5	0.9	71.7	-180.7	1.000	1.000	1.000	1.000	419.7	110316.1	0.4
49	140.5	11.6	113.1	201.6	1.561	1.301	1.000	1.000	482.6	110316.1	0.4
49	140.5	11.6	113.1	-201.6	1.561	1.301	1.000	1.000	482.6	110316.1	0.4
50	140.5	15.4	243.8	166.2	1.561	1.301	1.000	1.000	519.8	110316.1	0.5
50	140.5	15.4	178.5	-166.2	1.000	1.000	1.000	1.000	471.4	110316.1	0.4
60	140.5	15.4	146.8	166.2	1.000	1.000	1.000	1.000	449.5	110316.1	0.4
60											
70											
70	140.5	15.4	82.9	-166.2	1.000	1.000	1.000	1.000	409.2	110316.1	0.4
80	140.5	15.4	228.4	166.2	1.000	1.000	1.000	1.000	508.1	110316.1	0.5
80											
90											
90	140.5	15.4	140.3	-166.2	1.000	1.000	1.000	1.000	445.2	110316.1	0.4
100	140.5	15.4	71.3	166.2	1.024	1.115	1.000	1.000	402.5	110316.1	0.4
100	140.5	14.0	257.6	115.5	1.024	1.115	1.000	1.000	472.3	110316.1	0.4
110	140.5	14.0	209.3	-115.5	1.000	1.000	1.000	1.000	430.9	110316.1	0.4
110											
120											
120	140.5	14.0	194.1	115.5	1.000	1.000	1.000	1.000	418.2	110316.1	0.4
130	140.5	14.0	157.2	-115.5	1.000	1.000	1.000	1.000	387.9	110316.1	0.4
130											
140											
140	140.5	14.0	137.4	115.5	1.000	1.000	1.000	1.000	372.2	110316.1	0.3
149	140.5	22.0	217.4	-114.2	1.561	1.301	1.000	1.000	443.2	110316.1	0.4
149	140.5	22.0	217.4	114.2	1.561	1.301	1.000	1.000	443.2	110316.1	0.4
150	140.5	17.2	424.9	-22.8	1.561	1.301	1.000	1.000	584.4	110316.1	0.5
150	140.5	17.2	323.4	22.8	1.000	1.000	1.000	1.000	483.2	110316.1	0.4
160	140.5	17.2	341.0	-22.8	1.000	1.000	1.000	1.000	500.7	110316.1	0.5

160											
170											
170	156.1	27.2	802.1	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	989.3	110316.1	0.9
180	156.1	27.2	1247.8	-43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1433.8	110316.1	1.3
180	156.1	82.0	1247.8	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1488.5	110316.1	1.3
190	156.1	82.0	891.4	-43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1132.9	110316.1	1.0
190											
200											
200	156.1	82.0	296.1	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	541.2	110316.1	0.5
210	156.1	82.0	18.9	-43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	271.2	110316.1	0.2
210											
220											
220	156.1	82.0	119.8	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	368.2	110316.1	0.3
230	156.1	82.0	463.9	-43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	707.3	110316.1	0.6
230	156.1	82.0	463.9	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	707.3	110316.1	0.6
240	156.1	82.0	4406.4	-43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	4645.4	110316.1	4.2
240											
250											
250	156.1	82.0	4822.1	43.2	1.000	1.000	1.000	1.000	5061.0	110316.1	4.6
260	156.1	82.0	5948.0	-43.2	1.076	1.185	1.000	1.000	6186.7	110316.1	5.6
260	156.1	-1021.7	36455.8	-120.3	1.076	1.185	1.000	1.000	37322.1	110316.1	33.8
270	156.1	-1021.7	25789.1	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	26655.7	110316.1	24.2
270											
280											
280	156.1	-1021.7	20449.1	-120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	21316.0	110316.1	19.3
290	156.1	-1021.7	11693.3	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	12561.1	110316.1	11.4
290											
300											
300	156.1	-1021.7	1395.8	-120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	2274.0	110316.1	2.1
310	156.1	-1021.7	7291.6	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	8160.7	110316.1	7.4
310	156.1	-476.2	7291.6	-120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	7615.4	110316.1	6.9
320	156.1	-476.2	6614.2	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	6938.4	110316.1	6.3
320											
330											
330	156.1	-476.2	6018.9	-120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	6343.5	110316.1	5.8
340	156.1	-476.2	1088.9	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1429.3	110316.1	1.3
340											
350											
350	156.1	-476.2	704.4	-120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1052.3	110316.1	1.0
360	156.1	-476.2	1134.2	120.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1474.0	110316.1	1.3
100	140.5	-16.2	663.4	-50.1	1.024	1.115	1.000	1.000	794.0	110316.1	0.7
370	140.5	-16.2	311.0	50.1	1.000	1.000	1.000	1.000	446.6	110316.1	0.4
370											
380											
380	156.1	-25.7	376.1	-95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	541.1	110316.1	0.5
390	156.1	-25.7	1020.0	95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1166.1	110316.1	1.1
390	156.1	39.2	1020.0	-95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1230.2	110316.1	1.1
400	156.1	39.2	757.9	95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	972.0	110316.1	0.9
400											
410											
410	156.1	39.2	371.1	-95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	597.5	110316.1	0.5
420	156.1	39.2	229.9	95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	465.9	110316.1	0.4

420											
430											
430	156.1	39.2	170.1	-95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	412.0	110316.1	0.4
440	156.1	39.2	591.5	95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	809.5	110316.1	0.7
440											
450											
450	156.1	39.2	744.6	-95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	959.0	110316.1	0.9
460	156.1	39.2	1919.8	95.1	1.000	1.000	1.000	1.000	2123.7	110316.1	1.9
10000											
10010											
10010											
10020											
10020											
10030											
10020											
10040											
10050											
10060											
10060											
10070											
10070											
10080											
10070											
10090											
470	1948.1	-4369.2	81074.2	-444.1	1.000	1.000	1.000	1.000	83500.1	110316.1	75.7
480	1948.1	-4332.3	16069.4	444.1	1.000	1.000	1.000	1.000	18474.9	110316.1	16.7
480	1948.1	-4332.3	16069.4	-444.1	1.000	1.000	1.000	1.000	18474.9	110316.1	16.7
490	2389.0	-3217.5	2818.7	258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	3683.7	110316.1	3.3
490	2389.0	-3217.5	2818.7	-258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	3683.7	110316.1	3.3
500	2389.0	-3213.9	835.5	258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1739.0	110316.1	1.6
500											
510											
510	2389.0	-3202.9	5488.0	-258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	6323.1	110316.1	5.7
520	2389.0	-3195.0	13150.7	258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	13966.3	110316.1	12.7
520											
530											
530	2389.0	-3155.9	24292.8	-258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	25065.1	110316.1	22.7
540	2389.0	-3149.5	30528.8	258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	31293.6	110316.1	28.4
540											
550											
550	2389.0	-3138.5	35231.5	-258.4	1.000	1.000	1.000	1.000	35984.8	110316.1	32.6
559	2389.0	-3172.9	63401.2	298.9	1.698	1.415	1.000	1.000	64188.0	110316.1	58.2
559	2389.0	-3172.9	63401.2	-298.9	1.698	1.415	1.000	1.000	64188.0	110316.1	58.2
560	2389.0	-1354.9	51585.1	165.1	1.698	1.415	1.000	1.000	52620.3	110316.1	47.7
560	2389.0	-1354.9	30388.0	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	31423.9	110316.1	28.5
570	2389.0	-1354.9	25858.3	165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	26894.4	110316.1	24.4
570											
580											
580	2389.0	-1354.9	36694.2	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	37729.8	110316.1	34.2
590	2389.0	-1354.9	10223.0	165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	11261.9	110316.1	10.2
590	2389.0	-1354.9	10223.0	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	11261.9	110316.1	10.2

600	2389.0	-1354.9	12816.6	165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	13854.7	110316.1	12.6
600	2389.0	-1528.6	12816.6	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	13681.0	110316.1	12.4
610	2389.0	-1528.6	36926.8	165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	37788.7	110316.1	34.3
610	2389.0	-1908.8	36926.8	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	37408.5	110316.1	33.9
620	2389.0	-1908.8	49925.9	165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	50407.2	110316.1	45.7
620											
630											
630	2389.0	-1908.8	58375.4	-165.1	1.000	1.000	1.000	1.000	58856.6	110316.1	53.4
960	2389.0	-1908.8	77738.9	165.1	1.076	1.185	1.000	1.000	78219.8	110316.1	70.9
260	156.1	-1393.8	42226.7	20.8	1.076	1.185	1.000	1.000	43464.4	110316.1	39.4
650	156.1	-1386.4	33414.7	-20.8	1.000	1.000	1.000	1.000	34645.0	110316.1	31.4
650											
660											
660	156.1	-1375.5	29598.5	20.8	1.000	1.000	1.000	1.000	30817.9	110316.1	27.9
670	156.1	-1324.8	11809.1	-20.8	1.000	1.000	1.000	1.000	12977.8	110316.1	11.8
670											
680											
680	156.1	-1313.8	15479.6	20.8	1.000	1.000	1.000	1.000	16637.3	110316.1	15.1
689	156.1	-1666.4	31341.6	-752.2	1.702	1.418	1.000	1.000	32886.2	110316.1	29.8
689	156.1	-1666.4	31341.6	752.2	1.702	1.418	1.000	1.000	32886.2	110316.1	29.8
690	156.1	-1049.0	27259.5	-1446.0	1.702	1.418	1.000	1.000	28300.5	110316.1	25.7
690	156.1	-1049.0	16035.8	1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	17173.8	110316.1	15.6
700	156.1	-1049.0	14214.7	-1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	15381.8	110316.1	13.9
700											
710											
710	156.1	-1049.0	10083.3	1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	11350.7	110316.1	10.3
720	156.1	-1049.0	5629.6	-1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	7134.9	110316.1	6.5
720											
730											
730	2389.0	-1049.0	11426.7	1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	13090.1	110316.1	11.9
740	2389.0	-1049.0	18167.3	-1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	19720.5	110316.1	17.9
740											
750											
750	2389.0	-1049.0	22448.0	1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	23963.2	110316.1	21.7
760	2389.0	-1049.0	50369.0	-1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	51789.8	110316.1	46.9
760											
770											
770	2389.0	-1049.0	54656.0	1446.0	1.000	1.000	1.000	1.000	56070.7	110316.1	50.8
840	2389.0	-1049.0	66747.6	-1446.0	1.076	1.185	1.000	1.000	68149.0	110316.1	61.8
790	1948.1	2329.8	55613.8	-6923.5	1.000	1.000	1.000	1.000	61471.5	110316.1	55.7
800	1948.1	2354.7	15896.6	6923.5	1.000	1.000	1.000	1.000	24489.9	110316.1	22.2
800	1948.1	2354.7	15896.6	-6923.5	1.000	1.000	1.000	1.000	24489.9	110316.1	22.2
810	2389.0	1757.6	5602.4	4028.5	1.000	1.000	1.000	1.000	12647.4	110316.1	11.5
810	2389.0	1757.6	5602.4	-4028.5	1.000	1.000	1.000	1.000	12647.4	110316.1	11.5
820	2389.0	1761.3	5904.9	4028.5	1.000	1.000	1.000	1.000	12884.9	110316.1	11.7
820											
830											
830	2389.0	1772.2	8662.6	-4028.5	1.000	1.000	1.000	1.000	15144.8	110316.1	13.7
840	2389.0	1779.6	16148.9	4028.5	1.076	1.185	1.000	1.000	21856.7	110316.1	19.8
840	2389.0	604.4	47831.9	-15306.4	1.076	1.185	1.000	1.000	59332.6	110316.1	53.8
850	2389.0	611.8	32050.1	15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	46537.2	110316.1	42.2

