

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“MECÁNICA COMPUTACIONAL PARA LAS  
TUBERÍAS DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN DE  
UNA REFINERÍA DE HIDROCARBUROS”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**JHONNY JAIR APEÑA CONDORI**

**Callao, 2019**

**PERÚ**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jhonny Apeña Condori".

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Eliseo Paez Apolinario".

.....  
**ELISEO PAEZ APOLINARIO**  
**INGENIERO MECÁNICO**  
**ELECTRICISTA**  
**Reg. CIP N° 19569**

## DEDICATORIA

A mis padres y abuelos quienes me enseñaron que con disciplina y esfuerzo se pueden lograr los más grandes anhelos del corazón.

A mi esposa Carmen y mis hijos Valeria Celeste y Luca Milan Esteban, por ese amor y ese aliento incansable que cada día me dan y llenan de fuerzas para seguir adelante. Son la motivación más grande para concluir con éxito este informe.

A mis hermanos, primos y tíos por siempre estar presentes y enseñarme cada día a comprender el verdadero significado de una familia.

## AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a mis grandes amigos que con sus conocimientos y aportes contribuyeron en mi formación que hoy se ve reflejado en este trabajo. Siempre estaré en deuda con cada uno de ellos, por su apoyo constante.

## INDICE

<b>I</b>	<b>ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>8</b>
1.1.	Objetivos .....	8
1.1.1.	Objetivos generales .....	8
1.1.2.	Objetivos específicos .....	8
1.2.	Organización de la empresa o institución.....	8
1.2.1.	Antecedentes Históricos .....	8
1.2.2.	Filosofía Empresarial .....	10
1.2.3.	Estructura Organizacional.....	11
<b>II</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL .....</b>	<b>13</b>
2.1.	Marco Teórico .....	13
2.1.1.	Bases Teóricas .....	13
2.2.	Descripción de las actividades desarrolladas.....	27
2.2.1.	Etapas de las actividades .....	27
2.2.2.	Diagrama de flujo.....	29
2.2.3.	Cronograma de actividades .....	29
<b>III</b>	<b>APORTES REALIZADOS.....</b>	<b>30</b>
3.1.	Planificación, Ejecución y Control de las Etapas.....	30
3.1.1.	Consideraciones para el Análisis Diseño .....	30
3.1.2.	Consideraciones para el Análisis del Modelado.....	32
3.1.3.	Consideraciones para el Análisis de Esfuerzos .....	33
3.1.4.	Consideraciones Especiales de Flexibilidad .....	58
3.1.5.	Cargas Permisibles en Equipos .....	69
3.1.6.	Cálculo de Esfuerzo con Software .....	74
3.1.7.	Casos de Carga .....	78

3.2.	Evaluación Técnica – Económica.....	88
3.3.	Análisis de Resultados .....	90
<b>IV</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN .....</b>	<b>108</b>
4.1.	Discusión.....	108
4.2.	Conclusiones.....	108
<b>V</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>VI</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
<b>VII</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>
7.1.	Plano de Implantación de la Unidad GE.....	110
7.2.	Isométricos de Esfuerzo.....	110
7.3.	Espacio Admisible para Tuberías y Métodos Manuales.....	110

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organigrama del Grupo COBRA.....	11
Figura 2: Organigrama de Área de Ingeniería Grupo COBRA.....	11
Figura 3: Esfuerzos en una tubería.....	14
Figura 4: Factor de reducción de esfuerzos.....	17
Figura 5: Categorías de Líneas.....	21
Figura 6: Rangos de Temperaturas.....	35
Figura 7: Slug Flow.....	38
Figura 8: SIF en Ramales.....	45
Figura 9: Arreglo de Bombas.....	60
Figura 10: Orientación de boquillas en Recipientes a presión.....	73
Figura 11: Unidades de medida.....	75
Figura 12: Sistema de Coordenadas.....	76
Figura 13: SIF y Stresses.....	76
Figura 14: Reacción de PSV en sistemas abiertos.....	83
Figura 15: Reacción de PSV en sistemas cerrados.....	84
Figura 16: Fuerzas debido a slug flow.....	85
Figura 17: Cargas debido a golpe de ariete.....	86
Figura 18: Líneas temporalmente cerradas.....	87
Figura 19: Maqueta 3D de Unidad de Cogeneración.....	97
Figura 20: Arreglo general del cálculo.....	97
Figura 21: Datos de Entrada en CAESAR II.....	98
Figura 22: Casos de Carga para el análisis en CAESAR II.....	99
Figura 23: Informe de Esfuerzos en CAESAR II.....	101
Figura 24: Máximo desplazamiento Dx en operación normal.....	105
Figura 25: Máximo desplazamiento Dy en operación normal.....	106
Figura 26: Máximo desplazamiento Dz en operación normal.....	106
Figura 27: Máxima carga en sostenido.....	107
Figura 28: Conexión a Calderas.....	107

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Casos de Cargas a analizar .....	20
Tabla 2: Velocidad del Viento contra Altura .....	41
Tabla 3: Presión del Aire Contra Altura .....	42
Tabla 4: SIF en Ramales .....	45
Tabla 5: Asentamientos Máximos .....	46
Tabla 6: Desplazamientos Térmicos .....	46
Tabla 7: Silletas de Tuberías.....	54
Tabla 8: Longitud de Zapatas.....	55
Tabla 9: Espesor de Placa de Refuerzo.....	56
Tabla 10: Tramo entre Guías Verticales .....	57
Tabla 11: Coeficiente de Fricción.....	58
Tabla 12: Delta de Temperatura en Bombas .....	61
Tabla 13: Cargas Permisibles en Boquillas de Bombas.....	70
Tabla 14: Casos Generales de Carga.....	80
Tabla 15: Combinaciones por Casos Generales de Carga .....	80
Tabla 16: Cargas de Sismo y Viento.....	80
Tabla 17: Combinaciones por Cargas de Sismo y Viento .....	81
Tabla 18: Cargas debido a PSV.....	82
Tabla 19: Combinaciones de Cargas debido a PSV .....	82
Tabla 20: Orificios para PSV .....	83
Tabla 21: Cargas debido a slug flow .....	85
Tabla 22: Combinaciones de Cargas debido a slug flow .....	85
Tabla 23: Cargas debido a golpe de ariete .....	86
Tabla 24: Combinaciones de Carga debido a golpe de ariete .....	87
Tabla 25: Cargas debido a líneas temporalmente cerradas.....	88
Tabla 26: Combinaciones de Carga debido a Cargas Ocasionales .....	88
Tabla 27: Costo del Proyecto .....	89
Tabla 28: Lista de Líneas Críticas.....	90
Tabla 29: Condiciones de línea.....	96

# **I ASPECTOS GENERALES**

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos generales**

Desarrollar la Mecánica Computacional para las Tuberías del Sistema de Cogeneración de una refinería de hidrocarburos.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Establecer los lineamientos para la elaboración y verificación de análisis de esfuerzos de los sistemas críticos de tuberías conforme a lo establecido en los códigos de diseño de tubería aplicable.
- Determinar las cargas transmitidas por el sistema de tuberías a los soportes asociados para su correspondiente diseño.
- Determinar los requerimientos mínimos necesarios para garantizar la integridad estructural de la tubería.
- Determinar y garantiza un estado de esfuerzos en las cargas admisibles de los equipos estáticos y/o dinámicos asociados al sistema de tuberías según las normas, códigos y estándares establecidos por los fabricantes.

## **1.2. Organización de la empresa o institución**

### **1.2.1. Antecedentes Históricos**

Desde su creación en 1944, Grupo COBRA ha evolucionado hasta convertirse en un referente mundial con capacidad y determinación para desarrollar, crear y operar infraestructuras industriales que requieran un alto nivel de servicio, sobre la base de la excelencia en integración, innovación tecnológica y solidez financiera.

Nuestro espíritu emprendedor y vocación de servicio, hace posible centrar y maximizar el valor de los activos de nuestros clientes y su accionariado, trabajando bajo un conjunto de valores como el medioambiente, la salud y seguridad en el trabajo y la excelencia.

Grupo Cobra se inició en el escenario internacional en 1978 con el montaje de una línea de transporte para una compañía petrolera en Arabia Saudita. Inmediatamente siguieron contratos de montaje y mantenimiento en Libia, Emiratos Árabes Unidos y Omán.

En la actualidad Grupo COBRA emplea a más de 38.000 personas en 70 países y ofrece una amplia gama de servicios a través de 600 delegaciones aportando valor a todo tipo de clientes, desde particulares a grandes corporaciones, sobretodo en tres áreas de negocios; las cuales son:

### **Redes de Agua, Gas, Electricidad y Comunicaciones**

Servicios y actividades de mantenimiento de redes de distribución eléctricas, gas, agua y comunicaciones en las que el Grupo Cobra posee más de 70 años de experiencia.

### **Instalaciones Especializadas y Mantenimiento**

Actividades de construcción, instalación y mantenimiento de redes eléctricas de alta tensión, instalaciones ferroviarias, sistemas de telecomunicaciones, sistemas de climatización, montajes mecánicos y navales, desmantelamientos nucleares y el mantenimiento integral de todo tipo de infraestructuras, industria y edificación.

### **Proyectos Integrados**

Ingeniería, suministro, construcción y puesta en marcha de proyectos relacionados con el sector energético (energía tradicional y energías renovables, activos relacionados con el sector de petróleo y gas) e ingeniería aplicada a la industria. Promoción y participación en activos concesionales como parques eólicos, plantas termosolares, plantas desaladoras, plantas de tratamiento de agua potable o residual y centrales hidroeléctricas.

## **1.2.2. Filosofía Empresarial**

### **Misión**

Servir como contratistas o como promotores a pequeños y grandes Clientes, Propietarios y/o Entidades Concesionarias en todo el mundo para crear y operar infraestructuras industriales que sean competitivas y duraderas con los mejores productos, procesos y tecnologías, equipos humanos motivados y, si se requiere, atrayendo los recursos necesarios para realizar.

### **Visión**

Ser un referente mundial en infraestructuras industriales que da a sus Clientes servicios de alta calidad a través de equipos locales capaces de crear y compartir valores económicos, sociales y medioambientales en la comunidad.

### **Valores**

Fuerte cultura de servicio para construir relaciones sólidas y de confianza con nuestros Clientes a largo plazo.

Responsabilidad individual y espíritu emprendedor de nuestros empleados, gracias a una organización flexible y un sistema personalizado de incentivos.

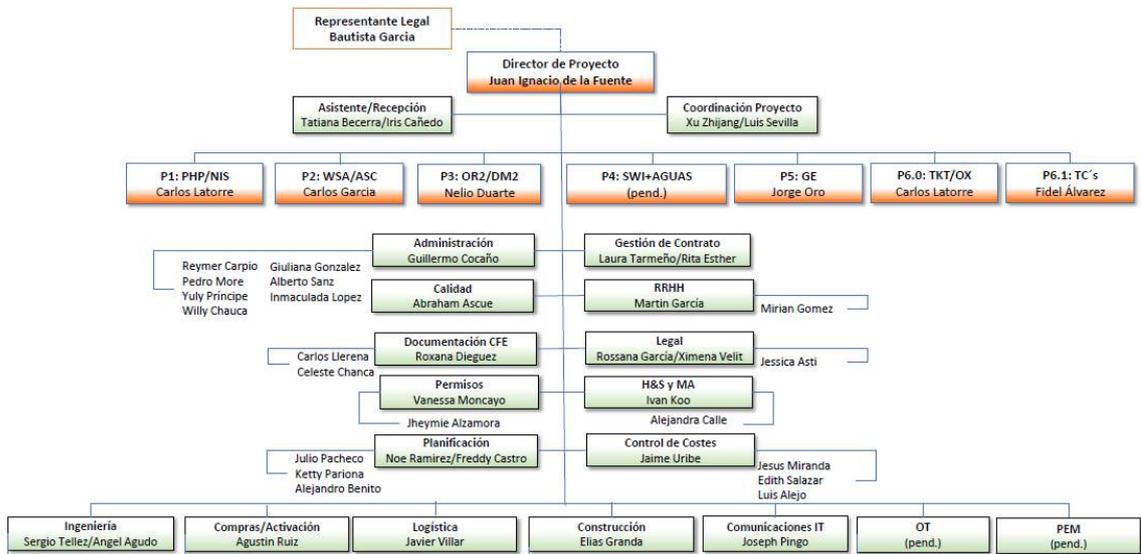
Vocación por la innovación y la integración tecnológica, manteniendo a la par la excelencia en calidad, seguridad, salud laboral y protección medioambiental.

Capacidad y voluntad de hacer equipo con todas las partes implicadas en un proyecto para que éste tenga éxito.

### 1.2.3. Estructura Organizacional

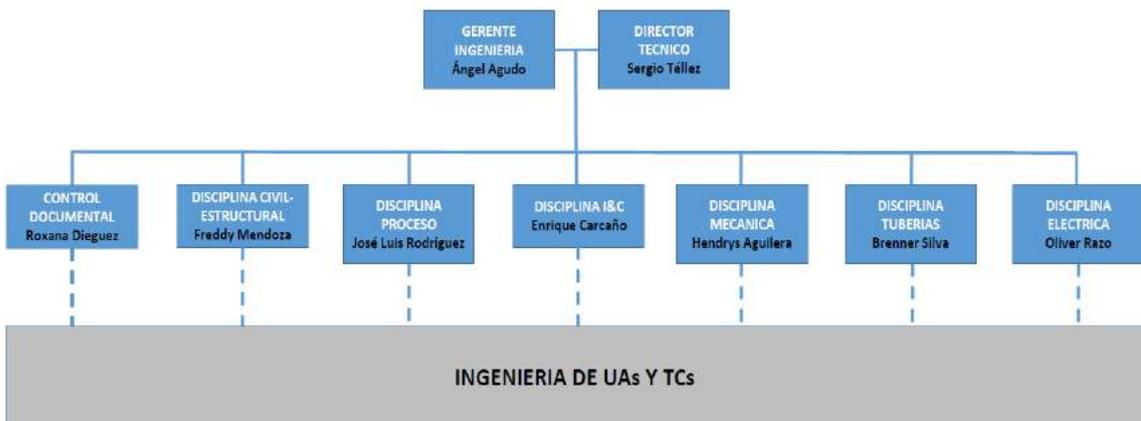
A continuación, se detalla la estructura organizacional de la empresa Grupo COBRA.