850											
860											
860	2389.0	622.7	23940.2	-15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	40786.7	110316.1	37.0
870	2389.0	626.4	17773.5	15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	37004.4	110316.1	33.5
870											
880											
880	2389.0	665.5	1838.0	-15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	31001.4	110316.1	28.1
890	2389.0	669.2	7740.6	15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	32461.7	110316.1	29.4
890											
900											
900	2389.0	680.2	15818.1	-15306.4	1.000	1.000	1.000	1.000	35970.5	110316.1	32.6
909	2389.0	1051.2	15894.6	18294.4	1.698	1.415	1.000	1.000	41383.3	110316.1	37.5
909	2389.0	1051.2	15894.6	-18294.4	1.698	1.415	1.000	1.000	41383.3	110316.1	37.5
910	2389.0	800.2	34207.4	13032.4	1.698	1.415	1.000	1.000	45583.8	110316.1	41.3
910	2389.0	800.2	23590.3	-13032.4	1.000	1.000	1.000	1.000	37370.0	110316.1	33.9
920	2389.0	800.2	20256.7	13032.4	1.000	1.000	1.000	1.000	35058.3	110316.1	31.8
920											
930											
930	2389.0	800.2	12268.7	-13032.4	1.000	1.000	1.000	1.000	30303.9	110316.1	27.5
940	2389.0	800.2	7323.2	13032.4	1.000	1.000	1.000	1.000	28104.9	110316.1	25.5
940											
950											
950	2389.0	800.2	15320.3	-13032.4	1.000	1.000	1.000	1.000	31968.4	110316.1	29.0
960	2389.0	800.2	29885.3	13032.4	1.076	1.185	1.000	1.000	42110.5	110316.1	38.2
960	2389.0	-1356.6	44505.3	-718.0	1.076	1.185	1.000	1.000	45560.3	110316.1	41.3
970	2389.0	-1356.6	19411.3	718.0	1.000	1.000	1.000	1.000	20494.1	110316.1	18.6
970											
980											
980	2389.0	-1356.6	5409.9	-718.0	1.000	1.000	1.000	1.000	6600.4	110316.1	6.0
989	2389.0	1943.9	23813.4	970.4	1.698	1.415	1.000	1.000	28213.1	110316.1	25.6
989	2389.0	1943.9	23813.4	-970.4	1.698	1.415	1.000	1.000	28213.1	110316.1	25.6
990	2389.0	4105.7	38147.2	85.6	1.698	1.415	1.000	1.000	44642.2	110316.1	40.5
990	2389.0	4105.7	22548.2	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	29043.4	110316.1	26.3
1000	2389.0	4105.7	24603.9	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	31099.1	110316.1	28.2
1000											
1010											
1010	2389.0	4105.7	29547.2	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	36042.3	110316.1	32.7
1020	2389.0	4105.7	37310.1	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	43805.2	110316.1	39.7
1020	2389.0	4105.7	37310.1	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	43805.2	110316.1	39.7
1030	2389.0	4105.7	14197.0	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	20692.5	110316.1	18.8
1030	2389.0	4219.4	14197.0	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	20806.2	110316.1	18.9
1040	2389.0	4219.4	9763.0	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	16372.3	110316.1	14.8
1040											
1050											
1050											
1060											
1060											
1070											
1070	2389.0	4219.4	3120.9	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	9730.8	110316.1	8.8
1080	2389.0	4219.4	3034.0	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	9643.9	110316.1	8.7
1080	2389.0	4323.1	3034.0	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	9747.6	110316.1	8.8
1090	2389.0	4323.1	7804.4	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	14517.5	110316.1	13.2

1090	2389.0	4323.1	7804.4	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	14517.5	110316.1	13.2	
1100	2389.0	4323.1	21744.4	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	28457.0	110316.1	25.8	
1100												
1110												
1110												
1120												
1120												
1130												
1130	1352.2	4323.1	125999.1	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	131674.5	110316.1	119.4	*
1140	1352.2	4323.1	158000.6	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	163676.0	110316.1	148.4	*
1140	1352.2	9445.5	158000.6	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	168798.4	110316.1	153.0	*
1150	1352.2	9445.5	89012.4	85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	99810.2	110316.1	90.5	
1150												
1160												
1160	1352.2	9445.5	53787.2	-85.6	1.000	1.000	1.000	1.000	64585.1	110316.1	58.5	
1169	1352.2	-488.6	1715.5	79.8	1.700	1.416	1.000	1.000	2584.0	110316.1	2.3	
1169	1352.2	-488.6	1715.5	-79.8	1.700	1.416	1.000	1.000	2584.0	110316.1	2.3	
1170	1352.2	-10132.3	61139.6	31.5	1.700	1.416	1.000	1.000	69919.7	110316.1	63.4	
1170	1352.2	-45.7	35974.7	-31.5	1.000	1.000	1.000	1.000	37281.3	110316.1	33.8	
1180	1352.2	-43.6	34989.6	31.5	1.000	1.000	1.000	1.000	36298.3	110316.1	32.9	
1180												
1190												
1190	1352.2	-32.7	32629.6	-31.5	1.000	1.000	1.000	1.000	33949.2	110316.1	30.8	
1200	1352.2	-1.2	17238.0	31.5	1.000	1.000	1.000	1.000	18589.1	110316.1	16.9	
1200												
1210												
1210	1352.2	9.8	14878.0	-31.5	1.000	1.000	1.000	1.000	16240.1	110316.1	14.7	
1219	1352.2	492.0	20507.1	12.4	1.700	1.416	1.000	1.000	22351.4	110316.1	20.3	
1219	1352.2	492.0	20507.1	-12.4	1.700	1.416	1.000	1.000	22351.4	110316.1	20.3	
1220	1352.2	679.9	19293.4	-9.7	1.700	1.416	1.000	1.000	21325.5	110316.1	19.3	
1220	1352.2	679.9	11352.3	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13384.4	110316.1	12.1	
1230	1352.2	679.9	11382.9	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13415.0	110316.1	12.2	
1230												
1240												
1240	1352.2	679.9	11478.8	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13510.9	110316.1	12.2	
1250	1352.2	679.9	14224.9	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	16257.0	110316.1	14.7	
1250	1352.2	530.8	14224.9	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	16107.9	110316.1	14.6	
1260	1352.2	530.8	11269.2	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13152.2	110316.1	11.9	
1260												
1270												
1270	1352.2	530.8	10116.3	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	11999.3	110316.1	10.9	
1280	1352.2	530.8	1973.8	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	3856.8	110316.1	3.5	
1280												
1290												
1290	1352.2	530.8	986.4	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	2869.5	110316.1	2.6	
1300	1352.2	530.8	1362.1	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	3245.1	110316.1	2.9	
1300	1352.2	530.8	1362.1	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	3245.1	110316.1	2.9	
1310	1352.2	530.8	8215.5	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	10098.5	110316.1	9.2	
1310	1352.2	459.2	8215.5	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	10026.9	110316.1	9.1	
1320	1352.2	459.2	6804.7	-9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	8616.1	110316.1	7.8	
1320												

1330											
1330	1352.2	459.2	6761.5	9.7	1.000	1.000	1.000	1.000	8572.9	110316.1	7.8
1339	1352.2	324.1	10586.7	12.9	1.700	1.416	1.000	1.000	12263.0	110316.1	11.1
1339	1352.2	324.1	10586.7	-12.9	1.700	1.416	1.000	1.000	12263.0	110316.1	11.1
1340	1352.2	3.4	8472.5	29.6	1.700	1.416	1.000	1.000	9828.3	110316.1	8.9
1340	1352.2	3.4	4985.2	-29.6	1.000	1.000	1.000	1.000	6341.1	110316.1	5.7
1350	1352.2	5.4	4320.0	29.6	1.000	1.000	1.000	1.000	5678.0	110316.1	5.1
1350											
1360											
1360	1352.2	16.4	2726.4	-29.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4095.4	110316.1	3.7
1370	1352.2	32.1	2471.4	29.6	1.000	1.000	1.000	1.000	3856.1	110316.1	3.5
1370											
1380											
1380	1352.2	43.1	4065.0	-29.6	1.000	1.000	1.000	1.000	5460.6	110316.1	4.9
1389	1352.2	-289.8	10244.9	41.8	1.700	1.416	1.000	1.000	11307.6	110316.1	10.3
1389	1352.2	-289.8	10244.9	-41.8	1.700	1.416	1.000	1.000	11307.6	110316.1	10.3
1390	1352.2	-459.2	11358.5	31.2	1.700	1.416	1.000	1.000	12251.7	110316.1	11.1
1390	1352.2	-459.2	6683.4	-31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7576.7	110316.1	6.9
1400	1352.2	-459.2	6762.3	31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7655.6	110316.1	6.9
1400											
1410											
1410	1352.2	-459.2	6973.8	-31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7867.1	110316.1	7.1
1420	1352.2	-459.2	10031.1	31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	10924.3	110316.1	9.9
1420	1352.2	-355.9	10031.1	-31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	11027.6	110316.1	10.0
1430	1352.2	-355.9	1048.9	31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	2046.2	110316.1	1.9
1430	1352.2	-293.8	1048.9	-31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	2108.2	110316.1	1.9
1440	1352.2	-293.8	3975.5	31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	5034.3	110316.1	4.6
1440											
1450											
1450	1352.2	-293.8	4086.4	-31.2	1.000	1.000	1.000	1.000	5145.1	110316.1	4.7
1459	1352.2	-222.1	6547.8	-46.5	1.700	1.416	1.000	1.000	7678.5	110316.1	7.0
1459	1352.2	-222.1	6547.8	46.5	1.700	1.416	1.000	1.000	7678.5	110316.1	7.0
1460	1352.2	-16.1	5225.8	-98.1	1.700	1.416	1.000	1.000	6564.9	110316.1	6.0
1460	1352.2	-16.1	3075.1	98.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4415.6	110316.1	4.0
1470	1352.2	-14.0	2649.5	-98.1	1.000	1.000	1.000	1.000	3992.5	110316.1	3.6
1470											
1480											
1480	1352.2	-3.1	1630.3	98.1	1.000	1.000	1.000	1.000	2985.9	110316.1	2.7
1490	1352.2	12.7	1699.3	-98.1	1.000	1.000	1.000	1.000	3070.4	110316.1	2.8
1490											
1500											
1500	1352.2	23.6	2718.5	98.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4099.1	110316.1	3.7
1509	1352.2	228.9	6641.6	-101.4	1.700	1.416	1.000	1.000	8225.2	110316.1	7.5
1509	1352.2	228.9	6641.6	101.4	1.700	1.416	1.000	1.000	8225.2	110316.1	7.5
1510	1352.2	293.8	7059.2	-46.4	1.700	1.416	1.000	1.000	8705.8	110316.1	7.9
1510	1352.2	293.8	4155.0	46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	5801.8	110316.1	5.3
1520	1352.2	293.8	4104.3	-46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	5751.1	110316.1	5.2
1520											
1530											
1530	1352.2	293.8	3960.3	46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	5607.1	110316.1	5.1
1540	1352.2	293.8	625.1	-46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	2273.1	110316.1	2.1

1540	1352.2	293.8	625.1	46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	2273.1	110316.1	2.1
1550	1352.2	293.8	9069.2	-46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	10715.6	110316.1	9.7
1550	1352.2	139.5	9069.2	46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	10561.2	110316.1	9.6
1560	1352.2	139.5	11169.2	-46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	12661.2	110316.1	11.5
1560											
1570											
1570	1352.2	139.5	11855.9	46.4	1.000	1.000	1.000	1.000	13347.9	110316.1	12.1
1579	1352.2	231.0	21181.1	-365.9	1.700	1.416	1.000	1.000	22776.1	110316.1	20.6
1579	1352.2	231.0	21181.1	365.9	1.700	1.416	1.000	1.000	22776.1	110316.1	20.6
1580	1352.2	183.1	20877.3	-465.3	1.700	1.416	1.000	1.000	22431.9	110316.1	20.3
1580	1352.2	183.1	12284.4	465.3	1.000	1.000	1.000	1.000	13851.0	110316.1	12.6
1590	1352.2	181.1	12082.4	-465.3	1.000	1.000	1.000	1.000	13647.5	110316.1	12.4
1590											
1600											
1600	1352.2	170.1	11598.6	465.3	1.000	1.000	1.000	1.000	13153.9	110316.1	11.9
1610	1352.2	-15.6	7075.5	-465.3	1.000	1.000	1.000	1.000	8463.4	110316.1	7.7
1610											
1620											
1620	1352.2	-26.5	7558.4	465.3	1.000	1.000	1.000	1.000	8932.7	110316.1	8.1
1629	1352.2	-26.8	7461.8	-3134.4	1.700	1.416	1.000	1.000	10794.1	110316.1	9.8
1629	1352.2	-26.8	7461.8	3134.4	1.700	1.416	1.000	1.000	10794.1	110316.1	9.8
1630	1352.2	-5.1	1373.6	-4124.1	1.700	1.416	1.000	1.000	8685.3	110316.1	7.9
1630	1352.2	-5.1	837.3	4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	8532.5	110316.1	7.7
1640	1352.2	-5.1	709.8	-4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	8500.8	110316.1	7.7
1640											
1650											
1650	1352.2	-5.1	603.0	4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	8475.5	110316.1	7.7
1660	1352.2	-5.1	2425.1	-4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	9069.8	110316.1	8.2
1660											
1670											
1670	1352.2	-5.1	2950.7	4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	9300.7	110316.1	8.4
1680	1352.2	-5.1	4020.4	-4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	9840.8	110316.1	8.9
1680	1352.2	-5.1	4020.4	4124.1	1.000	1.000	1.000	1.000	9840.8	110316.1	8.9
1689	1352.2	95.0	12497.0	-2378.9	1.700	1.416	1.000	1.000	14733.5	110316.1	13.4
1689	1352.2	95.0	12497.0	2378.9	1.700	1.416	1.000	1.000	14733.5	110316.1	13.4
1690	1352.2	139.5	14487.8	869.3	1.700	1.416	1.000	1.000	16073.8	110316.1	14.6
1690	1352.2	139.5	9767.6	-869.3	1.000	1.000	1.000	1.000	11392.7	110316.1	10.3
1700	1352.2	139.5	9902.7	869.3	1.000	1.000	1.000	1.000	11526.2	110316.1	10.4
1700											
1710											
1710	1352.2	139.5	11281.6	-869.3	1.000	1.000	1.000	1.000	12891.0	110316.1	11.7
1720	1352.2	139.5	15240.0	869.3	1.000	1.000	1.000	1.000	16821.7	110316.1	15.2

Anexo C

Reporte de Esfuerzos Térmicos

B31.3 STRESSES REPORT: Stresses on Elements
CASE 28 (EXP) L28=L23-L26

Piping Code (1 of 1): B31.3 -2018, Aug 30, 2019

The SLP column shows the longitudinal pressure stress.

Stresses Evaluation CHECK FAILED : LOADCASE 28 (EXP) L28=L23-L26

Highest Stresses: (KPa)
Ratio (%): 209.6 @Node 10
Code: 574230.5 Allowable: 273932.3
F/A 50922.5 @Node 260
Bending 571859.4 @Node 10
Torsion 32632.4 @Node 910
SIF/Index In-Plane 2.3 @Node 689
SIF/Index Out-Plane 1.9 @Node 689
SIF/Index Torsion 1.0 @Node 10
SIF/Index Axial 1.6 @Node 260

Node	SLP KPa	F/A KPa	Bending KPa	Torsion KPa	SIF Index In-Plane	SIF Index Out-Plane	SIF Index Torsion	SIF Index Axial	Code KPa	Allowable KPa	Ratio %	
10		-2371.1	571859.4	1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	574230.5	273932.3	209.6	*
20		-2371.1	386973.2	-1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	389344.4	274601.2	141.8	*
20												
30												
30												
40												
40		-2371.1	6111.1	1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	8482.2	275370.6	3.1	
49		-22411.3	202367.5	-63.4	2.081	1.734	1.000	1.000	224778.8	275307.7	81.6	
49		-22411.3	202367.5	63.4	2.081	1.734	1.000	1.000	224778.8	275307.7	81.6	
50		-29323.3	259960.2	-74.4	2.081	1.734	1.000	1.000	289283.5	275270.4	105.1	*
50		-29323.3	124912.6	74.4	1.000	1.000	1.000	1.000	154236.0	275318.8	56.0	
60		-29323.3	123043.9	-74.4	1.000	1.000	1.000	1.000	152367.2	275340.8	55.3	
60												
70												
70		-29323.3	116166.9	74.4	1.000	1.000	1.000	1.000	145490.2	275381.1	52.8	
80		-29323.3	21241.7	-74.4	1.000	1.000	1.000	1.000	50565.2	275282.2	18.4	
80												
90												
90		-29323.3	14369.6	74.4	1.000	1.000	1.000	1.000	43693.1	275345.1	15.9	
100		-43593.4	4201.7	-74.4	1.365	1.487	1.000	1.487	47795.4	275387.8	17.4	
100		-18439.7	369303.7	-78.2	1.365	1.487	1.000	1.487	387743.4	275318.0	140.8	*
110		-12403.6	174824.3	78.2	1.000	1.000	1.000	1.000	187227.9	275359.4	68.0	
110												
120												
120		-12403.6	116883.1	-78.2	1.000	1.000	1.000	1.000	129286.7	275372.1	46.9	
130		-12403.6	9148.2	78.2	1.000	1.000	1.000	1.000	21552.3	275402.4	7.8	
130												
140												
140		-12403.6	67036.0	-78.2	1.000	1.000	1.000	1.000	79439.7	275418.1	28.8	
149		-22896.9	259689.4	674.9	2.081	1.734	1.000	1.000	282589.5	275347.1	102.6	*
149		-22896.9	259689.4	-674.9	2.081	1.734	1.000	1.000	282589.5	275347.1	102.6	*
150		-19977.6	235355.0	1012.9	2.081	1.734	1.000	1.000	255340.6	275205.9	92.8	
150		-19977.6	113089.8	-1012.9	1.000	1.000	1.000	1.000	133082.8	275307.1	48.3	
160		-19977.6	103314.4	1012.9	1.000	1.000	1.000	1.000	123308.7	275289.6	44.8	
160												