Figura 1: Organigrama del Grupo COBRA



Fuente: Empresa Grupo COBRA

Figura 2: Organigrama de Área de Ingeniería Grupo COBRA



Fuente: Empresa Grupo COBRA

Mi posición dentro del organigrama es en el Área de Tuberías de la División de Ingeniería, desempeñando el cargo de Especialista de Tuberías.

Mis funciones son:

- Revisar las memorias de cálculo de flexibilidad de tuberías de los subcontratistas del proyecto.
- Revisar los planos e isométricos subcontratistas del proyecto.
- Revisar la documentación técnica de los subcontratistas del proyecto.
- Coordinar con la Disciplina de Tuberías de los subcontratistas el avance del proyecto.
- Atender y responder las consultas a temas contractuales de la Disciplina de Tuberías.
- Coordinar con el área de Control Documentario la canalización de los entregables de la Disciplina de Tuberías hacia cliente.

## II FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### 2.1. Marco Teórico

En este capítulo se abordarán conceptos previos para poder entender los esfuerzos que se generan en un sistema de tuberías, sujeto a cargas de operación permanente como peso, presión y expansión térmica; también a cargas ocasionales tales como viento, sismo y golpes de ariete.

#### 2.1.1. Bases Teóricas

##### 2.1.1.1. Tipos de Cargas

Todo sistema de tuberías se comporta mecánicamente como una estructura, y, por tanto, está sujeta a diversos tipos de eventos tales como tracción, compresión, flexión, torsión, etcétera.

Las principales causas que ocasionan deformaciones a un sistema de tuberías, desde el punto de vista estructural, son:

**a) Cargas Internas:** Generadas por condiciones de transporte del fluido. Este tipo de cargas pueden ser radiales o axiales.

Las cargas radiales son generadas por la presión de transporte del fluido y se utilizan para determinar el material y espesor de la tubería.

Las cargas axiales son generadas por golpes de ariete, entre otros.

**b) Cargas Externas:** Generadas por condiciones externas al sistema de tuberías, tales como peso de las tuberías, peso de los elementos instalados (válvulas, conexiones y accesorios), entre otros.

Las cargas externas se utilizan para diseñar los soportes de tuberías.

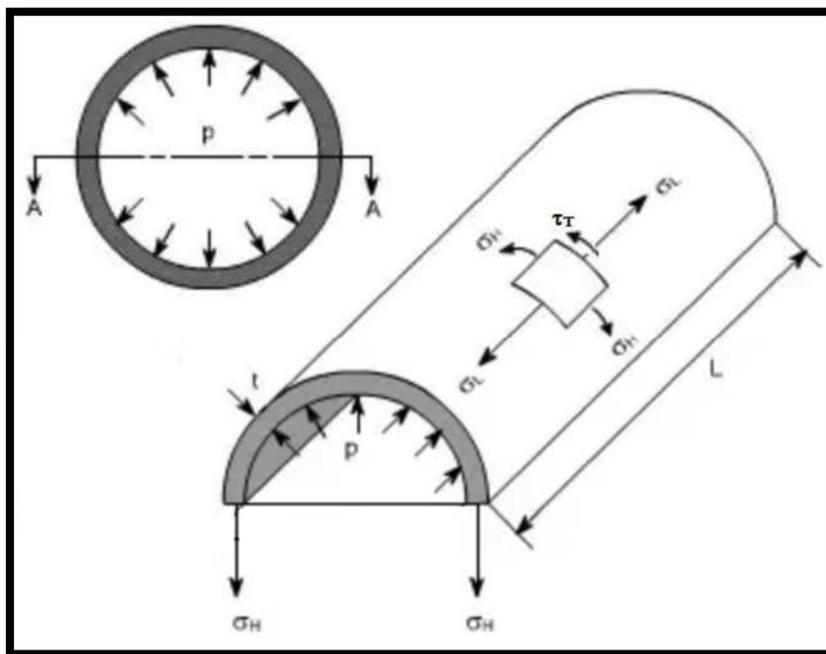
**c) Cargas Térmicas:** Generadas por condiciones de temperatura a la que se encuentran el sistema de tuberías.

### 2.1.1.2. Categorías de Esfuerzos

Un sistema de tuberías puede ser tratada como una estructura tubular, y como tal, cada componente estará sujeta a esfuerzos resultantes debido los diferentes estados de carga asociados a la presión a la que está sometido.

Si consideramos un elemento de tubería, tendremos presentes algunos tipos de esfuerzos, conforme a la siguiente figura:

Figura 3: Esfuerzos en una tubería



Fuente: Elaboración propia.

a) **Esfuerzo Normal Circunferencial ( $\sigma_H$ ):** Este esfuerzo actúa en dirección perpendicular al eje de la tubería y tiende a provocar la ruptura de la misma a lo largo de su generatriz. El esfuerzo circunferencial está compuesto por los siguientes:

- Esfuerzo resultante de la presión (principal responsable del esfuerzo circunferencial).

- Esfuerzo localizado en los puntos de deformación de la tubería (por ejemplo, en los puntos de soporte de tuberías cuando la relación diámetro/espesor es muy elevada).

**b) Esfuerzo Normal Longitudinal ( $\sigma_L$ ):** Este esfuerzo actúa en la dirección del eje de la tubería y tiende a provocar la ruptura del mismo a lo largo de una circunferencia.

El esfuerzo longitudinal se compone básicamente de:

- Esfuerzo resultante debido a la presión.
- Esfuerzo de flexión debido al peso propio de la tubería, fluido transportado, elementos instalados, aislamientos, entre otros.
- Esfuerzo de flexión debido a la expansión térmica de la propia tubería, equipos adyacentes y restricciones de movimientos.

**c) Esfuerzo Cortante ( $\tau_T$ ):** Esfuerzo resultante de momentos torsores (aparece en configuraciones espaciales, mayormente como resultado de su expansión térmica, y en configuraciones coplanares con movimientos exteriores impuestos transversalmente al plano en cuestión).

Entre los estados de carga mencionados, se pueden clasificar en dos categorías de esfuerzos básicos:

**a) Esfuerzos Primarios:** Son producidos por los estados de carga continuos o permanentes, y mantienen un valor constante durante la totalidad del tiempo de duración del evento.

Los esfuerzos considerados primarios son:

- Esfuerzo Circunferencial.
- Esfuerzo Longitudinal (no incluye la parte resultante de la expansión térmica).

**b) Esfuerzos Secundarios:** Son producidos por los estados de carga auto limitantes. Resultan principalmente de la variación de temperatura y tienden a disminuir de intensidad con el transcurso del tiempo.

Los esfuerzos considerados secundarios son:

- Esfuerzo Longitudinal debido a la expansión térmica.
- Esfuerzo Cortante.

### **2.1.1.3. Límites Admisibles de Esfuerzos**

Las normas utilizadas en el dimensionado mecánico de tuberías, indican los valores de los esfuerzos admisibles para los diferentes materiales, en función de la temperatura.

El código ASME B31.3, indica que el esfuerzo admisible básico debe ser como máximo el menor valor de los siguientes:

- 1/3 del límite de resistencia a la tensión a la temperatura considerada.
- Para aceros inoxidable austeníticos y aleaciones al níquel, el menor entre 2/3 del límite de fluencia a la temperatura ambiente y 90% del límite de fluencia a la temperatura considerada.
- Para los demás materiales, 2/3 del límite de fluencia a la temperatura considerada.

Basados en esto, el código ASME B31.3 en la Tabla A-1 define los límites de esfuerzos admisibles básico en tensión para los materiales.

Tomando como referencia el código ASME B31.3, tenemos:

#### **a) Límite Admisible para Esfuerzos Primarios**

- Los esfuerzos circunferenciales debidos a la presión deben ser menores que el esfuerzo admisible del material a la temperatura considerada o de máxima de operación ( $S_h$ ).

- La sumatoria de los esfuerzos longitudinales debidos a la presión, pesos y otros estados de carga permanentes debe ser menor que  $S_h$ .

$S_h$  = esfuerzo admisible básico del material a la máxima temperatura de operación esperada.

### b) Límite Admisible para Esfuerzos Secundarios (Expansión Térmica)

- El esfuerzo máximo resultante de la expansión térmica debe ser menor que  $S_A$ .

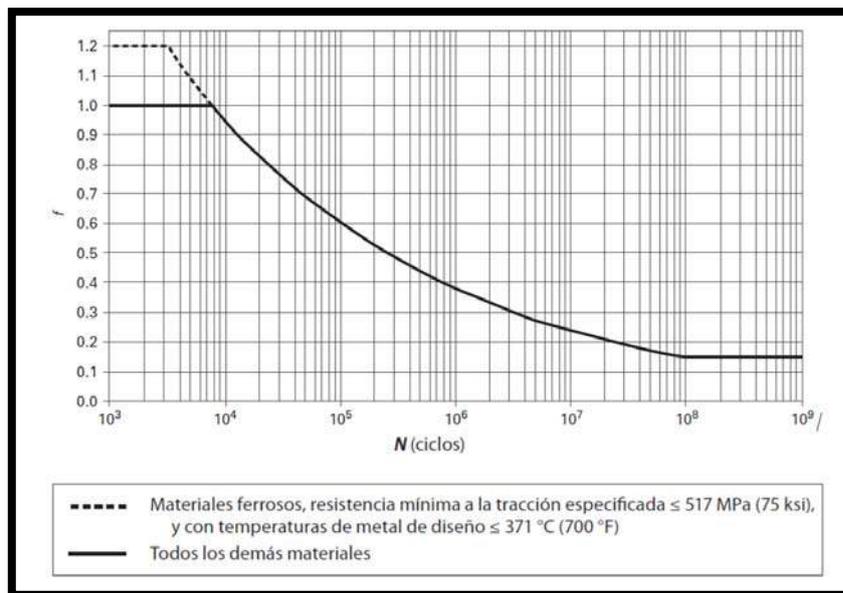
$$S_A = f (1.25 S_C + 0.25 S_h)$$

$S_C$  = esfuerzo admisible básico del material a la mínima temperatura de operación esperada.

$f$  = factor de reducción de esfuerzo, basado en el número de ciclos ( $N$ ) completos esperados y, esto según la vida útil esperada para el sistema de tuberías.

$$f = 6.0 (N)^{-0.2}$$

Figura 4: Factor de reducción de esfuerzos



Fuente: Código ASME B31.3

Normalmente las tuberías son dimensionadas para cerca de 7000 ciclos de vida útil.

Por tanto, la ecuación  $S_A$  será:

$$S_A = 1.25 S_C + 0.25 S_h$$

### c) Límite Admisible para Esfuerzos por Cargas Ocasionales

- La sumatoria de los esfuerzos longitudinales debidos a la presión, peso propio y otros estados de carga permanentes, más los esfuerzos producidos por cargas ocasionales tales como viento y sismo, debe ser menor que 1.33 veces el esfuerzo admisible  $S_h$ .

#### 2.1.1.4. Clasificación de Líneas de Esfuerzos

Se deberá considerar todas aquellas condiciones que producen los niveles de esfuerzos más severos en los sistemas de tuberías y también que puedan producir los valores de cargas más altos en las boquillas y estructuras.

Todos los análisis se deben apegar a lo señalado en el Código de tuberías correspondiente (ASME B31.1 para tubería en plantas de fuerza, ASME B31.3 para tubería en plantas de proceso).

El nivel de esfuerzos resultante en los sistemas de tuberías debe ser calculado, evaluado y aprobado para cada una de las siguientes condiciones y combinaciones de carga según apliquen, tales como:

- Temperatura
- Peso muerto
- Presión interna o externa
- Movimientos de equipos o estructuras
- Asentamientos diferenciales
- Sismo
- Viento
- Vibración

- Empujes en válvulas de alivio
- Flujo en dos fases

La tubería debe ser diseñada para resistir el efecto de las siguientes combinaciones de carga para cumplir los requerimientos del código ASME B31.3 / ASME B31.1.

Se realizarán los cálculos y combinaciones de carga necesarios para determinar la condición o condiciones más críticas desfavorables tanto en los sistemas de tuberías, como en sus puntos terminales, soportes y/o estructuras, para garantizar que no rebasen los valores permisibles de esfuerzos, fuerzas y momentos.

- a) Cargas sostenidas:** Presión normal de diseño, carga muerta en operación.
- b) Cargas térmicas:** Carga por expansión o contracción térmica debido a la temperatura de operación.
- c) Cargas ocasionales:** Presión normal de diseño, carga muerta en operación, y carga por viento o sismo.
- d) Cargas sostenidas por pruebas de presión:** Presión de prueba, carga muerta de prueba, y carga por expansión o contracción térmica de prueba. Si el fluido de prueba es más pesado que el fluido de operación normal, pueden necesitarse soportes temporales adicionales a los diseñados para la operación del sistema.
- e) Cargas por periodos de tiempo cortos:** Cargas en operación y momentáneas resultantes de operaciones anormales (incremento de presión, incremento en el diferencial de temperatura, o incremento en la carga contenida) tal como puede ocurrir durante el arranque, paro, regeneración, decoquizado o interrupción del proceso durante la operación. Por ejemplo, pérdida del fluido de enfriamiento o interrupción del flujo de proceso estando en operación la línea de calentamiento.

Los requerimientos de diseño para la evaluación de los esfuerzos en las tuberías, son aquellos que se indican en el Código de tuberías correspondiente al proyecto.

Para la determinación de las cargas resultantes se aplicarán sin ser limitativas los siguientes casos de carga:

- Cargas por peso en operación y en condición de prueba.
- Cargas por efecto térmico.
- Cargas por sismo o viento.
- Cargas por fricción.

*Tabla 1: Casos de Cargas a analizar*

CASOS DE CARGA A ANALIZAR		
CASO	TIPO	ESFUERZO PERMISIBLE ASME B 31.3
Temperatura + Desplazamiento	Térmica	SA
Peso + Presion + Cargas Concentradas	Sostenida	Sh x W
Operación		-----
Viento o Sismo ( El que sea mayor)*	Ocasional	-----
Sostenida + Ocasional	Ocasional	1.33 Sh
Prueba Hidrostatica	Sostenida	1.33 Sh

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

\* No pueden aplicarse en simultáneo.