170											
170	-31681.5	127812.9	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	159540.7	274801.0	58.1	
180	-31681.5	20812.6	1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	52634.7	274356.5	19.2	
180	-31807.2	20812.6	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	52760.1	274301.8	19.2	
190	-31807.2	19510.9	1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	51461.9	274657.4	18.7	
190											
200											
200	-31807.2	16704.0	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	48663.3	275249.0	17.7	
210	-31807.2	14806.9	1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	46772.4	275519.1	17.0	
210											
220											
220	-31807.2	13663.1	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	45632.6	275422.1	16.6	
230	-31807.2	9776.4	1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	41761.0	274734.2	15.2	
230	-31807.2	9776.4	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	41761.0	274734.2	15.2	
240	-31807.2	20536.7	1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	52484.9	271144.9	19.4	
240											
250											
250	-31807.2	22326.2	-1922.3	1.000	1.000	1.000	1.000	54269.7	270729.3	20.0	
260	-50256.5	35973.7	1922.3	1.435	1.580	1.000	1.580	86315.9	269603.6	32.0	
260	-50922.5	13531.8	3762.5	1.435	1.580	1.000	1.580	64892.1	238468.2	27.2	
270	-32228.7	5364.7	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	38339.2	249134.6	15.4	
270											
280											
280	-32228.7	6492.4	3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	39445.6	254474.3	15.5	
290	-32228.7	11889.2	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	44755.1	263229.1	17.0	
290											
300											
300	-32228.7	21367.7	3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	54122.1	273516.2	19.8	
310	-32228.7	25864.7	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	58578.8	267629.6	21.9	
310	-33194.2	25864.7	3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	59536.4	268174.8	22.2	
320	-33194.2	23114.6	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	56809.4	268851.8	21.1	
320											
330											
330	-33194.2	20584.8	3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	54302.9	269446.8	20.2	
340	-33194.2	4771.4	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	38704.2	274360.9	14.1	
340											
350											
350	-33194.2	7288.7	3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	41176.3	274738.0	15.0	
360	-33194.2	21026.4	-3762.5	1.000	1.000	1.000	1.000	54740.3	274316.2	20.0	
100	26174.6	365214.8	76.3	1.365	1.487	1.000	1.487	391389.4	274996.3	142.3	*
370	17606.5	186482.1	-76.3	1.000	1.000	1.000	1.000	204088.6	275343.6	74.1	
370											
380											
380	27921.3	260796.0	144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	288717.5	275249.2	104.9	*
390	27921.3	58388.5	-144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	86310.2	274522.8	31.4	
390	27641.7	58388.5	144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	86030.6	274505.8	31.3	
400	27641.7	54315.4	-144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	81957.6	274809.6	29.8	
400											
410											
410	27641.7	45437.8	144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	73080.0	275192.8	26.6	
420	27641.7	39331.3	-144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	66973.6	275324.4	24.3	

420										
430										
430	27641.7	35587.2	144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	63229.6	275378.2	23.0
440	27641.7	2845.6	-144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	30488.6	274980.8	11.1
440										
450										
450	27641.7	6076.7	144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	33719.6	274831.3	12.3
460	27641.7	26178.7	-144.7	1.000	1.000	1.000	1.000	53821.1	273666.5	19.7
10000										
10010										
10010										
10020										
10020										
10030										
10020										
10040										
10050										
10060										
10060										
10070										
10070										
10080										
10070										
10090										
470	-28007.4	28658.9	1307.6	1.000	1.000	1.000	1.000	56726.6	192290.2	29.5
480	-28007.4	58224.3	-1307.6	1.000	1.000	1.000	1.000	86271.3	257315.4	33.5
480	-28007.4	58224.3	1307.6	1.000	1.000	1.000	1.000	86271.3	257315.4	33.5
490	-20837.6	42616.1	-760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	63472.0	272106.6	23.3
490	-20837.6	42616.1	760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	63472.0	272106.6	23.3
500	-20837.6	47395.0	-760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	68249.5	274051.3	24.9
500										
510										
510	-20837.6	53676.0	760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	74529.1	269467.2	27.7
520	-20837.6	63917.0	-760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	84768.3	261824.0	32.4
520										
530										
530	-20837.6	78801.1	760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	99650.3	250725.2	39.7
540	-20837.6	87130.8	-760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	107979.2	244496.7	44.2
540										
550										
550	-20837.6	93412.3	760.8	1.000	1.000	1.000	1.000	114260.1	239805.5	47.6
559	-16008.1	174909.3	-3653.8	2.263	1.886	1.000	1.000	191057.2	211602.3	90.3
559	-16008.1	174909.3	3653.8	2.263	1.886	1.000	1.000	191057.2	211602.3	90.3
560	-1801.2	51365.3	-4603.1	2.263	1.886	1.000	1.000	53957.7	223170.0	24.2
560	-1801.2	22697.8	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	26171.6	244366.4	10.7
570	-1801.2	7530.4	-4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	13108.5	248895.8	5.3
570										
580										
580	-1801.2	64833.8	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	67268.0	238060.5	28.3
590	-1801.2	249658.1	-4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	251627.8	264528.3	95.1
590	-4147.6	249658.1	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	253972.6	264528.3	96.0
600	-4147.6	59233.1	-4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	64045.8	261935.6	24.5

600	-5070.6	59233.1	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	64959.4	262109.2	24.8
610	-5070.6	67853.7	-4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	73503.1	238001.6	30.9
610	-2259.1	67853.7	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	70714.6	238381.8	29.7
620	-2259.1	42332.2	-4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	45531.7	225383.1	20.2
620										
630										
630	-2259.1	65011.6	4603.1	1.000	1.000	1.000	1.000	67897.7	216933.7	31.3
960	-3569.4	185884.1	-4603.1	1.435	1.580	1.000	1.580	189677.1	197570.5	96.0
260	2643.0	33876.0	4523.8	1.435	1.580	1.000	1.580	37623.1	232325.9	16.2
650	1672.7	20347.7	-4523.8	1.000	1.000	1.000	1.000	23806.7	241145.2	9.9
650										
660										
660	1672.7	18594.2	4523.8	1.000	1.000	1.000	1.000	22194.8	244972.4	9.1
670	1672.7	1670.6	-4523.8	1.000	1.000	1.000	1.000	9645.5	262812.5	3.7
670										
680										
680	1672.7	2397.8	4523.8	1.000	1.000	1.000	1.000	9921.0	259152.9	3.8
689	829.1	19546.5	-2427.8	2.269	1.891	1.000	1.000	20946.2	242904.0	8.6
689	829.1	19546.5	2427.8	2.269	1.891	1.000	1.000	20946.2	242904.0	8.6
690	-500.2	29645.3	1183.4	2.269	1.891	1.000	1.000	30238.2	247489.8	12.2
690	-500.2	14053.8	-1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	14745.2	258616.4	5.7
700	-500.2	16013.6	1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	16682.5	260408.5	6.4
700										
710										
710	-500.2	21107.2	-1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	21736.6	264439.5	8.2
720	-500.2	29978.9	1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	30570.9	268655.4	11.4
720										
730										
730	-500.2	43332.9	-1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	43896.9	262700.2	16.7
740	-500.2	52647.6	1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	53200.5	256069.8	20.8
740										
750										
750	-500.2	58386.6	-1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	58934.4	251827.1	23.4
760	-500.2	95686.0	1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	96215.3	224000.5	43.0
760										
770										
770	-500.2	101475.9	-1183.4	1.000	1.000	1.000	1.000	102003.6	219719.6	46.4
840	-790.4	158551.9	1183.4	1.435	1.580	1.000	1.580	159359.9	207641.3	76.7
790	-10822.6	166132.8	14790.0	1.000	1.000	1.000	1.000	179410.7	214318.7	83.7
800	-10822.6	19214.1	-14790.0	1.000	1.000	1.000	1.000	42156.6	251300.4	16.8
800	-10822.6	19214.1	14790.0	1.000	1.000	1.000	1.000	42156.6	251300.4	16.8
810	-8052.0	20451.2	-8605.6	1.000	1.000	1.000	1.000	33296.6	263142.9	12.7
810	-8052.0	20451.2	8605.6	1.000	1.000	1.000	1.000	33296.6	263142.9	12.7
820	-8052.0	32189.0	-8605.6	1.000	1.000	1.000	1.000	43767.2	262905.3	16.6
820										
830										
830	-8052.0	48375.2	8605.6	1.000	1.000	1.000	1.000	58993.8	260645.5	22.6
840	-12722.5	106489.7	-8605.6	1.435	1.580	1.000	1.580	120448.2	253933.6	47.4
840	-10079.5	65234.9	15738.2	1.435	1.580	1.000	1.580	81627.3	216457.7	37.7
850	-6379.3	29935.3	-15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	48057.4	229253.1	21.0
850										

860										
860	-6379.3	27369.3	15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	46149.0	235003.6	19.6
870	-6379.3	30608.0	-15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	48567.7	238785.9	20.3
870										
880										
880	-6379.3	56397.3	15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	70225.8	244788.9	28.7
890	-6379.3	66587.3	-15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	79466.2	243328.6	32.7
890										
900										
900	-6379.3	80465.9	15738.2	1.000	1.000	1.000	1.000	92373.4	239819.8	38.5
909	-6250.9	161863.8	-31395.5	2.263	1.886	1.000	1.000	179458.2	234407.0	76.6
909	-6250.9	161863.8	31395.5	2.263	1.886	1.000	1.000	179458.2	234407.0	76.6
910	-2460.8	127153.0	-32632.4	2.263	1.886	1.000	1.000	145118.0	230206.5	63.0
910	-2460.8	57042.1	32632.4	1.000	1.000	1.000	1.000	88318.2	238420.3	37.0
920	-2460.8	46699.2	-32632.4	1.000	1.000	1.000	1.000	81708.1	240731.9	33.9
920										
930										
930	-2460.8	22774.7	32632.4	1.000	1.000	1.000	1.000	69973.8	245486.4	28.5
940	-2460.8	42808.5	-32632.4	1.000	1.000	1.000	1.000	79428.0	247685.3	32.1
940										
950										
950	-2460.8	67631.0	32632.4	1.000	1.000	1.000	1.000	95772.4	243821.9	39.3
960	-3888.1	162430.0	-32632.4	1.435	1.580	1.000	1.580	178665.1	233679.7	76.5
960	-2589.6	123965.1	-21822.1	1.435	1.580	1.000	1.580	133869.0	230229.9	58.1
970	-1639.0	53006.5	21822.1	1.000	1.000	1.000	1.000	69935.3	255296.2	27.4
970										
980										
980	-1639.0	38687.4	-21822.1	1.000	1.000	1.000	1.000	59422.6	269189.9	22.1
989	-2062.3	86120.4	9991.3	2.263	1.886	1.000	1.000	90418.4	247577.1	36.5
989	-2062.3	86120.4	-9991.3	2.263	1.886	1.000	1.000	90418.4	247577.1	36.5
990	-1277.5	68182.3	-1750.6	2.263	1.886	1.000	1.000	69548.0	231148.0	30.1
990	-1277.5	32773.1	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	34230.2	246746.8	13.9
1000	-1277.5	25906.4	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	27408.5	244691.2	11.2
1000										
1010										
1010	-1277.5	15163.8	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	16810.0	239748.0	7.0
1020	-1277.5	32002.7	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	33463.9	231985.1	14.4
1020	1420.2	32002.7	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	33605.8	231985.1	14.5
1030	1420.2	11991.1	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	13860.7	255097.8	5.4
1030	1123.0	11991.1	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	13573.4	254984.1	5.3
1040	1123.0	8294.9	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	10047.7	259417.9	3.9
1040										
1050										
1050										
1060										
1060										
1070										
1070	1123.0	2135.1	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4782.7	266059.5	1.8
1080	1123.0	1562.7	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4412.7	266146.3	1.7
1080	1180.1	1562.7	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4447.6	266042.7	1.7
1090	1180.1	1406.4	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4353.0	261272.7	1.7