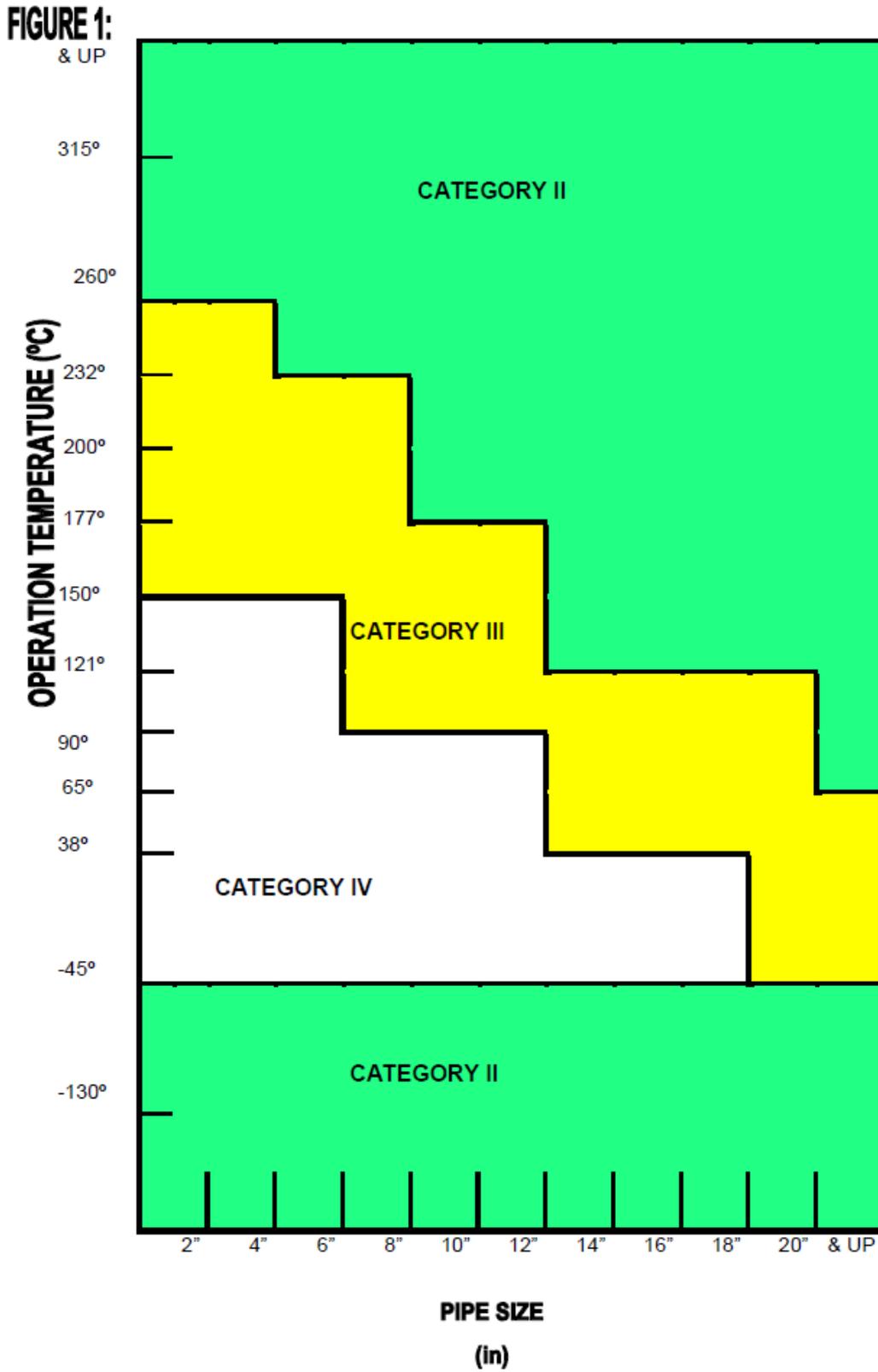
S<sub>A</sub>: Rango de esfuerzos permisible

S<sub>h</sub>: Esfuerzo permisible “en caliente” (a la temperatura de operación).

W: Weld Joint Strength Reduction Factor (Factor de reducción de Resistencia de la soldadura).

Las líneas críticas de esfuerzos deben ser divididas dentro de las categorías que se muestran a continuación:

Figura 5: Categorías de Líneas



Fuente: Empresa Grupo Cobra

### a) Categoría I

Las tuberías que entren en esta categoría deben ser revisadas cuidadosamente por el ingeniero de esfuerzos:

- Tuberías con diámetro  $\geq 3$ " , conectadas a equipos rotativos. (Bombas, turbinas Compresores centrífugos)
- Tuberías con diámetro  $\geq 4$ " conectadas con Air- Cooler/Intercambiadores de calor.
- Tuberías con diámetro  $\geq 4$ " con temperatura de diseño de 232°C o mayor.
- Tuberías con diámetro  $\geq 8$ " con temperatura de diseño de 177°C o mayor.
- Tuberías con diámetro  $\geq 12$ " conectados tanques de almacenamiento.
- Tuberías con diámetro  $\geq 12$ " con temperatura de diseño de 121°C o mayor.
- Tuberías con diámetro  $\geq 20$ " con temperatura de diseño de 65°C o mayor.
- Tuberías con revestimiento refractario interno.
- Tuberías de proceso hacia y desde todos los compresores y sopladores.
- Tuberías de proceso, regeneración y descoquificación hacia y desde todos los calentadores y generadores de vapor alimentados.
- Tuberías de proceso y líneas de regeneración hacia y desde reactores.
- Tuberías con bridas  $\geq$  Rating Class 1500 de acuerdo al ASME B16.5
- Tuberías enchaquetadas.
- Tuberías que requieran Juntas de expansión.
- Tuberías Diseñadas para más de 22,000 ciclos.
- Tuberías con categoría Mix Fase.
- Tuberías de la Categoría II, que por juicio del Ingeniero de análisis de esfuerzos, deberían tener un análisis por superar los requisitos de la categoría II.

Para esta categoría se requiere un análisis formal del estrés mediante el uso del software CAESAR II, para todas las líneas en cuestión.

### **b) Categoría II**

Las tuberías que entran en esta categoría necesitan una revisión cuidadosa por parte de los ingenieros de esfuerzos.

El análisis formal por stress mediante el uso del software CAESAR II es requerido para todas las líneas que caen en esta categoría: que están conectadas a equipos sensibles a cargas o cuyo diámetro o enrutamiento es complicado para completar el análisis con un método aproximado.

### **c) Categoría III**

Para las tuberías que entran en esta categoría se pueden resolver por medio de un análisis simplificado. El análisis puede hacerse por cualquiera de los métodos aproximados reconocidos, como cantilever guiado, tabla de span básicos, etcétera. Asegurándose de que se usan suposiciones conservadoras para el análisis del sistema.

### **d) Categoría IV**

Las tuberías que caen en esta categoría se pueden resolver mediante análisis visual o métodos aproximados.

### **e) Categoría V (Líneas No Críticas)**

Las tuberías de 1,5" diámetro y menores serán soportadas en campo.

Solo cuando de una inspección visual de la línea se deduce que la seguridad de la línea podría verse afectada, se realizará un breve análisis por medio de gráficos, juicio empírico, cantiléver guiado, etcétera.

#### **2.1.1.5. Aspectos Normativos**

#### **GLOBAL PRACTICE (GP)**

- GP 03-07-01: "Piping Layout, Supports, and Flexibility"
- GP 03-08-01: "Expansion Joints"

- GP 04-02-02: "Pipe Supports"
- GP 03-10-04: "Plastic and Plastic-Lined Piping"

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO**

- PP-TAL-C-001\_02 "Procedimiento de Numeración de Documentación"
- TAL-GEN-PNG-SPE-0001: "Especificación de Materiales de Tuberías"
- TAL-UNIDAD-PRO-LIS-0007: "Lista de Líneas"
- TAL-GEN-PNG-SPE-0007: "Especificación de Aislamiento Térmico y Acústico"
- 02070-GEN-PRO-SPE-001: "Site Information & Utilities Main Conditions"
- TAL-GEN-PNG-SPE-0013: "Especificación de Soportes Estándares de Tubería".
- TAL-GEN-PNG-SPE-0015: "Especificación de Suministro de Placa de Teflón".
- TAL-GEN-PNG-SPE-0016: "Especificación para la Ejecución de Dibujos de Soportes Especiales".
- Norma E.020 "Norma Técnica de edificaciones E.020 Cargas"
- DS-003-2016-VIVIENDA "Diseño Sismorresistente"
- TAL-GEN-ENG-DBD-001 "Bases Generales de Diseño"

## **AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS**

- ASME B31.3 "Process Piping".
- ASME B31.8 "Gas Transmission and Distribution Piping System".
- ASME B31.1 "Power Piping".
- ASME B31.E "Standard for the Seismic Design and Retrofit of Above-Ground Piping Systems"
- ASME Section VIII "Rules for Construction of Pressure Vessels".
- ASME B16.5 "Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings".
- ASME B16.47 "Large Diameter Steel Flanges".

## **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE**

- API RP 520 "Recommended Practice for the Design and Installation of Pressure-Relieving Systems in Refineries".
- API STD 560 "Fired Heaters for General Refinery Services".
- API STD 610 "Centrifugal pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry Services".
- API STD 611 "General purpose steam turbine for refinery services".
- API STD 612 "Special purpose steam turbine for refinery services".
- API STD 616 "Gas Turbines for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services".
- API STD 617 "Centrifugal Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Service Industries".
- API STD 618 "Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services".
- API STD 619 "Rotary-type positive displacement compressors for general refinery services".
- API STD 620/650 "Welded Steel Tanks for Oil Storage".
- API 660 "Shell and Tube Heat Exchangers for General Refinery Service".
- API STD 661 "Air-Cooled Heat Exchangers for General Refinery Services".
- API STD 662 "Plate Heat Exchangers for General Refinery Services".
- API STD 674 "Positive Displacement Pumps-Reciprocating".
- API STD 675 "Positive Displacement Pumps-Controlled Volume".
- API STD 676 "Positive Displacement Pumps-Rotary".

## **WELDING RESEARCH COUNCIL**

- WRC107/297 "Local Stresses in Cylindrical Shells Due to External Loadings on Nozzles".

## **NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURES ASSOCIATION**

- NEMA SM-23 "Steam Turbines for Mechanical Drive Service".

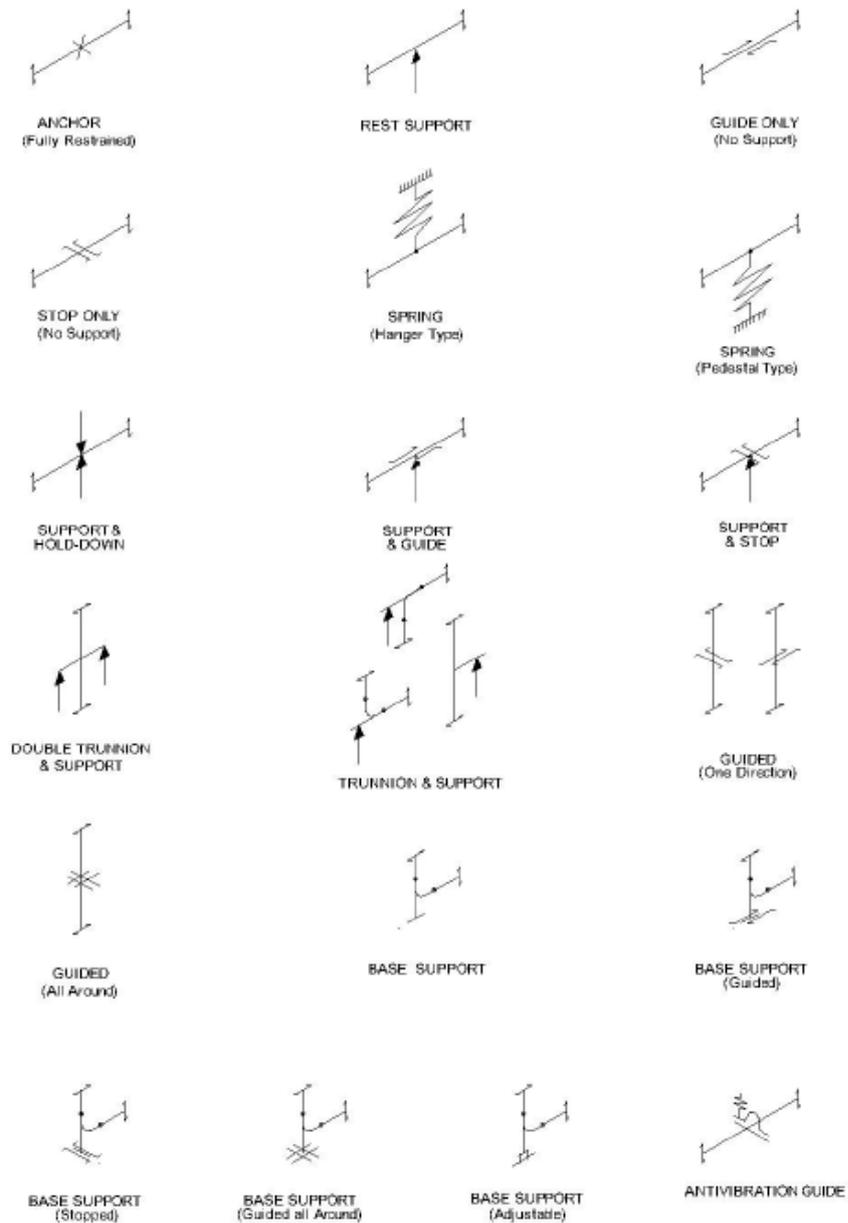
## AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

- ASCE-7 “Minimum Design Loads for Building and other Structures”.

## AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION

- M45 “Fiberglass Pipe Design”.
- C950 “Fiberglass Pressure Pipe”.

### 2.1.1.6. Simbología Técnica



## **2.2. Descripción de las actividades desarrolladas**

La descripción del proyecto consta en ingeniería, aprovisionamiento, construcción, comisionamiento y puesta en marcha de las Unidades Auxiliares de una Refinería de Hidrocarburos ubicada en la ciudad de Talara (Departamento de Piura, Perú).

Dentro de las Unidades Auxiliares se encuentra la Unidad o Sistema de Cogeneración, cuyos sistemas de tuberías serán parte del análisis de este informe.

Esta unidad está considerada para satisfacer las necesidades eléctricas y para complementar la demanda de vapor de proceso de la refinería.

La Unidad de Cogeneración, diseñada para una capacidad de generación eléctrica de 100 MW y abastecerá el vapor de proceso de HP (alta presión) y MP (media presión) requerido para el funcionamiento de las unidades nuevas y existentes de la refinería y suministrará la potencia eléctrica requerida por la refinería, los auxiliares de la Unidad de Cogeneración y el exceso de potencia será conectado a la red eléctrica nacional.

La Unidad de Cogeneración se alimentará normalmente a partir de los combustibles disponibles procedentes de la refinería (Flexigas (FXG), y gas de refinería (RFG). Adicionalmente, se consumirá gas natural (NG) en los pilotos de las calderas.

### **2.2.1. Etapas de las actividades**

#### **a) ETAPA 1: Líneas Críticas**

En esta etapa se revisará la Lista de Líneas Críticas, la cual contendrá a todas las líneas que requieran un análisis formal.

#### **b) ETAPA 2: Revisión de Modelo 3D y Documentación relacionada**

En esta etapa se revisará la Documentación relacionada a los sistemas de tuberías que serán analizadas. Tales como:

- Modelo 3D del sistema de tuberías.
- Isométricos de Tuberías.
- Diagramas de Tuberías e Instrumentos (P&ID).
- Especificaciones Técnicas de Tuberías (Piping Class).
- Listas, Hojas de Datos y Planos de Equipos.
- Filosofías de Operación de Equipos Dinámicos.

**c) ETAPA 3: Análisis de Flexibilidad**

En esta etapa se determinarán las reacciones sobre apoyos, boquillas de equipos interconectados, así como las fuerzas internas y los desplazamientos a lo largo del trazo de la tubería.

**d) ETAPA 4: Análisis de Esfuerzos**

En esta etapa se obtienen los esfuerzos resultantes a que están sometidos los componentes de la tubería y de los equipos interconectados.

**e) ETAPA 5: Fuerzas y Esfuerzos Permisibles**

En esta etapa se comparan las fuerzas y esfuerzos actuantes con los valores permisibles que establecen los códigos o los fabricantes de los diversos equipos.

En caso de no cumplir con alguno de los puntos anteriores, se realiza las modificaciones necesarias a la configuración del sistema y se tendrá que volver a hacer el análisis de flexibilidad.

Se debe tener en cuenta, que suministrarle demasiada flexibilidad a la configuración de un sistema de tuberías, generaría un incremento en los costos por exceso de material, se incrementarían las pérdidas por caídas de presión debido a cambios de dirección o aumentos de longitud.

### 2.2.2. Diagrama de flujo

ETAPA 1	Líneas Críticas
ETAPA 2	Revisión de Modelo 3D
ETAPA 3	Análisis de Flexibilidad
ETAPA 4	Análisis de Esfuerzos
ETAPA 5	Fuerzas y Esfuerzos Permisibles

### 2.2.3. Cronograma de actividades

- Obtención de PC
- Obtención de Licencia del Software
- Estudio de las especificaciones del proyecto
- Determinación de líneas críticas
- Desarrollo del arreglo de tuberías
- Distribución de soportes
- Análisis preliminar de esfuerzos antes de recibir datos del proveedor de equipo.
- Análisis final de esfuerzos con datos de proveedor de equipo.
- Comunicación interdepartamental con departamento civil, mecánico y procesos.

### **III APORTES REALIZADOS**

#### **3.1. Planificación, Ejecución y Control de las Etapas**

Para cumplir con las etapas mencionadas en el capítulo anterior se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones.

##### **3.1.1. Consideraciones para el Análisis Diseño**

Donde sea práctico, se debe diseñar la tubería para que, a través de su configuración, sea capaz de absorber la totalidad de la expansión o contracción térmica que se presente; cuando esto no sea posible, se podrá optar por una o más de las siguientes alternativas:

- Colocación de curvas de expansión (Loops)
- Colocación y especificación de juntas de expansión. (Se debe evitar hasta donde técnicamente sea posible el uso de juntas de expansión).
- Utilización de resortes de carga variable.

El arranque, apagado, expulsión de vapor donde correspondan las condiciones ocasionales e incluyendo condiciones de corto plazo a temperaturas o presiones más altas, así como las condiciones normales de operación, serán consideradas en el análisis de flexibilidad. Esto es particularmente pertinente para las cargas que son aplicadas a la conexión del equipo.

Se puede establecer un perfil de temperaturas del fluido, si se considera necesario, para tuberías largas tomando en cuenta las pérdidas de calor a lo largo de la línea, por ejemplo, el sistema flare.

La expansión de la tubería o el equipo asociado debe ser acomodada siempre que sea posible por la flexibilidad inherente de las tuberías. Si es necesario, la ruta de la tubería debe ser modificada, o se deben incorporar loops de expansión para así obtener la suficiente flexibilidad en el circuito.

Se debe proporcionar suficiente flexibilidad en la tubería para permitir la colocación de válvulas de alivio de presión, líneas persianas (blinds line) o discos de ruptura para ser cambiados.

Los requisitos de flexibilidad de la tubería se deberán satisfacer en la medida de lo posible mediante cambios de dirección, loops, etcétera.

El uso de juntas de expansión se limitará a aquellos casos en los que las modificaciones de ruta sean más difícil o imposible por las siguientes razones:

- Caídas de presión excesiva.
- Disminución de la disponibilidad de espacio.
- Cargas excesivas en estructuras o equipos terminales.

Los sistemas de tuberías duplicados no requieren un análisis formal de flexibilidad, un solo cálculo es más que suficiente.

Los arreglos de tubería que normalmente contienen productos inflamables o tóxicos deberán estar provistas de la adecuada flexibilidad para la condición de vapor de línea. Dicha condición se mostrará en el Schedule de la línea.

El efecto de las fuerzas de fricción en las cargas que se apliquen en la boquilla debido a las reacciones en los soportes circundantes del equipo puede ser (de acuerdo con la configuración de la tubería) un fenómeno transitorio que ocurrirá en el desplazamiento cuasi estático de una condición térmica a otra. Para ese tipo de sistemas de tuberías, se considerará la fuerza de fricción como un efecto transitorio, no como una reacción permanente. De acuerdo con esto, el analista de estrés debe incluir o no las fuerzas de fricción para lograr la peor condición posible en la evaluación de cargas en las boquillas sobre la condición de operación.

Si debido a la naturaleza del suelo, se esperan grandes asentamientos diferenciales entre equipos / estructuras, el diseño de la tubería lo tendrá en cuenta. Se puede requerir flexibilidad adicional y soportes de resorte en exceso de los requeridos por los diseños convencionales.

En general, los sistemas de tuberías se anclarán en el marco de anclaje principal que preferiblemente debe ser el más próximo cerca de las válvulas de aislamiento dentro de la Unidad.

### **3.1.2. Consideraciones para el Análisis del Modelado**

La información indicada a continuación deberá utilizarse cuando se haga el modelado del sistema de tuberías para efectos del análisis de esfuerzos.

- Los sistemas de tuberías que deberán analizarse con software serán las definidas como críticas a partir de listado general de líneas y los criterios antes mencionados. El criterio de selección estará basado usualmente en las condiciones de operación, temperatura y presión, así como el diámetro y fluido conducido.
- El modelo para análisis de esfuerzos deberá construirse con la mayor precisión posible correspondiendo enteramente con la geometría real del sistema de tuberías, así como con las restricciones en apoyos y conexiones de equipos, y condiciones de operación en cada escenario previsto.
- Toda la información técnica y prácticas recomendadas de ingeniería utilizada en el análisis deberá ser respaldada documentalmente, donde aplique, e indicada en la memoria de análisis de esfuerzos.
- El modelo de esfuerzos, deberá utilizar el mismo sistema de coordenadas tal como se indica en los correspondientes isométricos. Eje X y eje Z coincidiendo con el Norte-Sur y Este-Oeste respectivamente.
- El uso de loops para absorber expansión o contracción térmica quedará a criterio del analista y estará avalado en el cálculo o análisis formal. No se prevé la utilización de juntas de expansión.
- Las líneas consideradas como no críticas deberán revisarse visualmente, y en caso especiales, se hará un análisis no formal mediante el uso de gráficas, hojas de Excel o cálculos manuales. Todo cálculo no formal deberá ser debidamente documentado.

### **3.1.3. Consideraciones para el Análisis de Esfuerzos**

El análisis de flexibilidad para tuberías debe ser según ASME B31.3 o B31.1 y los datos de ingeniería básicos del proyecto.

Además, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones como práctica común:

#### **3.1.3.1. Condiciones de temperatura.**

La temperatura de instalación de referencia, debe ser tomada como sigue:

- Máxima temperatura =  $T_{max} = 32.2\text{ °C}$
- Temperatura mínima de diseño  $T_{min} = 12.8\text{ °C}$  (DMT)
- Temperatura de instalación a considerar =  $TER = 23.0\text{ °C}$
- La temperatura máxima del metal a considerar para el efecto de radiación solar debe ser de  $50\text{ °C}$ .

La temperatura a usarse en los cálculos de análisis de esfuerzos será como sigue:

- Para tuberías con aislamiento térmico, será la temperatura máxima de operación del fluido.
- Para las tuberías con derivación de (by pass) que conectan a bombas con repuesto y en las cuales no circula el fluido, considerar el apartado Tuberías de Bombas. Para el caso de bombas de repuesto que tengan una derivación (by pass) de calentamiento: la temperatura se debe considerar de acuerdo al apartado Tuberías de Bombas.
- Para las líneas que conectan a bombas centrífugas, se debe usar la temperatura máxima de operación del fluido, combinada con el efecto de peso, de presión y fricción, para evaluar los elementos mecánicos resultantes sobre las boquillas de las bombas y, compararlos contra los permisibles suministrados por el fabricante del equipo o en su defecto por el código API.

- Para líneas que conectan a turbinas de vapor, usar la temperatura máxima de operación del fluido, combinada con el efecto de peso, de presión y fricción, para evaluar los elementos mecánicos resultantes sobre las boquillas de la turbina y, compararlos contra los permisibles de acuerdo al NEMA SM-23 (o su equivalente), o los suministrados por el fabricante del equipo.
- Para líneas que conectan a enfriadores con aire, usar la temperatura máxima de operación del fluido, combinada con el efecto de peso, de presión y fricción, para evaluar los elementos mecánicos sobre las boquillas de los enfriadores con aire y, compararlos contra los valores permisibles señalados en el API-661 (o equivalente), o los suministrados por el fabricante del equipo.
- Para líneas conectadas a recipientes a presión verticales u horizontales, usar la temperatura máxima de operación del fluido, combinada con el efecto de peso, presión y las fuerzas de fricción debido a la expansión térmica para evaluar los elementos mecánicos en las boquillas de los recipientes y compararlos contra las permisibles del estándar WRC-107 o WRC-297(o equivalentes), o las suministradas por el fabricante del equipo.
- Para líneas conectadas a tanques de almacenamiento, usar la temperatura máxima de operación del fluido, combinada con el efecto de peso, presión y las fuerzas de fricción debido a la expansión térmica para evaluar los elementos mecánicos en las boquillas de los tanques de almacenamiento y compararlos contra las permisibles del API 650 (o equivalentes), o las suministradas por el fabricante del equipo.
- Solo en los casos que la temperatura de diseño sea excepcionalmente alta comparada con la de operación se llevaran a cabo la evaluación de esfuerzos con la temperatura de diseño.

Se determinará el rango de temperatura  $\Delta T$  a considerar al realizar la verificación de flexibilidad para cada condición como se muestra:

Figura 6: Rangos de Temperaturas

CASE	PIPING	TEMPERATURE RANGE	FIGURE
<b>HOT SERVICE</b> $T_p \geq T_{MAX}$	UNINSULATED & INSULATED	$\Delta T = T_p - T_{ER}$	
<b>AMBIENT SERVICE</b> $T_{MAX} \geq T_p \geq T_{ER}$	UNINSULATED	$\Delta T = T_{MAX} - T_{ER}$	
	INSULATED	$\Delta T = T_p - T_{ER}$	
<b>COLD SERVICE</b> $T_p < T_{ER}$	UNINSULATED	$\Delta T = T_{MAX} - T_p$	
	INSULATED	$\Delta T = T_p - T_{ER}$	

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Considerando:

$T_p$ : temperatura del metal.

- **Tubería aislada:** Considerando la misma temperatura del fluido.
- **Tubería sin aislamiento:** La temperatura de 50°C se considera la temperatura máxima del metal resultante de la radiación solar sin flujo en la línea.

Para temperaturas del fluido por debajo de 50°C, se tomará la temperatura del componente como la temperatura del fluido a menos que exista radiación solar, en ese caso se tomará 50°C.

#### a) Vapor de servicio (Steam Out).

Las tuberías con servicio de hidrocarburos pueden ocasionalmente ser vaporizadas. Tenga en cuenta que el equipo también se vaporiza y en el caso de las columnas, la expansión vertical resultante puede causar grandes movimientos en las tuberías conectadas, que pueden permanecer a temperatura ambiente. La combinación más estricta de vapor de servicio con equipos fríos, equipos vaporizados con línea fría o ambos vaporizando pueden ser considerado.

Condiciones que se deben considerar en el análisis de estrés para líneas y equipos de vapor y con mayor atención a la temperatura de vapor saturado a presión de vapor, son los siguientes:

- **Condiciones Steam-Out:** 150 °C y Full Vacuum (0 kg / cm<sup>2</sup> (a)).
- **Condiciones Steam-Out:** 180 °C y presión (3.5 kg / cm<sup>2</sup> (g)).

Si la consideración de la condición de vapor resulta en un diseño de tubería desde un punto de vista que no fuera razonable, un intento de break flanges o carretes desmontables sería aplicable.

En estos casos, se indicará claramente en el isométrico con la nota "Desconectar brida para Steam out".

#### **b) Tuberías con Traza.**

El trazado en líneas puede hacer que la temperatura de la tubería se eleve por encima de lo normal, durante los períodos en que la línea está en vacío o cuando no exista flujo.

Las líneas con trazado de vapor deberán tener un control adicional para una temperatura del 100% del trazado de vapor. La línea con esta temperatura se debe considerar sin carga. Una temperatura de traza de vapor más precisa será obtenida para aquellos sistemas de tuberías donde esta condición puede dar como resultado cambios en el diseño de la tubería.

Las líneas trazadas con calor que contienen fluidos que se congelarán durante condiciones que no fluyen (p. Ej., Alquitrane, productos químicos) deben estar sostenidas por zapatas o dispositivos similares que permitan un aislamiento continuo en las vigas de soporte.

#### **c) Tuberías Encamisadas.**

Un sistema de tubería está revestido o encamisado para garantizar que el medio de flujo dentro de la tubería central se mantenga a cierta velocidad, temperatura, mediante el uso de un fluido de calefacción o refrigeración entre

la camisa y la tubería central. Esto resulta en una diferencia de temperatura entre el tubo central y la camisa.