1090	1281.3	1406.4	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4413.9	261272.7	1.7
1100	1281.3	2261.3	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4980.8	247333.3	2.0
1100										
1110										
1110										
1120										
1120										
1130										
1130	1281.3	14676.0	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	16337.0	165474.2	9.9
1140	1281.3	18339.8	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	19931.0	165474.2	12.0
1140	644.7	18339.8	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	19304.6	165474.2	11.7
1150	644.7	12437.9	-1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	13543.0	175980.0	7.7
1150										
1160										
1160	644.7	9445.3	1750.6	1.000	1.000	1.000	1.000	10680.3	211205.1	5.1
1169	-160.9	11724.9	-1696.3	2.266	1.888	1.000	1.000	12360.5	273206.2	4.5
1169	-160.9	11724.9	1696.3	2.266	1.888	1.000	1.000	12360.5	273206.2	4.5
1170	-872.2	7961.9	-743.1	2.266	1.888	1.000	1.000	8958.3	205870.5	4.4
1170	-872.2	3928.2	743.1	1.000	1.000	1.000	1.000	5025.2	238509.0	2.1
1180	-872.2	3350.7	-743.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4476.8	239492.0	1.9
1180										
1190										
1190	-872.2	2894.1	743.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4049.0	241841.1	1.7
1200	-872.2	15481.2	-743.1	1.000	1.000	1.000	1.000	16420.8	257201.1	6.4
1200										
1210										
1210	-872.2	17704.5	743.1	1.000	1.000	1.000	1.000	18636.1	259550.2	7.2
1219	-1072.6	44008.4	-418.4	2.266	1.888	1.000	1.000	45088.8	253438.9	17.8
1219	-1072.6	44008.4	418.4	2.266	1.888	1.000	1.000	45088.8	253438.9	17.8
1220	-644.7	40299.3	56.7	2.266	1.888	1.000	1.000	40944.2	254464.8	16.1
1220	-644.7	17795.7	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	18440.8	262405.9	7.0
1230	-644.7	16526.8	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	17171.9	262375.2	6.5
1230										
1240										
1240	-644.7	13487.2	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	14132.4	262279.4	5.4
1250	-644.7	24551.7	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	25196.7	259533.2	9.7
1250	-718.0	24551.7	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	25270.0	259682.3	9.7
1260	-718.0	19540.5	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	20258.8	262638.1	7.7
1260										
1270										
1270	-718.0	17518.4	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	18236.8	263791.0	6.9
1280	-718.0	2139.3	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	2859.6	271933.4	1.1
1280										
1290										
1290	-718.0	214.5	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	939.4	272920.8	0.3
1300	-718.0	4905.7	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	5624.9	272545.2	2.1
1300	-739.2	4905.7	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	5646.1	272545.2	2.1
1310	-739.2	5885.4	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	6625.6	265691.8	2.5
1310	-741.0	5885.4	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	6627.4	265763.4	2.5
1320	-741.0	14394.1	56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	15135.5	267174.2	5.7
1320										
1330										

1330	-741.0	15264.0	-56.7	1.000	1.000	1.000	1.000	16005.4	267217.4	6.0
1339	-701.2	35064.5	76.8	2.266	1.888	1.000	1.000	35766.0	263527.3	13.6
1339	-701.2	35064.5	-76.8	2.266	1.888	1.000	1.000	35766.0	263527.3	13.6
1340	-250.6	31151.5	51.2	2.266	1.888	1.000	1.000	31402.3	265962.0	11.8
1340	-250.6	13747.3	-51.2	1.000	1.000	1.000	1.000	13998.3	269449.2	5.2
1350	-250.6	12673.8	51.2	1.000	1.000	1.000	1.000	12924.8	270112.3	4.8
1350										
1360										
1360	-250.6	10101.9	-51.2	1.000	1.000	1.000	1.000	10353.0	271694.9	3.8
1370	-250.6	1718.5	51.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1971.8	271934.1	0.7
1370										
1380										
1380	-250.6	867.5	-51.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1122.8	270329.7	0.4
1389	346.8	9571.3	-9.3	2.266	1.888	1.000	1.000	9918.1	264482.7	3.7
1389	346.8	9571.3	9.3	2.266	1.888	1.000	1.000	9918.1	264482.7	3.7
1390	741.0	12992.3	-65.0	2.266	1.888	1.000	1.000	13733.9	263538.6	5.2
1390	741.0	5733.8	65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	6476.1	268213.6	2.4
1400	741.0	6096.8	-65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	6839.1	268134.7	2.6
1400										
1410										
1410	741.0	6966.6	65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	7708.7	267923.2	2.9
1420	741.0	15476.0	-65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	16217.5	264866.0	6.1
1420	571.9	15476.0	65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	16048.5	264762.7	6.1
1430	571.9	11074.3	-65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	11646.9	272808.1	4.3
1430	610.5	11074.3	65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	11685.5	272809.9	4.3
1440	610.5	5531.9	-65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	6143.8	270756.0	2.3
1440										
1450										
1450	610.5	5095.4	65.0	1.000	1.000	1.000	1.000	5707.4	270645.2	2.1
1459	341.5	8797.5	119.8	2.266	1.888	1.000	1.000	9142.1	268111.8	3.4
1459	341.5	8797.5	-119.8	2.266	1.888	1.000	1.000	9142.1	268111.8	3.4
1460	-127.6	4697.8	259.0	2.266	1.888	1.000	1.000	4853.1	269225.3	1.8
1460	-127.6	2076.5	-259.0	1.000	1.000	1.000	1.000	2264.1	271374.7	0.8
1470	-127.6	1206.2	259.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1430.8	271797.8	0.5
1470										
1480										
1480	-127.6	991.8	-259.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1233.4	272804.4	0.5
1490	-127.6	7869.2	259.0	1.000	1.000	1.000	1.000	8013.5	272719.9	2.9
1490										
1500										
1500	-127.6	9988.6	-259.0	1.000	1.000	1.000	1.000	10129.4	271691.2	3.7
1509	-521.9	28018.8	434.6	2.266	1.888	1.000	1.000	28553.9	267565.1	10.7
1509	-521.9	28018.8	-434.6	2.266	1.888	1.000	1.000	28553.9	267565.1	10.7
1510	-610.5	28798.3	380.2	2.266	1.888	1.000	1.000	29418.7	267084.5	11.0
1510	-610.5	12711.0	-380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	13343.2	269988.5	4.9
1520	-610.5	12525.2	380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	13157.7	270039.2	4.9
1520										
1530										
1530	-610.5	12080.4	-380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	12713.7	270183.2	4.7
1540	-610.5	6571.0	380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7221.7	273474.6	2.6
1540	-610.5	6571.0	-380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7221.7	273474.6	2.6

1550	-610.5	19801.5	380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	20426.2	265074.7	7.7
1550	-335.8	19801.5	-380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	20151.6	265229.0	7.6
1560	-335.8	27167.2	380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	27513.4	263129.1	10.5
1560										
1570										
1570	-335.8	29264.7	-380.2	1.000	1.000	1.000	1.000	29610.2	262442.4	11.3
1579	-662.2	70785.7	1541.0	2.266	1.888	1.000	1.000	71514.3	253014.2	28.3
1579	-662.2	70785.7	-1541.0	2.266	1.888	1.000	1.000	71514.3	253014.2	28.3
1580	-600.7	70146.1	1872.9	2.266	1.888	1.000	1.000	70845.9	253358.3	28.0
1580	-600.7	30956.8	-1872.9	1.000	1.000	1.000	1.000	31779.0	261939.3	12.1
1590	-600.7	30469.0	1872.9	1.000	1.000	1.000	1.000	31294.7	262142.8	11.9
1590										
1600										
1600	-600.7	29301.4	-1872.9	1.000	1.000	1.000	1.000	30135.8	262636.4	11.5
1610	-600.7	17757.9	1872.9	1.000	1.000	1.000	1.000	18736.8	267326.8	7.0
1610										
1620										
1620	-600.7	18891.7	-1872.9	1.000	1.000	1.000	1.000	19849.1	266857.6	7.4
1629	-471.2	27400.2	7592.2	2.266	1.888	1.000	1.000	31739.2	264996.2	12.0
1629	-471.2	27400.2	-7592.2	2.266	1.888	1.000	1.000	31739.2	264996.2	12.0
1630	-65.7	16224.0	9241.1	2.266	1.888	1.000	1.000	24636.2	267105.0	9.2
1630	-65.7	7287.5	-9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	19891.1	267257.8	7.4
1640	-65.7	6306.2	9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	19549.7	267289.5	7.3
1640										
1650										
1650	-65.7	3987.3	-9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	18921.3	267314.7	7.1
1660	-65.7	6692.1	9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	19678.8	266720.5	7.4
1660										
1670										
1670	-65.7	9052.2	-9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	20608.8	266489.6	7.7
1680	-65.7	13698.5	9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	23044.3	265949.5	8.7
1680	-65.7	13698.5	-9241.1	1.000	1.000	1.000	1.000	23044.3	265949.5	8.7
1689	-283.9	21139.4	11183.5	2.266	1.888	1.000	1.000	30971.6	261056.8	11.9
1689	-283.9	21139.4	-11183.5	2.266	1.888	1.000	1.000	30971.6	261056.8	11.9
1690	-335.8	37022.8	7249.3	2.266	1.888	1.000	1.000	40073.3	259716.5	15.4
1690	-335.8	18625.8	-7249.3	1.000	1.000	1.000	1.000	23869.4	264397.6	9.0
1700	-335.8	17826.1	7249.3	1.000	1.000	1.000	1.000	23239.2	264264.0	8.8
1700										
1710										
1710	-335.8	13465.8	-7249.3	1.000	1.000	1.000	1.000	20017.2	262899.2	7.6
1720	-335.8	7675.1	7249.3	1.000	1.000	1.000	1.000	16564.5	258968.6	6.4

Anexo D

Reporte de Esfuerzos Ocasionales

B31.3 STRESSES REPORT: Stresses on Elements
CASE 50 (OCC) L50=L21+L42

Piping Code (1 of 1): B31.3 -2018, Aug 30, 2019

The SLP column shows the longitudinal pressure stress.