Las dos condiciones posibles son:

- El fluido central es más caliente que el líquido de la camisa.
- El líquido de la camisa es más caliente que el fluido central.

Para ambos casos, el análisis de tensión deberá considerar la temperatura del fluido de la camisa para el tubo de camisa y el promedio de las temperaturas del fluido del núcleo y la camisa para la tubería central. Si se considera necesario, una información más precisa valor debe ser obtenido.

Se requiere un cálculo adicional de arranque / apagado para el caso 2 con ambas tuberías, camisa y núcleo en la temperatura del fluido de la chaqueta.

#### **d) Radiación Solar.**

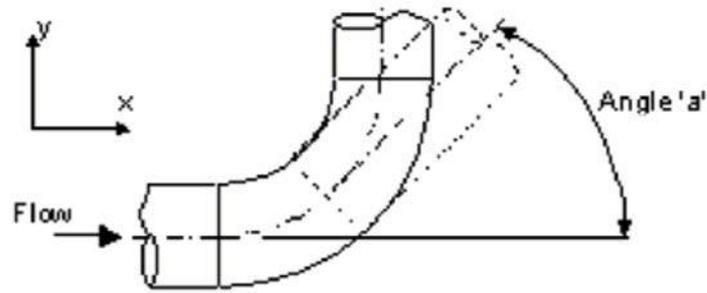
Las tuberías largas sin aislar, especialmente las tuberías fuera exteriores, pueden estar sujetas a importantes movimientos como resultado de la radiación solar. Líneas no aisladas con temperatura de funcionamiento máxima por debajo de la temperatura solar y que pueden ser sujeto a radiación solar directa deberá tener un control adicional a 50°C considerando que la línea está sin carga.

#### **3.1.3.2. Flujo de Lodos (Slug Flow).**

Las líneas sujetas a dos fases de fluido deben ser revisadas con la posibilidad de slug flow. Los valores para esta condición deben ser obtenidos mediante el Departamento de Proceso.

El resultado de las fuerzas que actúan en los codos debido al slug flow debe ser calculados mediante la siguiente formula:

Figura 7: Slug Flow



$$F_X = \rho \cdot A \cdot V^2 \cdot (1 - \cos(a)) \cdot DLF$$

$$F_Y = \rho \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin(a) \cdot DLF$$

$$F_R = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2}$$

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Donde:

- $F_R$  = La carga de reacción. (N)
- $\rho$  = Densidad del fluido ( $\text{N/m}^3$ )
- $A$  = Sección del área transversal interna ( $\text{m}^2$ )
- $V$  = Velocidad a la cual viaja el lodo (m/s)
- $DLF$  = Para el análisis estático, la fuerza obtenida se multiplicará por un factor de carga dinámico igual a 2.

Como regla general, y para líneas apoyadas sobre soporte rígido (sin muelles), los valores de  $\rho v^2$  que sean menores a 12 kPa se considerarán insignificantes. En cualquier caso, el criterio del analista de esfuerzos será el que prevalecerá y se tomará para el sistema.

Cuando una línea está sometida a slug flow, se debe prestar especial atención al diseño de soporte. Los requisitos de análisis cubrirán suficiente rigidez de la línea para evitar las vibraciones y se debe cumplir con un mínimo de frecuencia natural de 4 Hz.

Con esta fórmula se obtiene una fuerza a 45° con respecto al centro del codo, la cual se debe de descomponer en sus resultantes para poder imponer esos valores axialmente en cada cambio de dirección del sistema dentro del programa CAESAR II.

#### **3.1.3.3. Golpe de Ariete.**

La configuración de las tuberías que conecta a las bombas debe estar diseñadas para minimizar las cargas dinámicas asociadas con la hidráulica o efectos transitorios debido a la puesta en marcha de la bomba, interrupción y cierre rápido de la válvula.

El golpe de ariete se refiere a las fluctuaciones causadas por un repentino incremento o disminución de la velocidad del flujo. Estas fluctuaciones de presión pueden ser lo suficientemente severas como para romper las tuberías del sistema. Los problemas potenciales del golpe de ariete pueden ser considerados al evaluarse el diseño de las tuberías y cuando se realiza un análisis detallado de las oscilaciones de presión, en muchos casos para evitar malos funcionamientos costosos en el sistema de distribución.

Estas tuberías se deben apoyar con cuidado: se deben agregar paros y guías para compensar el equilibrar fuerzas y de esa manera garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

#### **3.1.3.4. Análisis por Viento.**

El análisis de esfuerzos de la tubería debe considerar las cargas de viento en dos direcciones horizontales prevalecientes siempre y cuando el diámetro exterior de la tubería (incluido el espesor del aislamiento) sea de 350 mm o superior en las siguientes condiciones:

- Líneas con rutas a más de 10 m de altura y expuestas al viento. (Líneas de Air Cooler de entrada / salida).
- Líneas "Flare" o similares cuando la ruta sea en áreas expuestas entre las unidades de proceso y la pila del quemador.

El efecto de cargas de viento se vuelve significativo por encima de 10 m. A nivel del suelo, las cargas de viento generalmente son mitigadas por edificios, estructuras y equipos. Por lo tanto, estas tuberías se dejarán a consideración del analista ya que el efecto del viento no es un factor importante para el sistema. Para sistemas por debajo de los 10 m de altura se emplearán las mismas condiciones que a 10 m de altura, de esta manera el sistema estará evaluado conservadoramente.

El viento y sismo no se deben considerar actuando simultáneamente. Presenciando a las condiciones del sitio, ya sea la carga del viento o de sismo se puede prevenir si los efectos del otro resultado son notablemente superiores.

El diseño del viento se basará en las cargas del Código Nacional E.020 del Perú.

De acuerdo con la sección 5.3 del Código Nacional Peruano E.020, la velocidad de diseño del viento hasta una elevación de 10 m será la velocidad máxima medida en la región donde se construye el proyecto, pero nunca menos de 75 km / h. La velocidad de diseño del viento en cada elevación de la tubería para una elevación más alta que 10 m se calculará con la siguiente fórmula:

$$V_h = V \left( \frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde:

- $V_h$  = Velocidad de diseño a la Altura H (km/h)
- $V$  = Velocidad de diseño hasta una altura de 10 m (km/h)
- $h$  = Altura con la que se calcula el diseño (m)

En el Código Nacional Peruano E.020 especifica en el anexo 2, una velocidad de diseño del viento de 80 km/h a una altura de hasta 10 m sobre el nivel del suelo y durante un periodo de retorno de 50 años en la región de Talara.

Usando la formula antes mencionada:

Tabla 2: Velocidad del Viento contra Altura

h (m)	V <sub>h</sub> (km/h)
10	80
15	87,46
20	93,18
25	97,87
30	101,87
40	108,53
50	113,99
60	118,65
70	122,75
80	126,41

Fuente: Norma E.020 "Norma Técnica de edificaciones E.020 Cargas"

En el Código Nacional Peruano E.020 especifica en la sección 5.4 que las cargas externas producidas por el viento deben ser consideradas estáticas y perpendiculares a la superficie donde actúan. Las fuerzas deben ser calculadas como se muestra a continuación:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde:

- P<sub>h</sub> = Presión o succión del aire a la altura h (kg/m<sup>2</sup>)
- C = Forma Adimensional a evaluar, para tubería es 0.7
- V<sub>h</sub> = Velocidad de diseño en la altura h (km/h)

Para estructuras ligeras, como se puede considerar una tubería las cargas obtenidas con la formula anterior debe ser multiplicado por 1.2.

Usando la fórmula y considerando que el factor de forma será aplicado internamente por el programa CAESAR II tenemos que:

Tabla 3: Presión del Aire Contra Altura

h (m)	$P_h$ (kg/m <sup>2</sup> )	$P_h$ (kPa)
10	38,40	0,38
15	45,90	0,45
20	52,09	0,51
25	57,47	0,56
30	62,27	0,61
40	70,67	0,69
50	77,96	0,76
60	84,47	0,83
70	90,40	0,89
80	95,87	0,94

Fuente: Empresa Grupo Cobra

El viento predominante será en direcciones horizontales para el análisis del CAESAR II:

- WIN1: Dirección X
- WIN2: Dirección Z

### 3.1.3.5. Análisis por Sismo.

El diseño sísmico se basará en el decreto supremo DS-003-2016-VIVIENDA que modifica la norma técnica E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" Del Reglamento Nacional De Edificaciones.

### 3.1.3.6. Evaluación por Fuga en Bridas (Flange Leakage evaluation)

La unión en bridas está sujeta a una presión interna, fuerzas axiales y momentos flectores que pueden provocar que la unión fugue.

Las fugas críticas en las juntas de brida se evaluarán a través de los siguientes métodos:

- Presiones Equivalentes.
- NC-3658-3
- ASME Sec. VIII

La primera evaluación a seguir es usando el método de “Presiones Equivalentes”

$$P_{eq} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot G^2} + \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot G^3}$$

Donde:

- $P_{eq}$  = Presión equivalente debido a cargas externas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- $F$  = Carga axial ejercida sobre la brida debido al peso y la expansión térmica de la tubería (kg).
- $M$  = Momento flector ejercido en la brida debido al peso y la expansión térmica de la tubería. ( $\text{kg} \times \text{cm}$ ).
- $G$  = Diámetro de la junta donde reaccionan las cargas (mm).

Si el cálculo que utiliza este método no es satisfactorio, se realizará un segundo intento utilizando el método NC-3658-3. Ambos cálculos se pueden realizarse con el software CAESAR II.

Si los cálculos que usan estos dos métodos fallan, entonces la brida se debe verificar de acuerdo con ASME Sección VIII fórmulas que se aplican con el software CAESAR II.

La verificación de fuga de bridas se llevará a cabo cuando se requiera un análisis formal y el esfuerzo de flexión (debido ya sea para carga sostenida o por desplazamiento) en la ubicación de la junta de brida que exceda el 50 por ciento del valor de estrés permisible.

Se debe llevar a cabo una verificación de fugas de bridas en todas las líneas con capacidades  $\geq 900$  libras, por debajo de este libraje no es necesaria la evaluación, solo si a criterio del ingeniero analista de esfuerzos es pertinente la

evaluación se realizará en librajes menores y en todas las líneas con un fluido de categoría M.

No es necesario evaluar la fuga de brida en los siguientes casos:

- Condición de prueba
- Steam Out
- Sismo (a excepción de las líneas que contienen Fluido de Categoría M donde este control será hecho).
- Caso de Incendio (a excepción de las líneas que contengan fluido de categoría M donde este control será hecho).

La verificación de fugas de bridas debe considerar la presión real de la línea en cada condición estudiada. Teniendo en cuenta la presión de diseño o cualquier otra presión superior a la real siendo conservadoramente.

Estos cálculos deberán de estar presentes en el reporte de flexibilidad.

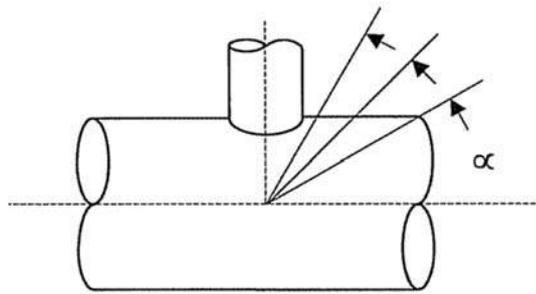
#### **3.1.3.7. Conexión de Ramales.**

Las conexiones de ramales son normalmente a 90° grados. La flexibilidad y los factores de intensificación de esfuerzos deben estar de acuerdo al ASME B31.3 Apéndice D.

Para ciertos sistemas, como líneas del flare, las conexiones de derivación tienen ángulos diferentes a 90°. En ausencia de un análisis riguroso, los factores de intensificación del estrés serán los correspondientes de acuerdo al ASME B31.3 Apéndice D y corregidos con los siguientes factores.

En caso de requerirse el especialista de flexibilidad podrá realizar una simulación por elementos finitos para obtener un valor más aproximado del estado de esfuerzos en estas conexiones.

Figura 8: SIF en Ramales



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Tabla 4: SIF en Ramales

90 degrees SIF = $SIF_{(B31.3 App.D)} \times 1.0$	45 degrees SIF = $SIF_{(B31.3 App.D)} \times 2.0$
60 degrees SIF = $SIF_{(B31.3 App.D)} \times 1.2$	30 degrees SIF = $SIF_{(B31.3 App.D)} \times 3.0$

Fuente: Empresa Grupo Cobra

### 3.1.3.8. Asentamientos.

La información sobre los asentamientos debe ser obtenida por el departamento civil.

La diferencia entre asentamientos debe ser tomada en cuenta para el análisis de esfuerzos de la tubería cuando se llegarán a superar los siguientes valores:

*Tabla 5: Asentamientos Máximos*

Pumps to pipe racks	5 mm
Pumps to drums and storage tanks	10 mm
Pumps to shell and tube exchangers	10 mm
Pumps to columns	5 mm
Turbines to pipe racks	5 mm
Shell and tube exchangers to pipe racks	10 mm
Shell and tube exchangers to drums	10 mm
Shell and tube exchangers to columns	10 mm
Columns to pipe racks	15 mm
Columns to air cooler exchangers	15 mm

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Cuando sea necesario diseñar con asentamientos mayores, puede ignorarse la cantidad inicial que se produce durante la prueba de construcción. En tales casos, se debe observar claramente que las conexiones de las tuberías se deben realizar después de la prueba hidrostática.

Se debe considerar el asentamiento diferencial junto con las deformaciones por desplazamiento térmico, en la determinación de la deformación total que se compara con el esfuerzo permisible SA:

*Tabla 6: Desplazamientos Térmicos*

L1	W+D1+ T1+P1+H+F1	OPE	Disp/Force/Stress	D/L
L2	W+P1+H	SUS	Disp/Force/Stress	D/L/S
L3	L1-L2	EXP	Disp/Force/Stress	D/L/S

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Donde:

- $S_A$ = Esfuerzo en la temperatura de expansión  $T_1$
- $D_1$ = Desplazamiento térmico del equipo + desplazamiento por asentamiento.

### 3.1.3.9. Válvulas de Seguridad.

Las tuberías y los soportes de la válvula de seguridad de presión deben diseñarse para resistir las cargas de empuje y de vibración debido a la descarga.

Cuando las válvulas de seguridad descargan en un sistema de tuberías cerrado, el sistema se encuentra en una condición de flujo estable y las fuerzas están equilibradas, lo que no crea momentos significativos en el sistema. Solo por un breve instante, durante el transitorio, el sistema está desequilibrado; en este caso, un soporte estático se considera suficiente.

Utilizando la hoja de datos con las cargas de reacción del proveedor, si es posible para la evaluación.

Las cargas de empuje asociadas con las liberaciones de la válvula de seguridad en los sistemas de alivio de presión se calcularán como sigue:

#### a) Cargas de reacción de la descarga de la válvula de alivio en el servicio de gas, vapor o vapor.

$$F = \frac{W}{27,8} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \frac{T+273}{M}} \cdot DLF$$

Donde:

- $F$ = La carga de reacción. (N)
- $W$ = Flujo Requerido para la descarga (kg/h)
- $A_1$ = Área del orificio seleccionado ( $\text{mm}^2$ )
- $A_2$ = Área del orificio calculado ( $\text{mm}^2$ )
- $K$ = Relación de calor específico  $C_p/C_v$

- T= Temperatura de entrada durante la descarga (°C)
- M=Peso molecular (kg/mol)
- DLF= Para el análisis estático, la fuerza obtenida se multiplicará por un factor de carga dinámico iguala 2 (DLF=2)

**b) Cargas de reacción de la descarga de la válvula de alivio en el servicio de 2 Fases.**

$$F = \frac{W^2}{12,96 \cdot A} \cdot \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \left[ \frac{x}{\rho_g} + \frac{(1-x)}{\rho_l} \right] \cdot DLF + \frac{A}{1000} (P_c - P_a)$$

Donde:

- F= La carga de reacción. (N)
- W= Flujo requerido para la descarga (kg/h)
- A1= Área del orificio seleccionado (mm<sup>2</sup>)
- A2= Área del orificio calculado (mm<sup>2</sup>)
- A1/A2 = Relación entre el área del orificio seleccionado y el orificio calculado
- x = Peso del vapor de fracción en la condición de salida.
- P<sub>g</sub>= Densidad del vapor en condiciones de salida. (kg / m<sup>3</sup>)
- P<sub>l</sub>= Densidad del líquido en condiciones de salida. (Kg/m<sup>3</sup>)
- DLF = Para el análisis estático, la fuerza obtenida se multiplicará por un factor de carga dinámico (DLF= 2)
- P<sub>c</sub> = Presión absoluta a la salida. (kPa)
- P<sub>a</sub>= Presión absoluta del ambiente. (kPa)
- A= Área de salida en el punto de descarga (mm<sup>2</sup>)

**c) Carga de reacción del servicio de fase líquida de descarga de la válvula de alivio.**

$$F = \sqrt{2} * Q_a * \alpha * \sqrt{\frac{(P - P_d) * 10^5}{\alpha} + \frac{Q_a^2}{2 * A_p^2}} \cdot DLF$$

Donde:

$$Q_a = Q_r * \frac{A_a}{A_r}$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} * (D_o - 2t)^2 * 10^{-6}$$

Donde:

- F= La carga de reacción. (N)
- P= Presión de configuración (kg/cm<sup>2</sup>)
- Pd= Presión aguas abajo (kg/cm<sup>2</sup>)
- Qa= Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/sec)
- Aa = Área del orificio actual (mm<sup>2</sup>)
- Ar= Área del orificio requerido (mm<sup>2</sup>)
- $\alpha$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)
- Do= Diámetro exterior de la tubería de entrada (mm)
- DLF = Para el análisis estático, la fuerza obtenida se multiplicará por un factor de carga dinámico (DLF= 2)

**d) Reacción de la onda de presión de carga en la válvula de alivio del quemador**

Las presiones debido a una sobretensión en los sistemas de tuberías son generadas por los cambios en la velocidad del flujo en un sistema. Estos cambios repentinos de velocidad pueden ser causados por la operación de válvulas y bombas; debido a la expulsión de aire del sistema de tuberías; apertura de una válvula de seguridad o por los discos de ruptura; etcétera.

La ecuación fundamental en la teoría de las presiones de sobretensiones relaciona los cambios de presión,  $\Delta p$ , con los cambios de velocidad,  $\Delta v$ , según:

$$\Delta P = \rho \cdot C \cdot \Delta v \quad [\text{Pa}]$$

La velocidad del fluido en un sistema de tuberías está dado por:

$$v = \frac{q}{\rho \cdot A} \quad [\text{m/s}]$$

Donde:

- $q$  = Flujo (kg/s)
- $A$  = Área de sección transversal ( $\text{m}^2$ )
- $\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $c$  = Velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)

Las sobretensiones de presión se propagan a través de un sistema de tuberías a la velocidad sónica local. En una tubería rígida, las perturbaciones de presión se propagarán a la velocidad sónica básica del fluido, que viene dada por:

$$c_o = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad [\text{m/s}]$$

Donde:

- $k$  = Modulo de volumen ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
- $\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

La velocidad de propagación de una onda de presión en una tubería elástica de pared delgada es menor que la velocidad sónica en un tubo rígido, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$c = \sqrt{\frac{E_f}{\rho + \rho \left(\frac{E_f}{E}\right) \left(\frac{d}{t}\right)}} \quad [\text{m/s}]$$

Donde:

- E = Modulo de Young´s del material de la tubería (Acero \_ E= 20601 e10 N/m<sup>2</sup>)
- Ef = Modulo de elasticidad del volumen del líquido (Agua\_ Ef = 21587 e08 N/m<sup>2</sup>)
- ρ = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)
- d = Diámetro interior de la tubería (m).
- t = Espesor de tubería (m).

Velocidad del sonido para un medio de Liquido / Vapor:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho_m \cdot \left[ \frac{\alpha}{P} + \left(\frac{1-\alpha}{E_f}\right) + \left(\frac{d}{t \cdot E}\right) \right]}} \quad [\text{m/s}]$$

...

Donde:

- E = Modulo de Young del material de la tubería (Acero \_ E= 20601 e10 N/m<sup>2</sup>)
- Ef = Modulo de elasticidad del volumen del líquido (Agua\_ Ef = 21587 e08 N/m<sup>2</sup>)
- pm = Densidad del líquido - gas mezclado (kg/m<sup>3</sup>)
- α = fracción vacía: fracción del área de la sección transversal de la tubería que está ocupada por fase gaseosa.

- d = Diámetro interior de la tubería (m).
- t = Espesor de tubería (m).
- P = Presión (Pa)

Velocidad del sonido para un medio de gas:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} \quad [\text{m/s}]$$

Donde:

- $\gamma$  = Relación de calores específicos (Aire \_ K= 1.2)
- $\rho$  = Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )
- P = Presión (bar)

Un fluido que mana tiene el potencial de ejercer una fuerza debido a su presión y su momento, actuando en la dirección del flujo, para un cambio de presión instantáneo, la magnitud de las fuerzas de equilibrio en cada curva de la tubería se puede estimar como el producto del cambio de presión y la tubería de sección transversal zona.

La fuerza máxima de desbalanceo es:

$$F_u = \Delta P \cdot A \quad [\text{N}]$$

La fuerza de desbalanceo por metro se calcula de la siguiente manera:

$$F'_u = \frac{F_u \cdot DLF}{C \cdot t_c} \leq F_u \cdot DLF \quad [\text{N/m}]$$

Donde:

- $t_c$  = Tiempo de apertura de la válvula de relevo (s); si no se conociera el valor
- $t_c = 0.07$  s
- DLF = 2 Factor dinámico de carga.

La fuerza de reacción en cada codo, producida por las ondas de flujo, se calculará como el desbalance de fuerza por metro multiplicado por la longitud del carrete entre los codos, y tendrá un valor máximo igual a las fuerzas desbalanceadas ( $F_u$ ) multiplicada por DLF:

$$F_{ux} = F'_u \cdot L \leq F_u \cdot DLF \quad [N]$$

Donde:

- $L$  = Distancia de la tubería entre los codos por cada spool o tramo de tubería (m).

Como regla general para líneas del Flare, será considerar los siguientes valores para  $\rho v^2$ :

$$\emptyset < 20'' \quad \text{and} \quad \rho v^2 > 25 \text{ Kpa}$$

$$\emptyset \geq 20'' \quad \text{and} \quad \rho v^2 > 12 \text{ Kpa}$$

Los requisitos de análisis para cubrirán con la suficiente rigidez de la línea y así evitar las vibraciones, se debe cumplir con un mínimo de frecuencia natural de 4 Hz.

### 3.1.3.10. Soporte de Tubería.

Los soportes y las guías deben ser colocados de acuerdo al análisis de flexibilidad, como cuestión general, el espacio máximo para los soportes de tubería en las unidades de proceso no debe exceder los 20 pies (6 m). El tramo máximo debe estar limitado por la tensión máxima permisible en la tubería y con una deflexión máxima en el tramo medio de 13 mm.

Aunque el esfuerzo y las deflexiones permiten tramos más grandes, para las líneas tendidas en un Pipe Rack o corriendo a lo largo de estructuras, el tramo será normalmente limitado de acuerdo a los siguientes puntos con el fin de reducir y distribuir la carga en la estructura:

- Tubería de Diam. 2 "  $\leq \varnothing \leq 6$ " Tramo de soportes sobre rack 3m-6m
- Tubería de Diam. 8 "  $\leq \varnothing \leq 18$ " Tramo de soportes sobre Rack 6m-12m
- Tubería de Diam. 20 "  $\leq \varnothing \leq 36$ " Tramo de soportes sobre rack 12m-18m
- Tubería de Diam.  $\varnothing > 36$  " a calcular

Se considera que la tubería se llena con un líquido de gravedad específica igual a 1.0, durante la operación o la prueba hidrostática.

Para evitar una posible sobretensión local que pueda dañar la tubería como consecuencia del peso muerto, acciones adicionales a la tensión térmica o acciones de cualquier otra naturaleza que puedan existir; se deben tomar en consideración los siguientes puntos:

*Tabla 7: Silletas de Tuberías*

Diameter	Cradle or Saddle required
$D \leq 6"$	reinforcement shall be specifically determined <sup>(2)</sup>
$8" \leq D \leq 14"$	Cradle if $D/t + 3CA > 65$ <sup>(2)</sup>
$16" \leq D \leq 36"$	Cradle if $D/t < 95$ <sup>(1)(2)</sup>
	Saddle if $D/t \geq 95$
$D > 36"$	Saddle

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Donde:

- D= diámetro exterior de la tubería
- t= espesor mínimo de tubería cuando está completamente corroído
- CA= Corrosión Permissible

- (1) Se requieren silletas para  $D \geq 20$  " con un espacio de soporte de 12 m.
- (2) Se requieren cunas (medias cañas) para todas las tuberías no aisladas para minimizar la corrosión en todos los miembros de soporte

Los anclajes, guías, paros direccionales, resortes y demás soportes deben ser localizados y diseñados en base a los análisis de esfuerzos efectuados.

Se debe evitar colocar anclajes o paros direccionales sobre las estructuras existentes, hasta donde esto sea técnicamente posible; en caso contrario, se deben diseñar las tuberías de tal forma que las cargas resultantes que se tengan en esos puntos sean pequeñas.

La longitud de los patines o medias cañas debe ser lo suficientemente amplia para mantener el contacto con la estructura de apoyo aún en el caso en que la tubería presente grandes desplazamientos térmicos. Las dimensiones estándares más no limitativas para las silletas será de acuerdo a la siguiente tabla:

*Tabla 8: Longitud de Zapatas*

LONGITUD DE LA ZAPATA	DIAMETRO
300 MM	MENORES O IGUALES A 24"
500 MM	MAYORES O IGUALES A 26"

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Para la tubería de desfogue (Líneas de antorcha o de alivio), se deben diseñar "patines" (no medias cañas) con placas de teflón para disminuir las fuerzas de fricción entre el patín y la estructura de soporte.

Las tuberías sin aislamiento térmico (con excepción de desfogues) mayores de 2" de diámetro, deben ser provistas con "Placas de desgaste "(medias cañas) para apoyarse sobre las estructuras o soportes; la placa debe ser del mismo material que la tubería y con los siguientes espesores de acuerdo al diámetro:

*Tabla 9: Espesor de Placa de Refuerzo.*

DIAMETRO	ESPESOR DE PLACA
2" a 10"	6 mm
12" a 24"	10 mm
26" a 40"	12 mm
42" a 48"	15 mm

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

En general, solo se deben utilizar soportes de resorte cuando el desplazamiento vertical de la tubería en los puntos de apoyo, limite el uso de soportes rígidos, se deben dimensionar individualmente para las condiciones de operación máxima y deben ser especificados con acabado especial para un ambiente tipo 3 (ambiente salino y corrosivo).

El material de los soportes soldables directamente a las tuberías debe seleccionarse de acuerdo a las condiciones de servicio de la línea y debe ser de las mismas características y propiedades del material de la tubería.

Los puntos convenientes y recomendables de unión de los soportes con la tubería son los siguientes:

- Sobre la pared del tubo, evitando, hacerlo en accesorios tales como bridas, válvulas, etcétera.
- Sobre los tramos rectos de tubería, los cuáles deben preferirse respecto a los codos.
- Tan cerca como sea posible de concentraciones grandes de carga, tales como: tramos verticales largos, válvulas, filtros, medidores, etcétera.

Debe evitarse el ubicar los soportes en los cordones de soldadura de la tubería, en las conexiones de instrumentos, válvulas de control, etcétera.

Los sistemas de tuberías con pendiente (inclinación) para flujo por gravedad, deben soportarse de tal manera, que mantengan la inclinación de la tubería tanto en la posición de instalación como de operación.

### a) Espacio entre guías.

La separación máxima de guías para tuberías horizontales o verticales será considerada de la siguiente manera:

#### Guías (tuberías horizontales)

- Tuberías con diámetro  $\leq 4$  " Separación de guías sobre rack 6m.
- 6 "  $\leq$  tuberías con diámetro  $\leq 20$  " Separación de guías sobre rack 12m.
- Tuberías con diámetro.  $\geq 24$  " Separación de guías sobre rack 18m.

#### Guías (tuberías verticales)

Tabla 10: Tramo entre Guías Verticales

$\varnothing$ nom.	Vertical guide spacing [m]	
	Carbon & Alloy Steel Pipes	Stainless Steel Thin Wall Pipes
1"	3.6	3.6
1 1/2"	4.8	4.2
2"	5.7	4.8
3"	7	6
4"	8	7
6"	9	8.2
8"	12	9.7
10"	12.8	10.6
12"	13.4	11.2
$\geq 14$ "	14	11.2

Fuente: Empresa Grupo Cobra

La delimitación de tramos entre guías anterior es para tramos rectos de tubería y no se incluyen las guías que se usan para controlar los movimientos térmicos tales que podrían ocurrir en los lazos de expansión.