Stresses Evaluation CHECK FAILED : LOADCASE 50 (OCC) L50=L21+L42

Highest Stresses: (KPa)
Ratio (%): 121.3 @Node 1140
Code: 177925.4 Allowable: 146720.4
SLP 2389.0 @Node 490
F/A 9979.5 @Node 1170
Bending 166778.8 @Node 1140
Torsion 18389.8 @Node 909
SIF/Index In-Plane 1.7 @Node 689
SIF/Index Out-Plane 1.4 @Node 689
SIF/Index Torsion 1.0 @Node 10
SIF/Index Axial 1.0 @Node 10

Node	SLP KPa	F/A KPa	Bending KPa	Torsion KPa	SIF Index In-Plane	SIF Index Out-Plane	SIF Index Torsion	SIF Index Axial	Code KPa	Allowable KPa	Ratio %
10	140.5	25.1	2061.4	-145.1	1.000	1.000	1.000	1.000	2246.7	146720.4	1.5
20	140.5	22.7	1214.4	216.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1424.6	146720.4	1.0
20											
30											
30											
40											
40	140.5	12.3	112.9	-145.1	1.000	1.000	1.000	1.000	508.0	146720.4	0.3
49	140.5	20.6	171.1	242.3	1.561	1.301	1.000	1.000	588.0	146720.4	0.4
49	140.5	20.6	171.1	-160.9	1.561	1.301	1.000	1.000	588.0	146720.4	0.4
50	140.5	18.3	285.0	201.5	1.561	1.301	1.000	1.000	602.7	146720.4	0.4
50	140.5	18.3	208.7	-130.8	1.000	1.000	1.000	1.000	549.1	146720.4	0.4
60	140.5	18.3	166.9	201.5	1.000	1.000	1.000	1.000	523.6	146720.4	0.4
60											
70											
70	140.5	18.3	99.1	-130.8	1.000	1.000	1.000	1.000	482.5	146720.4	0.3
80	140.5	18.3	264.3	201.5	1.000	1.000	1.000	1.000	588.7	146720.4	0.4
80											
90											
90	140.5	18.3	200.9	-130.8	1.000	1.000	1.000	1.000	540.2	146720.4	0.4
100	140.5	18.3	206.5	201.5	1.024	1.115	1.000	1.000	557.6	146720.4	0.4
100	140.5	16.1	396.9	129.9	1.024	1.115	1.000	1.000	616.6	146720.4	0.4
110	140.5	16.1	284.3	-101.1	1.000	1.000	1.000	1.000	513.2	146720.4	0.3
110											
120											
120	140.5	16.1	241.0	129.9	1.000	1.000	1.000	1.000	475.0	146720.4	0.3
130	140.5	16.1	166.7	-101.1	1.000	1.000	1.000	1.000	419.0	146720.4	0.3
130											
140											
140	140.5	16.1	151.8	129.9	1.000	1.000	1.000	1.000	405.4	146720.4	0.3
149	140.5	25.1	260.5	-103.0	1.561	1.301	1.000	1.000	494.1	146720.4	0.3
149	140.5	25.1	260.5	125.4	1.561	1.301	1.000	1.000	494.1	146720.4	0.3
150	140.5	18.3	482.7	-17.7	1.561	1.301	1.000	1.000	644.0	146720.4	0.4
150	140.5	18.3	366.5	27.8	1.000	1.000	1.000	1.000	528.5	146720.4	0.4
160	140.5	18.1	386.4	-17.7	1.000	1.000	1.000	1.000	548.2	146720.4	0.4

160											
170											
170	156.1	29.3	912.3	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1102.6	146720.4	0.8
180	156.1	31.6	1436.2	-33.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1624.8	146720.4	1.1
180	156.1	91.2	1436.2	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1685.8	146720.4	1.1
190	156.1	90.5	1013.5	-33.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1264.3	146720.4	0.9
190											
200											
200	156.1	90.9	318.6	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	578.0	146720.4	0.4
210	156.1	92.1	38.2	-33.6	1.000	1.000	1.000	1.000	305.9	146720.4	0.2
210											
220											
220	156.1	94.0	153.6	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	415.9	146720.4	0.3
230	156.1	110.8	795.3	-33.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1052.0	146720.4	0.7
230	156.1	110.8	795.3	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1052.0	146720.4	0.7
240	156.1	128.8	4797.7	-33.6	1.000	1.000	1.000	1.000	5064.9	146720.4	3.5
240											
250											
250	156.1	131.3	5223.1	52.9	1.000	1.000	1.000	1.000	5492.5	146720.4	3.7
260	156.1	133.0	6385.2	-33.6	1.076	1.185	1.000	1.000	6657.2	146720.4	4.5
260	156.1	-946.3	37171.1	-102.7	1.076	1.185	1.000	1.000	38090.6	146720.4	26.0
270	156.1	-944.6	26260.7	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	27187.6	146720.4	18.5
270											
280											
280	156.1	-942.1	20793.1	-102.7	1.000	1.000	1.000	1.000	21729.0	146720.4	14.8
290	156.1	-940.2	11868.3	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	12819.9	146720.4	8.7
290											
300											
300	156.1	-931.2	1766.1	-102.7	1.000	1.000	1.000	1.000	2681.8	146720.4	1.8
310	156.1	-929.9	7848.3	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	8739.2	146720.4	6.0
310	156.1	-378.1	7848.3	-102.7	1.000	1.000	1.000	1.000	8215.8	146720.4	5.6
320	156.1	-376.9	7088.8	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	7458.1	146720.4	5.1
320											
330											
330	156.1	-374.5	6424.7	-102.7	1.000	1.000	1.000	1.000	6796.3	146720.4	4.6
340	156.1	-363.8	1128.0	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1575.8	146720.4	1.1
340											
350											
350	156.1	-361.3	762.4	-102.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1212.8	146720.4	0.8
360	156.1	-355.4	1217.4	138.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1662.8	146720.4	1.1
100	140.5	8.0	774.2	-47.2	1.024	1.115	1.000	1.000	910.9	146720.4	0.6
370	140.5	9.8	323.5	53.1	1.000	1.000	1.000	1.000	484.3	146720.4	0.3
370											
380											
380	156.1	18.2	488.0	-89.5	1.000	1.000	1.000	1.000	669.9	146720.4	0.5
390	156.1	20.7	1407.1	100.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1560.1	146720.4	1.1
390	156.1	90.6	1407.1	-89.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1647.6	146720.4	1.1
400	156.1	91.6	1056.8	100.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1302.4	146720.4	0.9
400											
410											
410	156.1	99.8	521.5	-89.5	1.000	1.000	1.000	1.000	785.7	146720.4	0.5
420	156.1	101.5	310.0	100.7	1.000	1.000	1.000	1.000	589.6	146720.4	0.4

420											
430											
430	156.1	103.8	214.9	-89.5	1.000	1.000	1.000	1.000	507.6	146720.4	0.3
440	156.1	114.4	658.0	100.7	1.000	1.000	1.000	1.000	940.3	146720.4	0.6
440											
450											
450	156.1	116.8	800.1	-89.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1085.5	146720.4	0.7
460	156.1	122.6	2043.5	100.7	1.000	1.000	1.000	1.000	2312.5	146720.4	1.6
10000											
10010											
10010											
10020											
10020											
10030											
10020											
10040											
10050											
10060											
10060											
10070											
10070											
10080											
10070											
10090											
470	1948.1	-4326.0	81472.4	-440.3	1.000	1.000	1.000	1.000	83904.3	146720.4	57.2
480	1948.1	-4297.9	16224.3	447.8	1.000	1.000	1.000	1.000	18636.8	146720.4	12.7
480	1948.1	-4297.9	16224.3	-440.3	1.000	1.000	1.000	1.000	18636.8	146720.4	12.7
490	2389.0	-3193.4	2946.0	260.6	1.000	1.000	1.000	1.000	3815.1	146720.4	2.6
490	2389.0	-3193.4	2946.0	-256.2	1.000	1.000	1.000	1.000	3815.1	146720.4	2.6
500	2389.0	-3190.6	980.0	260.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1887.0	146720.4	1.3
500											
510											
510	2389.0	-3182.2	5649.2	-256.2	1.000	1.000	1.000	1.000	6487.3	146720.4	4.4
520	2389.0	-3176.2	13326.8	260.6	1.000	1.000	1.000	1.000	14145.1	146720.4	9.6
520											
530											
530	2389.0	-3146.5	24445.3	-256.2	1.000	1.000	1.000	1.000	25219.5	146720.4	17.2
540	2389.0	-3141.6	30643.6	260.6	1.000	1.000	1.000	1.000	31410.5	146720.4	21.4
540											
550											
550	2389.0	-3133.2	35310.9	-256.2	1.000	1.000	1.000	1.000	36066.2	146720.4	24.6
559	2389.0	-3164.4	63450.4	300.9	1.698	1.415	1.000	1.000	64245.7	146720.4	43.8
559	2389.0	-3164.4	63450.4	-296.9	1.698	1.415	1.000	1.000	64245.7	146720.4	43.8
560	2389.0	-1340.9	51621.1	167.0	1.698	1.415	1.000	1.000	52664.3	146720.4	35.9
560	2389.0	-1340.9	30409.4	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	31454.4	146720.4	21.4
570	2389.0	-1340.4	25882.3	167.0	1.000	1.000	1.000	1.000	26926.5	146720.4	18.4
570											
580											
580	2389.0	-1338.6	36716.1	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	37763.6	146720.4	25.7
590	2389.0	-1333.7	10242.0	167.0	1.000	1.000	1.000	1.000	11298.4	146720.4	7.7
590	2389.0	-1333.7	10242.0	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	11298.4	146720.4	7.7