Se aumentará el tramo entre guías (para permitir una pequeña desviación de los cabezales para acomodar la expansión de los ramales) o reducir (cargas en las guías) según el juicio del ingeniero del analista de esfuerzos.

**b) Soportes tipo Resorte (Spring Supports).**

Cuando la tubería sufra movimientos fuera de los puntos fijos de soporte debido a las condiciones térmicas, los soportes tipo resorte variable o constante (contrapeso) deberán ser considerados. Los soportes tipo resorte deben diseñarse individualmente y de acuerdo a las necesidades del sistema en análisis.

**c) Fuerzas por Fricción.**

Se deben considerar las fuerzas de fricción en los cálculos de análisis de tensión. La fuerza de fricción no debe usarse como una herramienta para proporcionar una "ventaja" al diseño del sistema. Se deben usar los siguientes coeficientes de fricción

*Tabla 11: Coeficiente de Fricción*

<b>Superficie en contacto</b>	<b>Coeficiente de Fricción.</b>
Steel – Concrete	0.45
Steel – Steel	0.3
Stainless Steel - Lubrite (T≥200°C)	0.10
Stainless Steel – Teflon (T<200°C)	0.10
Teflón – Teflón	0.10
Stainless Steel - Stainless Steel (Mirror finish)	0.10

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

**3.1.4. Consideraciones Especiales de Flexibilidad**

Las siguientes consideraciones se tendrán en cuenta al estudiar diferentes áreas o sistemas específicos.

Para los cálculos que incluyen equipos sensibles como bombas, compresores, turbinas de vapor o líneas de transferencia; las guías y los paros axiales, los tres soportes antes de la conexión de la boquilla deben

considerarse con y sin cargas de fricción para lograr la peor condición posible al momento de la evaluación de cargas permisibles.

El objetivo de esta práctica es evitar la desalineación inesperada de los equipos rotativos y lograr un análisis más preciso para líneas críticas con condiciones de alta presión y temperatura.

#### **a) Tuberías de Bombas.**

El arreglo de tuberías para las bombas es comúnmente con una bomba en funcionamiento y otra en espera. En el caso de que esto ocurriera se deben considerar tres casos diferentes de carga:

- Bomba A Operando, Bomba B en Stand-by.
- Bomba B Operando, Bomba A en Stand-by.
- Bomba A & B operando; Únicamente para verificación de niveles de esfuerzo.

También el arreglo de bombas puede ser con 2 bombas operando y otra en Stand-by, en ese proceso se debe considerar 3 diferentes casos de evaluación:

- Bomba A & B Operando, Bomba C en Stand-by.
- Bomba A & C Operando, Bomba B en Stand-by.
- Bomba B & C Operando, Bomba A en Stand-by.

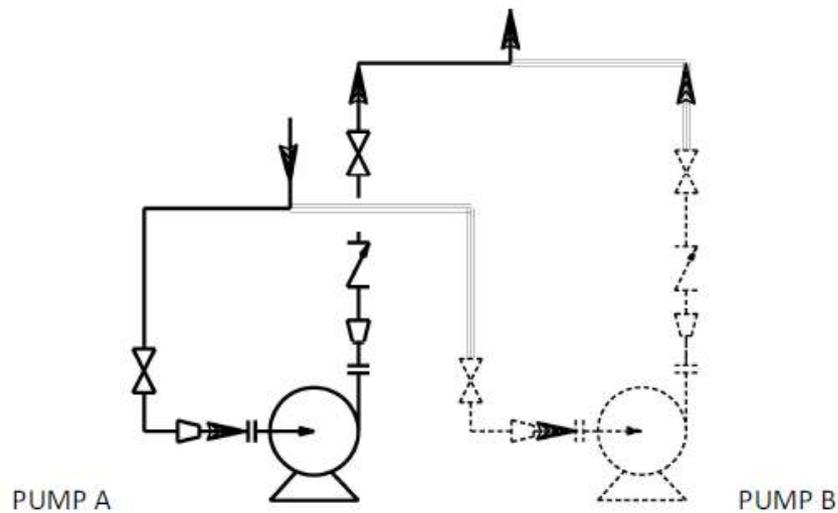
Para las bombas con derivación de calentamiento (derivación a la válvula de retención de descarga), las tuberías deben ser consideradas a la temperatura de operación del sistema. Esta condición se comprobará y se verá reflejada en los P&ID's.

Se debe tener en cuenta que el soporte de la bomba debe alinearse con el eje central de la boquilla o debajo de la línea central. En general, el primer soporte debe ser del tipo ajustable para facilitar la alineación.

Si se requieren soportes tipo resorte, la fuerza de reacción preestablecida se debe colocar con en el valor requerido cuando el sistema está lleno de líquido.

Para líneas que no tienen flujo (como tuberías de derivación conectadas a bombas de reserva), se debe considerar la siguiente temperatura para esa parte de la línea:

*Figura 9: Arreglo de Bombas*



*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

*Tabla 12: Delta de Temperatura en Bombas*

Line style	Temp. item	Insulated	Non-insulated	Traced
—	T1	Fluid operation temperature	Fluid operation temperature	Fluid operation temperature
—	T2	$T1 - 25\%(T1 - T3)$	$T1 - 50\%(T1 - T3)$	Fluid operation temperature or Maintenance temperature indicate on "Insulation and Painting Line List"
-----	T3	Ambient temperature	Ambient temperature	Fluid operation temperature or Maintenance temperature indicate on "Insulation and Painting Line List"

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

**b) Tuberías de Turbinas y Compresores Centrífugos.**

Los desplazamientos de la boquilla para la turbina y los compresores centrífugos deben obtenerse del proveedor.

Para las turbinas de vapor y los compresores centrífugos, el peso muerto de la tubería debe ser soportado principalmente por resortes o soportes de tubería. Cuando se haya realizado la selección del resorte y se hayan determinado todos los demás tipos y ubicaciones de restricción, se ejecutará un cálculo de "nozzle released". Esto es para asegurar que la alineación de la boquilla se encuentre dentro de las tolerancias acordadas.

El análisis de la tubería de la turbina incluirá, como caso adicional, una línea de derivación caliente con el gatillo y la válvula de mariposa cerrada. El equipo se debe considerar en frío.

Las restricciones principales cerca del compresor, protegiendo la boquilla, deben estar diseñadas para permitir el ajuste del sitio. Se prefieren soportes sin fricción.

Las líneas de descarga de la válvula de seguridad de presión deben soportarse de tal manera que la fuerza de alivio durante la descarga no imponga una carga que exceda la carga de boquilla permitida recomendada por el fabricante

### **c) Tuberías de Compresores Reciprocantes.**

La acción de la carrera de compresión del pistón causa pulsaciones de presión que inducen a la vibración, tanto en la tubería de succión como en la de descarga.

El alcance de la vibración y las líneas que se deben considerarse en el cálculo deberán ser identificadas claramente por proceso / proveedor y el especialista de flexibilidad para de esa forma cumplir con lo especificado en la norma API 618 apartado 7.9.4.2.3.

Para evitar que estas vibraciones se conviertan en un problema, los sistemas de tuberías deben ser afines para garantizar que su frecuencia sea más alta que la frecuencia crítica. La frecuencia crítica se acordará con el proveedor del compresor.

Para no alterar la frecuencia natural calculada de la línea, se tendrá en cuenta la rigidez de todos los soportes / estructuras en el análisis. La frecuencia natural del sistema de tuberías debe mantenerse por encima de 7 HZ como base.

Se recomienda llevar a cabo una simulación acústica y un estudio de respuesta mecánica por parte del vendedor del compresor. Para este fin, se debe proporcionar al proveedor un conjunto completo de isométricos de tubería que indiquen la posición, el tipo y la rigidez de los soportes.

Los soportes de tubería deben ubicarse de tal forma para evitar la frecuencia natural de los tramos de tubería, esto mediante el uso de anclaje, soportes tipo Hold Down, guías cuando sea necesario. Los soportes pueden ubicarse

cerca de las válvulas y cambios de dirección para reducir los efectos de pulsación.

El enrutamiento de las líneas debe ser lo más cercano posible al nivel del suelo para facilitar el diseño de soportes con la rigidez suficiente.

La fuerza generada por el pulso de presión se calcula mediante:

$F = \text{Presión de diseño} \times \text{Área interior de la tubería} \times \text{máx. \% De aumento de presión.}$

Esta fuerza solo ocurrirá en el cambio de dirección y se puede usar como base para el diseño estructural.

#### **d) Tuberías de Enfriadores de Aire.**

Por lo general, con los enfriadores de aire multi-bundle es ventajoso conectar el colector de entrada de tubería tan cerca como sea posible a las boquillas del intercambiador y permitir la expansión térmica para desplazar los haces de tubos lateralmente. Se debe proporcionar una separación adecuada entre los cabezales y el marco del soporte, la separación mínima requerida por API 661 es a menudo insuficiente y se debe verificar en una etapa temprana para así evitar posibles afectaciones en el equipo.

El fabricante del enfriador de aire debe tener la obligación de proporcionar almohadillas de baja fricción debajo de los haces de tubos como práctica para todos los paquetes múltiples.

En las unidades de "paso uniforme", la tubería de salida debe tener la suficiente flexibilidad para facilitar la expansión lateral de los haces del enfriador de aire. Cuando la diferencia de expansión entre los pasos es demasiado grande, al cabezal se proporcionará en dos partes independientes. El cabezal de entrada superior se desliza sobre el cabezal de salida inferior.

En este caso, tanto la tubería de entrada como la de salida se pueden diseñar lo más cerca posible de las boquillas del intercambiador.

Si las válvulas de aislamiento fueran ubicadas en cada paquete de enfriador de aire, se considerará un paquete en espera y las demás en operación. El departamento de proceso debe asesorar sobre las diferentes posibilidades de operación para el sistema a evaluar.

Es muy común que en las tuberías conectadas a equipos enfriadores de aire se presenten condiciones como la despresurización o la falla de energía, donde las temperaturas son mucho más altas que durante el funcionamiento normal. Por tal motivo estas condiciones se deben indicar en la lista de líneas de proceso y se considerarán en los cálculos de esfuerzos.

Las plataformas y las estructuras para los enfriadores de aire son habitualmente proporcionadas por el proveedor del enfriador de aire.

Si no se tuviera una estructura diseñada para el proveedor, entonces será necesario proporcionar suficiente espacio entre las bahías para introducir estructuras con el fin de soportar el enfriador de aire de entrada / salida de las tuberías.

Es muy importante indicar las cargas de soporte de tubería en plataformas y estructura tan pronto como sea posible para así contemplar el espacio necesario para los soportes principales / auxiliares. Si las cargas finales no se pudieran dar se debe realizar un cálculo preliminar del peso de los soportes y tuberías requerido para así de esa forma mitigar posibles modificaciones a las estructuras.

#### **e) Recipientes a Presión e Intercambiadores de Calor.**

Las tuberías para los recipientes a presión y los intercambiadores de carcasa y tubo se analizarán para todos los casos posibles, incluidos el arranque, el vaciado y el funcionamiento normal.

La flexibilidad de la boquilla, entre la boquilla y la carcasa del recipiente se puede usar para reducir las cargas en la misma.

El extremo fijo de los intercambiadores de calor (Shell & Tube) y tanques horizontales lo determinara el departamento de Análisis de Esfuerzo.

Los desplazamientos de las boquillas se deben considerar en el análisis de esfuerzos. Estos desplazamientos se calcularán para todo el equipo.

Para los intercambiadores de calor, se consideran las temperaturas medias de las temperaturas de entrada y salida para cada lado de la carcasa y el tubo.

Para las columnas, donde hay diferentes flujos de entrada y salida, se supondrá que la temperatura de las líneas que salen del equipo son las más importantes para determinar el perfil de temperatura. Solo cuando el flujo de entrada sea de alguna magnitud mayor, se deberá considerar al determinar el perfil de temperatura del equipo.

La expansión del faldón se calculará como la temperatura promedio entre el ambiente y la temperatura en la línea tangente del fondo del equipo multiplicada por un factor de reducción apropiado, se deberá anexar el cálculo de la temperatura del faldón en el reporte de flexibilidad.

#### **f) Tuberías a Tanques de Almacenamiento.**

La diferencia de asentamientos es un problema importante en los tanques de almacenamiento. Antes que la tubería, los datos de diseño para el asentamiento en las paredes del tanque (no en el centro del tanque) se obtendrán del Departamento Civil en los siguientes puntos:

- Cantidad de asentamiento que ocurre durante la construcción y la prueba hidráulica.
- Cuántos de estos asentamientos son "elástico" y cuántos son permanente.
- La cantidad de asentamientos se producirán a lo largo del tiempo.

- ¿Habrá algún asentamiento elástico debido al llenado y vaciado del tanque durante el funcionamiento normal del servicio?

Cuando se llenan los tanques de almacenamiento, las paredes se abomban y las boquillas ubicadas en el curso inferior del tanque giran hacia abajo. Esta rotación se calculará de acuerdo con API 650, pero se considerará insignificante para tanques con un diámetro menor a 36 m.

Las tuberías hacia y desde los tanques se deben rotar 90° tan cerca de la pared del tanque como sea práctico. Esto reduce la cantidad de desplazamiento vertical de la tubería debido al abultamiento del tanque, y también reduce el momento longitudinal que actúa sobre el tanque. Sin embargo, aumentará el momento de torsión, pero esto tiene poca importancia ya que de acuerdo con API 650, no hay un momento de torsión máximo permitido.

Los efectos combinados del asentamiento y protuberancia del tanque pueden sugerir apoyar la tubería con resortes. El uso de resortes o de las juntas de expansión debe estar limitado debido a la magnitud del asentamiento o a la posibilidad de que la línea se vacíe y se aplique una carga ascendente excesiva a la boquilla del tanque.

#### **g) Equipos Paquete.**

El proveedor del paquete será responsable de verificar la flexibilidad de la tubería suministrada. La tubería debe ser sostenida permanentemente por el proveedor.

En general, las líneas del paquete se agruparán al límite establecido de la batería y el proveedor deberá anclar todas las líneas cercanas a este punto. Las tuberías y soportes de deslizamiento deben diseñarse de modo que todas las tensiones y movimientos de las tuberías se absorban dentro del patín y no se transfieran cargas a la tubería de acoplamiento.

El proveedor del paquete será responsable de garantizar que las cargas de la boquilla en las boquillas del equipo estén por debajo de lo permitido.