600	2389.0	-1320.2	13010.3	167.0	1.000	1.000	1.000	1.000	14070.2	146720.4	9.6
600	2389.0	-1490.5	13010.3	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	13904.2	146720.4	9.5
610	2389.0	-1515.4	37297.9	167.0	1.000	1.000	1.000	1.000	38172.5	146720.4	26.0
610	2389.0	-1895.7	37297.9	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	37792.3	146720.4	25.8
620	2389.0	-1897.0	50341.9	167.0	1.000	1.000	1.000	1.000	50833.1	146720.4	34.6
620											
630											
630	2389.0	-1898.6	58832.6	-163.3	1.000	1.000	1.000	1.000	59320.3	146720.4	40.4
960	2389.0	-1899.5	78307.6	167.0	1.076	1.185	1.000	1.000	78793.3	146720.4	53.7
260	156.1	-1359.6	42872.6	40.8	1.076	1.185	1.000	1.000	44132.0	146720.4	30.1
650	156.1	-1354.0	33893.5	-0.7	1.000	1.000	1.000	1.000	35146.7	146720.4	24.0
650											
660											
660	156.1	-1345.5	30005.7	40.8	1.000	1.000	1.000	1.000	31248.0	146720.4	21.3
670	156.1	-1306.0	11960.9	-0.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13148.3	146720.4	9.0
670											
680											
680	156.1	-1297.2	15650.6	40.8	1.000	1.000	1.000	1.000	16824.6	146720.4	11.5
689	156.1	-1651.9	31649.2	-747.2	1.702	1.418	1.000	1.000	33205.1	146720.4	22.6
689	156.1	-1651.9	31649.2	757.1	1.702	1.418	1.000	1.000	33205.1	146720.4	22.6
690	156.1	-1044.5	27537.2	-1431.3	1.702	1.418	1.000	1.000	28583.3	146720.4	19.5
690	156.1	-1044.5	16200.7	1460.7	1.000	1.000	1.000	1.000	17345.0	146720.4	11.8
700	156.1	-1044.7	14372.3	-1431.3	1.000	1.000	1.000	1.000	15545.6	146720.4	10.6
700											
710											
710	156.1	-1045.4	10230.2	1460.7	1.000	1.000	1.000	1.000	11502.8	146720.4	7.8
720	156.1	-1045.0	5776.4	-1431.3	1.000	1.000	1.000	1.000	7288.4	146720.4	5.0
720											
730											
730	2389.0	-1038.3	11572.9	1460.7	1.000	1.000	1.000	1.000	13245.1	146720.4	9.0
740	2389.0	-1036.7	18311.9	-1431.3	1.000	1.000	1.000	1.000	19877.7	146720.4	13.5
740											
750											
750	2389.0	-1034.4	22601.6	1460.7	1.000	1.000	1.000	1.000	24132.6	146720.4	16.4
760	2389.0	-1027.9	50795.2	-1431.3	1.000	1.000	1.000	1.000	52237.5	146720.4	35.6
760											
770											
770	2389.0	-1025.6	55149.1	1460.7	1.000	1.000	1.000	1.000	56586.9	146720.4	38.6
840	2389.0	-1024.1	67418.8	-1431.3	1.076	1.185	1.000	1.000	68843.9	146720.4	46.9
790	1948.1	2405.2	56710.7	-6905.0	1.000	1.000	1.000	1.000	62590.8	146720.4	42.7
800	1948.1	2424.2	16113.7	6942.0	1.000	1.000	1.000	1.000	24761.4	146720.4	16.9
800	1948.1	2424.2	16113.7	-6905.0	1.000	1.000	1.000	1.000	24761.4	146720.4	16.9
810	2389.0	1807.9	5884.9	4039.2	1.000	1.000	1.000	1.000	12959.9	146720.4	8.8
810	2389.0	1807.9	5884.9	-4017.7	1.000	1.000	1.000	1.000	12959.9	146720.4	8.8
820	2389.0	1810.8	6276.7	4039.2	1.000	1.000	1.000	1.000	13283.8	146720.4	9.1
820											
830											
830	2389.0	1819.1	9147.6	-4017.7	1.000	1.000	1.000	1.000	15654.1	146720.4	10.7
840	2389.0	1824.7	16851.2	4039.2	1.076	1.185	1.000	1.000	22581.2	146720.4	15.4
840	2389.0	629.2	48162.6	-15148.4	1.076	1.185	1.000	1.000	59799.2	146720.4	40.8
850	2389.0	634.8	32337.9	15464.5	1.000	1.000	1.000	1.000	46971.9	146720.4	32.0

850											
860											
860	2389.0	643.1	24218.6	-15148.4	1.000	1.000	1.000	1.000	41213.8	146720.4	28.1
870	2389.0	645.9	18040.9	15464.5	1.000	1.000	1.000	1.000	37423.6	146720.4	25.5
870											
880											
880	2389.0	675.7	2035.1	-15148.4	1.000	1.000	1.000	1.000	31376.1	146720.4	21.4
890	2389.0	678.5	7903.6	15464.5	1.000	1.000	1.000	1.000	32819.1	146720.4	22.4
890											
900											
900	2389.0	686.9	15932.3	-15148.4	1.000	1.000	1.000	1.000	36307.6	146720.4	24.7
909	2389.0	1056.3	16231.4	18389.8	1.698	1.415	1.000	1.000	41770.6	146720.4	28.5
909	2389.0	1056.3	16231.4	-18199.1	1.698	1.415	1.000	1.000	41770.6	146720.4	28.5
910	2389.0	803.0	34571.1	13036.9	1.698	1.415	1.000	1.000	45949.5	146720.4	31.3
910	2389.0	803.0	23845.3	-13027.9	1.000	1.000	1.000	1.000	37627.1	146720.4	25.6
920	2389.0	803.0	20486.5	13036.9	1.000	1.000	1.000	1.000	35290.3	146720.4	24.1
920											
930											
930	2389.0	803.0	12435.0	-13027.9	1.000	1.000	1.000	1.000	30472.7	146720.4	20.8
940	2389.0	803.0	7407.4	13036.9	1.000	1.000	1.000	1.000	28192.4	146720.4	19.2
940											
950											
950	2389.0	803.0	15468.2	-13027.9	1.000	1.000	1.000	1.000	32119.1	146720.4	21.9
960	2389.0	803.0	30190.9	13036.9	1.076	1.185	1.000	1.000	42418.6	146720.4	28.9
960	2389.0	-1341.4	44792.2	-706.2	1.076	1.185	1.000	1.000	45863.2	146720.4	31.3
970	2389.0	-1341.4	19543.9	729.9	1.000	1.000	1.000	1.000	20643.5	146720.4	14.1
970											
980											
980	2389.0	-1341.4	5448.5	-706.2	1.000	1.000	1.000	1.000	6658.3	146720.4	4.5
989	2389.0	1955.0	23991.4	980.1	1.698	1.415	1.000	1.000	28402.9	146720.4	19.4
989	2389.0	1955.0	23991.4	-960.7	1.698	1.415	1.000	1.000	28402.9	146720.4	19.4
990	2389.0	4136.9	38455.0	86.7	1.698	1.415	1.000	1.000	44981.2	146720.4	30.7
990	2389.0	4136.9	22730.5	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	29256.9	146720.4	19.9
1000	2389.0	4137.4	24808.8	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	31335.7	146720.4	21.4
1000											
1010											
1010	2389.0	4139.9	29807.6	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	36336.8	146720.4	24.8
1020	2389.0	4141.7	37661.1	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	44191.7	146720.4	30.1
1020	2389.0	4248.3	37661.1	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	44292.9	146720.4	30.2
1030	2389.0	4227.5	14458.9	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	21072.2	146720.4	14.4
1030	2389.0	4341.2	14458.9	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	21185.9	146720.4	14.4
1040	2389.0	4338.6	9946.4	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	16672.7	146720.4	11.4
1040											
1050											
1050											
1060											
1060											
1070											
1070	2389.0	4308.3	3371.7	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	10070.2	146720.4	6.9
1080	2389.0	4307.2	3195.9	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	9875.6	146720.4	6.7
1080	2389.0	4403.4	3195.9	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	9977.7	146720.4	6.8
1090	2389.0	4398.3	8288.3	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	15045.4	146720.4	10.3

1090	2389.0	4398.3	8288.3	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	15045.4	146720.4	10.3	
1100	2389.0	4397.8	23052.0	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	29802.9	146720.4	20.3	
1100												
1110												
1110												
1120												
1120												
1130												
1130	1352.2	4424.0	133112.8	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	138870.7	146720.4	94.6	
1140	1352.2	4425.5	166778.8	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	172536.6	146720.4	117.6	*
1140	1352.2	9794.5	166778.8	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	177925.4	146720.4	121.3	*
1150	1352.2	9792.3	96768.9	86.7	1.000	1.000	1.000	1.000	107913.5	146720.4	73.6	
1150												
1160												
1160	1352.2	9789.8	61021.6	-84.4	1.000	1.000	1.000	1.000	72163.8	146720.4	49.2	
1169	1352.2	-351.5	12292.0	80.7	1.700	1.416	1.000	1.000	13296.7	146720.4	9.1	
1169	1352.2	-351.5	12292.0	-78.9	1.700	1.416	1.000	1.000	13296.7	146720.4	9.1	
1170	1352.2	-9979.5	69852.3	32.2	1.700	1.416	1.000	1.000	78782.8	146720.4	53.7	
1170	1352.2	107.1	41101.2	-30.9	1.000	1.000	1.000	1.000	42558.3	146720.4	29.0	
1180	1352.2	109.2	39621.2	32.2	1.000	1.000	1.000	1.000	41080.4	146720.4	28.0	
1180												
1190												
1190	1352.2	120.2	36080.6	-30.9	1.000	1.000	1.000	1.000	37551.2	146720.4	25.6	
1200	1352.2	152.4	21378.7	32.2	1.000	1.000	1.000	1.000	22882.9	146720.4	15.6	
1200												
1210												
1210	1352.2	163.6	20165.5	-30.9	1.000	1.000	1.000	1.000	21681.2	146720.4	14.8	
1219	1352.2	832.6	31522.2	14.0	1.700	1.416	1.000	1.000	33706.9	146720.4	23.0	
1219	1352.2	832.6	31522.2	-10.8	1.700	1.416	1.000	1.000	33706.9	146720.4	23.0	
1220	1352.2	1006.7	30224.4	-7.9	1.700	1.416	1.000	1.000	32583.3	146720.4	22.2	
1220	1352.2	1006.7	17784.1	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	20143.0	146720.4	13.7	
1230	1352.2	1006.3	17591.6	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	19950.1	146720.4	13.6	
1230												
1240												
1240	1352.2	1003.8	17152.0	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	19507.9	146720.4	13.3	
1250	1352.2	990.0	15322.4	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	17664.5	146720.4	12.0	
1250	1352.2	840.9	15322.4	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	17515.4	146720.4	11.9	
1260	1352.2	838.1	11947.9	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	14138.2	146720.4	9.6	
1260												
1270												
1270	1352.2	835.6	10630.1	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	12817.2	146720.4	8.7	
1280	1352.2	827.3	2803.8	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	4983.0	146720.4	3.4	
1280												
1290												
1290	1352.2	824.8	1986.9	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4163.9	146720.4	2.8	
1300	1352.2	822.0	2791.9	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	4966.2	146720.4	3.4	
1300	1352.2	841.6	2791.9	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4985.4	146720.4	3.4	
1310	1352.2	792.5	11663.4	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	13807.2	146720.4	9.4	
1310	1352.2	706.6	11663.4	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	13720.6	146720.4	9.4	
1320	1352.2	695.8	10102.2	-7.9	1.000	1.000	1.000	1.000	12150.2	146720.4	8.3	
1320												

1330											
1330	1352.2	693.3	10050.5	11.6	1.000	1.000	1.000	1.000	12095.9	146720.4	8.2
1339	1352.2	487.4	15717.7	17.5	1.700	1.416	1.000	1.000	17557.3	146720.4	12.0
1339	1352.2	487.4	15717.7	-8.2	1.700	1.416	1.000	1.000	17557.3	146720.4	12.0
1340	1352.2	5.9	12530.8	38.5	1.700	1.416	1.000	1.000	13888.9	146720.4	9.5
1340	1352.2	5.9	7373.2	-20.7	1.000	1.000	1.000	1.000	8731.4	146720.4	6.0
1350	1352.2	8.2	6372.6	38.5	1.000	1.000	1.000	1.000	7733.0	146720.4	5.3
1350											
1360											
1360	1352.2	21.4	3980.8	-20.7	1.000	1.000	1.000	1.000	5353.0	146720.4	3.6
1370	1352.2	40.7	3787.6	38.5	1.000	1.000	1.000	1.000	5176.0	146720.4	3.5
1370											
1380											
1380	1352.2	54.3	6158.2	-20.7	1.000	1.000	1.000	1.000	7558.1	146720.4	5.2
1389	1352.2	-133.7	15372.6	54.1	1.700	1.416	1.000	1.000	16591.3	146720.4	11.3
1389	1352.2	-133.7	15372.6	-29.6	1.700	1.416	1.000	1.000	16591.3	146720.4	11.3
1390	1352.2	-238.8	16912.1	40.3	1.700	1.416	1.000	1.000	18025.7	146720.4	12.3
1390	1352.2	-238.8	9951.2	-22.2	1.000	1.000	1.000	1.000	11064.8	146720.4	7.5
1400	1352.2	-239.3	10031.8	40.3	1.000	1.000	1.000	1.000	11145.0	146720.4	7.6
1400											
1410											
1410	1352.2	-241.8	10249.4	-22.2	1.000	1.000	1.000	1.000	11360.1	146720.4	7.7
1420	1352.2	-252.5	13510.2	40.3	1.000	1.000	1.000	1.000	14605.3	146720.4	10.0
1420	1352.2	-159.4	13510.2	-22.2	1.000	1.000	1.000	1.000	14694.1	146720.4	10.0
1430	1352.2	-225.0	3373.9	40.3	1.000	1.000	1.000	1.000	4502.0	146720.4	3.1
1430	1352.2	-155.9	3373.9	-22.2	1.000	1.000	1.000	1.000	4569.7	146720.4	3.1
1440	1352.2	-169.9	5644.5	40.3	1.000	1.000	1.000	1.000	6827.2	146720.4	4.7
1440											
1450											
1450	1352.2	-172.5	5711.7	-22.2	1.000	1.000	1.000	1.000	6891.9	146720.4	4.7
1459	1352.2	-146.1	8990.7	-31.2	1.700	1.416	1.000	1.000	10197.4	146720.4	7.0
1459	1352.2	-146.1	8990.7	61.7	1.700	1.416	1.000	1.000	10197.4	146720.4	7.0
1460	1352.2	-1.7	7093.4	-66.6	1.700	1.416	1.000	1.000	8447.6	146720.4	5.8
1460	1352.2	-1.7	4174.0	129.7	1.000	1.000	1.000	1.000	5530.4	146720.4	3.8
1470	1352.2	0.1	3576.6	-66.6	1.000	1.000	1.000	1.000	4935.7	146720.4	3.4
1470											
1480											
1480	1352.2	10.6	2151.0	129.7	1.000	1.000	1.000	1.000	3523.9	146720.4	2.4
1490	1352.2	26.4	2472.1	-66.6	1.000	1.000	1.000	1.000	3859.4	146720.4	2.6
1490											
1500											
1500	1352.2	38.0	3876.4	129.7	1.000	1.000	1.000	1.000	5272.7	146720.4	3.6
1509	1352.2	315.6	9352.0	-63.3	1.700	1.416	1.000	1.000	11023.2	146720.4	7.5
1509	1352.2	315.6	9352.0	139.5	1.700	1.416	1.000	1.000	11023.2	146720.4	7.5
1510	1352.2	401.2	9911.0	-21.2	1.700	1.416	1.000	1.000	11665.2	146720.4	8.0
1510	1352.2	401.2	5833.3	71.6	1.000	1.000	1.000	1.000	7588.1	146720.4	5.2
1520	1352.2	400.7	5761.8	-21.2	1.000	1.000	1.000	1.000	7516.1	146720.4	5.1
1520											
1530											
1530	1352.2	398.2	5567.7	71.6	1.000	1.000	1.000	1.000	7319.4	146720.4	5.0
1540	1352.2	384.2	1811.5	-21.2	1.000	1.000	1.000	1.000	3544.7	146720.4	2.4

1540	1352.2	384.2	1811.5	71.6	1.000	1.000	1.000	1.000	3544.7	146720.4	2.4
1550	1352.2	320.7	10607.2	-21.2	1.000	1.000	1.000	1.000	12272.8	146720.4	8.4
1550	1352.2	170.2	10607.2	71.6	1.000	1.000	1.000	1.000	12109.6	146720.4	8.3
1560	1352.2	146.3	12784.4	-21.2	1.000	1.000	1.000	1.000	14282.7	146720.4	9.7
1560											
1570											
1570	1352.2	144.7	13539.3	71.6	1.000	1.000	1.000	1.000	15034.9	146720.4	10.2
1579	1352.2	244.3	24110.6	-187.5	1.700	1.416	1.000	1.000	25740.3	146720.4	17.5
1579	1352.2	244.3	24110.6	544.2	1.700	1.416	1.000	1.000	25740.3	146720.4	17.5
1580	1352.2	202.7	23817.7	-234.0	1.700	1.416	1.000	1.000	25427.8	146720.4	17.3
1580	1352.2	202.7	14014.6	696.5	1.000	1.000	1.000	1.000	15660.9	146720.4	10.7
1590	1352.2	200.6	13812.4	-234.0	1.000	1.000	1.000	1.000	15457.1	146720.4	10.5
1590											
1600											
1600	1352.2	189.9	13322.8	696.5	1.000	1.000	1.000	1.000	14958.0	146720.4	10.2
1610	1352.2	35.8	8921.6	-234.0	1.000	1.000	1.000	1.000	10406.6	146720.4	7.1
1610											
1620											
1620	1352.2	27.3	9559.3	696.5	1.000	1.000	1.000	1.000	11026.8	146720.4	7.5
1629	1352.2	16.3	9536.4	-2269.1	1.700	1.416	1.000	1.000	13524.4	146720.4	9.2
1629	1352.2	16.3	9536.4	3999.8	1.700	1.416	1.000	1.000	13524.4	146720.4	9.2
1630	1352.2	0.5	2476.8	-3076.3	1.700	1.416	1.000	1.000	11056.2	146720.4	7.5
1630	1352.2	0.5	1504.2	5171.9	1.000	1.000	1.000	1.000	10733.4	146720.4	7.3
1640	1352.2	0.5	1275.1	-3076.3	1.000	1.000	1.000	1.000	10672.7	146720.4	7.3
1640											
1650											
1650	1352.2	0.5	944.6	5171.9	1.000	1.000	1.000	1.000	10599.7	146720.4	7.2
1660	1352.2	0.5	3487.4	-3076.3	1.000	1.000	1.000	1.000	11421.5	146720.4	7.8
1660											
1670											
1670	1352.2	0.5	4315.8	5171.9	1.000	1.000	1.000	1.000	11804.4	146720.4	8.0
1680	1352.2	0.5	6006.4	-3076.3	1.000	1.000	1.000	1.000	12731.5	146720.4	8.7
1680	1352.2	0.5	6006.4	5171.9	1.000	1.000	1.000	1.000	12731.5	146720.4	8.7
1689	1352.2	143.5	16016.7	-1252.6	1.700	1.416	1.000	1.000	18952.8	146720.4	12.9
1689	1352.2	143.5	16016.7	3505.1	1.700	1.416	1.000	1.000	18952.8	146720.4	12.9
1690	1352.2	206.1	18672.1	1698.1	1.700	1.416	1.000	1.000	20636.3	146720.4	14.1
1690	1352.2	206.1	12457.0	-40.5	1.000	1.000	1.000	1.000	14608.7	146720.4	10.0
1700	1352.2	206.6	12557.1	1698.1	1.000	1.000	1.000	1.000	14712.8	146720.4	10.0
1700											
1710											
1710	1352.2	244.0	13832.3	-40.5	1.000	1.000	1.000	1.000	16020.5	146720.4	10.9
1720	1352.2	249.0	18361.3	1698.1	1.000	1.000	1.000	1.000	20430.4	146720.4	13.9