#### **h) Juego de Válvulas de Derivación.**

Debido al posible cambio de presión y a las vibraciones a través de los juegos de válvulas de control, se detendrán y se guiarán en un extremo y se guiarán en el otro.

El análisis de esfuerzos considerará que la válvula de derivación está cerrada. La temperatura de la línea de derivación será:

- 75% de la temperatura de funcionamiento para líneas aisladas
- 50% de la temperatura de funcionamiento para líneas no aisladas
- 75% de la temperatura de trazado de vapor para líneas trazadas

#### **i) Resortes.**

Los soportes tipo resorte generalmente deben ser de tipo variable, y se usan para resolver situaciones donde restringir los movimientos verticales con soportes sólidos daría lugar a reacciones o tensiones inaceptables. Para una determinación adecuada de las cargas del resorte, se deben considerar todos los pesos de los componentes de tubería.

Los resortes deben ser adecuados y el recorrido debe verificarse para todas las condiciones térmicas y no solo para el funcionamiento normal.

El porcentaje de variación de carga no debe exceder el 25%. Excepto para equipos rotativos (bombas, turbinas, compresores centrífugos) donde la variabilidad debe ser del 10%.

Para las líneas que contienen líquido (no aplicable en las bombas), la fuerza de reacción preestablecida se establece en el valor requerido cuando el sistema se llena de líquido. Antes de la puesta en marcha o durante otras condiciones de funcionamiento como la salida de vapor, esta reacción podría aplicarse a un sistema vacío.

Este escenario se debe verificar y si las cargas o esfuerzos no pueden aceptar dicha carga, el resorte se pre ajustará en un valor entre el sistema de tuberías que esté lleno y vacío.

Como regla general, no se recomienda instalar más de un resorte consecutivamente en un sistema de tuberías. Si se llegaran a instalar más de un resorte, el sistema se volvería inestable porque es muy difícil determinar el peso exacto de todos los componentes. Cualquier variación en los pesos daría como resultado desplazamientos muy diferentes a las cargas calculadas e imprevistas en otros soportes provocando sobre esfuerzos en las boquillas.

Cuando los movimientos verticales excedan los 25 mm, para limitar el incremento de cargas en soportes o equipos adyacentes debido a la variabilidad de la carga, se tendrá en cuenta el uso de soportes de carga constante. Sin embargo, no habrá límites en el uso del soporte de carga constante, cuando la variabilidad de la carga se considere peligrosa para el equipo. El recorrido total mínimo para los soportes de soporte constantes será igual a 25 mm para un recorrido real de hasta 125 mm y un 20% para viajes reales superiores a 125 mm. Es decir. En ningún caso la diferencia entre el recorrido real y total será inferior a 25 mm.

El analista de esfuerzos deberá tener en cuenta los movimientos horizontales de las tuberías en la ubicación del soporte del resorte para proporcionar un funcionamiento correcto del resorte y evitar interferencias o choques con las tuberías vecinas.

**j) Amortiguadores.**

Se debe considerar el uso de tales componentes para permitir un desplazamiento de tipo térmico lento y resistir rápidos movimientos debido a condiciones ocasionales tales como terremoto, golpe de ariete, etcétera., el amortiguador debe ser de tipo hidráulico sin depósito externo.

En el caso de ciclos de carga elevados, se debe considerar la resistencia al fenómeno de fatiga (mediante la selección de un amortiguador de tamaño mayor que el necesario). Debido a la sensibilidad del artículo, su costo de instalación, prueba y requisitos de inspección continua, la aplicación de tal restricción debe ser minimizada.

#### **k) Juntas de Expansión.**

Se deben evitar el uso de las juntas de expansión. Solo en los casos donde no es viable aumentar la flexibilidad de una tubería para reducir el rango de tensiones y / o cargas de terminación a un nivel aceptable, el ingeniero especialista en esfuerzos puede especificar el uso de fuelles o juntas de expansión como una solución de diseño.

Si se encuentra que se requiere una junta de expansión, se deben identificar los requisitos técnicos para verificar la disposición de este diseño (temperaturas, fluido, corrosión, presión, etcétera.)

#### **3.1.5. Cargas Permisibles en Equipos**

La base de diseño para las cargas permisibles de tubería en diferentes boquillas de equipos de planta debe ser la establecida en esta especificación.

Los Códigos aplicables formarán base para calcular las cargas de tubería debido a las cargas térmicas, de peso muerto, sísmicas y de impulso cuando corresponda.

Las cargas mínimas permitidas en los equipos que se muestran en esta sección se incluirán como un requisito inicial en la solicitud de oferta del equipo. Por lo tanto, los departamentos involucrados en el diseño del equipo deberían estar informados sobre estas cargas en una etapa temprana del proyecto.

**a) Bombas.**

Todas las bombas API deben tener como mínimo las cargas permitidas publicadas en el estándar API 610 como se muestra a continuación:

*Tabla 13: Cargas Permisibles en Boquillas de Bombas*

TABLE I: ALLOWABLE NOZZLE LOADS FOR PUMPS	RATING			
	150#	300#	600#-900#	1500#-2500#
	2 x API 610	2 x API 610	2 x API 610	3 x API 610

*Fuentes: Empresa Grupo Cobra*

Los dibujos de los proveedores se deben revisar para verificar que cumplan con los valores aquí mencionados.

Para las bombas en stand-by las cargas permisibles deben ser 1.33 veces los valores tabulados de la tabla anterior, para así poder garantizar la integridad mecánica del equipo.

Durante la condición ocasional de sismo, las cargas permisibles deben ser 1.33 veces los valores tabulados de la tabla anterior.

Durante la condición SO, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores tabulados de la tabla anterior.

Para las bombas que no sean API (ASME B73.1, ASME B73.2, ASME B73.3M), el departamento mecánico deberá proporcionar al departamento de esfuerzos las cargas máximas permisibles que se utilizarán.

Para las bombas en stand-by, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores provistos por el departamento mecánico para las bombas que no son API (ASME B73.1, ASME B73.2).

Durante la condición ocasional de sismo, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores proporcionados por el departamento mecánico para las bombas que no son API (ASME B73.1, ASME B73.2).

Durante la condición SO, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores proporcionados por el departamento mecánico para las bombas que no son API (ASME B73.1, ASME B73.2).

Las bombas API del estándar 676 deben tener como mínimo las cargas permitidas publicadas en los valores estándar API 676, tabla 2.

Se debe usar la temperatura de operación normal para cumplir con la carga de la boquilla del equipo rotativo para cargas sísmicas.

#### **b) Turbinas de Vapor.**

Las fuerzas y los momentos permisibles que pueden aplicarse a las boquillas de la turbina mediante la tubería de vapor deben ser al menos 3,0 veces los valores permitidos por la Publicación NEMA SM 23.

Durante la condición de terremoto, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente=  $1.33 * (3 * \text{NEMA SM 23})$ , para garantizar la integridad mecánica del equipo.

Durante SO, las cargas permisibles deben ser 1.33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1.33 * (3 * \text{NEMA SM 23})$ .

Los dibujos de los proveedores se revisarán para verificar que cumplan con los valores aquí mencionados.

Se debe usar la temperatura de operación normal para cumplir con la carga de la boquilla del equipo rotativo para cargas sísmicas.

#### **c) Enfriadores de Aire.**

El vendedor deberá prever el movimiento lateral de los haces de tubos del intercambiador en ambas direcciones laterales de la siguiente manera, a menos que el comprador y el vendedor acuerden un valor diferente:

- Enfriador de aire con 2 paquetes de al menos  $\pm 13$  mm en AMBAS direcciones.

- Enfriador de aire con 4 paquetes de al menos  $\pm 25$  mm en AMBAS direcciones.
- Enfriador de aire con 8 paquetes de al menos  $\pm 50$  mm en AMBAS direcciones.

Las fuerzas y momentos permitidos aplicados a las boquillas del intercambiador de calor refrigerado por aire deben ser al menos 3,0 veces los valores indicados en API STD 661.

Durante la condición de terremoto, las cargas permitidas deben ser 1,33 vez los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1,33 * (3 * \text{API 661})$ .

Durante la condición SO, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1,33 * (3 * \text{API 661})$ .

Los dibujos de los proveedores se revisarán para verificar que cumplan con los valores aquí mencionados.

#### **d) Generadores de vapor y Calentadores.**

Las fuerzas y momentos permisibles en las boquillas deben ser al menos 4.0 veces los valores establecidos en API 560. El fabricante debe indicar el desplazamiento impuesto / permitido de los tubos en los dibujos del Equipo.

Durante la condición de terremoto, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1,33 * (4 * \text{API 560})$ .

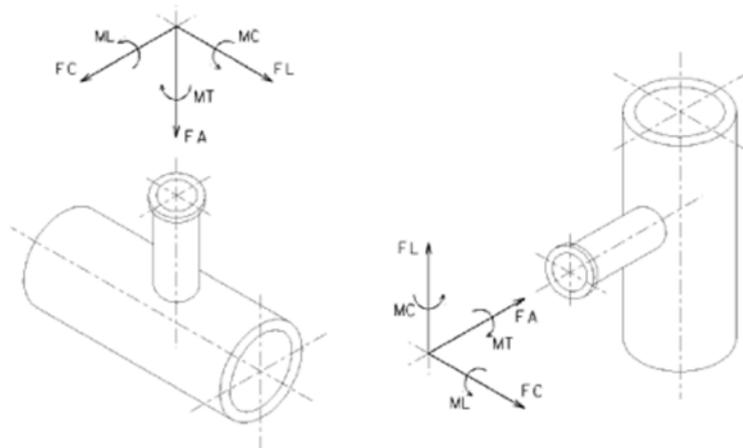
Durante la condición SO, las cargas permitidas deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1,33 * (4 * \text{API 560})$ .

Los dibujos de los proveedores se revisarán para verificar que cumplan con los valores aquí mencionados.

**e) Recipientes a Presión e Intercambiadores de Calor de Carcaza y Tubo.**

El proveedor del equipo debe diseñar las boquillas previendo las cargas nominales de la tubería. Cada boquilla en condiciones de corrosión deberá ser orientada según el boceto de referencia:

*Figura 10: Orientación de boquillas en Recipientes a presión*



*Fuente: Empres Grupo Cobra*

Todas las fuerzas y momentos actúan en la unión de la boquilla y la carcasa.

Durante la condición ocasional de sismo, las cargas permisibles deben ser 1.33 veces de las marcadas por el proveedor, para garantizar la integridad mecánica del equipo.

Durante la condición SO, las cargas permitidas serán 1,33 veces de las marcadas por el proveedor.

Las cargas que resulten mayores a las entregadas preliminarmente al proveedor deberán comunicarse al vendedor lo más pronto posible para su aprobación. Las fuerzas y momentos aprobados por el vendedor se especificarán en el cálculo de esfuerzos y la información será compartida con el departamento mecánico.

#### **f) Tanques de Almacenamiento.**

Las fuerzas y momentos permisibles en las boquillas deben ser como mínimo los establecidos en API 650.

Durante la condición ocasional de sismo, las cargas permisibles deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1.33 * (\text{API 650})$ , para garantizar la integridad mecánica del equipo.

Durante la condición SO, las cargas permitidas deben ser 1,33 veces los valores mínimos mencionados anteriormente:  $1,33 * (\text{API 650})$ .

Los dibujos de los proveedores se revisarán para verificar que cumplan con los valores aquí mencionados.

#### **g) Equipos Paquete.**

En el caso de que el proveedor no enviara sus cargas permisibles del equipo paquete, las fuerzas y los momentos calculados en las boquillas para los equipos paquete deben enviarse al fabricante para su revisión y aprobación.

Como valores de referencia se pueden tomar los indicados para un recipiente sujeto a presión. Esta metodología también se puede emplear para los equipos misceláneos tales como: silenciadores, filtros, ejectores, etcétera.

### **3.1.6. Cálculo de Esfuerzo con Software**

#### **a) Características del software**

El software para modelado y análisis de esfuerzos de la tubería será el CAESAR II.

Básicamente la elección del software se basó en las siguientes características:

- CAESAR II posee un entorno amigable para el ingreso de datos para definir el modelado de la configuración del sistema de tuberías.

- CAESAR II posee una interface gráfica que permite la modificación de parámetros en cualquier tramo del sistema de tuberías.
- CAESAR II posee una base de datos que contiene características de tuberías y componentes útiles en el modelamiento del sistema.
- CAESAR II tiene una mejor estrategia de cálculo de casos de carga que otros softwares, ya que sus cálculos se basan en el caso de carga completo tomado como una matriz completa en lugar de la suma matemática de componentes de casos separados.
- CAESAR II realiza los análisis de los sistemas de tuberías en base a códigos y estándares internacionales incluidos en sus bases de datos.
- CAESAR II es el software ampliamente usado para este tipo de cálculos.
- CAESAR II posee un mejor generador de informes de salida.
- Debido a que el software para dibujar y modelar es el SmartPlant, existe la necesidad de utilizar un software de análisis de esfuerzo compatible, siendo el CAESAR II el que cumple con dichos requisitos.

## b) Unidades de medida

*Figura 11: Unidades de medida*

Review Current Units							
ITEM	Internal Units	Constant	User Units	ITEM	Internal Units	Constant	User Units
Length	inches	× 25.4	= mm.	Fluid Den.	lbs./cu.in. ×	0.02768	= kg./cu.cm.
Force	pounds	× 4.448	= N.	Transl.	lbs./in. ×	1.7512	= N./cm.
Mass-dynamics	pounds	× 0.4536	= kg.	Rotl. Stiff.	in-lb/deg ×	0.11298	= N.m./deg
Moment-input	in.-lb.	× 0.11298	= N.m.	Unif. Load	lb./in. ×	1.7512	= N./cm.
Moment-output	in.-lb.	× 0.11298	= N.m.	G Load	g's ×	1	= g's
Stress	lbs./sq.in.	× 6.8946	= KPa	Wind Load	lbs./sq.in. ×	6.8946	= KPa
Temp. Scale	degrees F	× 0.5556	= C	Elevation	inches ×	0.0254	= m.
Pressure	psig	× 6.8946	= KPa	Cmpd Lng	inches ×	25.4	= mm.
Elastic Modulus	lbs./sq.in.	× 6.8946	= KPa	Diameter	inches ×	25.4	= mm.
Pipe Density	lbs./cu.in.	× 0.02768	= kg./cu.cm.	Thickness	inches ×	25.4	= mm.
Insulation Den.	lbs./cu.in.	× 0.02768	= kg./cu.cm.	Nominals			= ON
Units File Label:	EST						

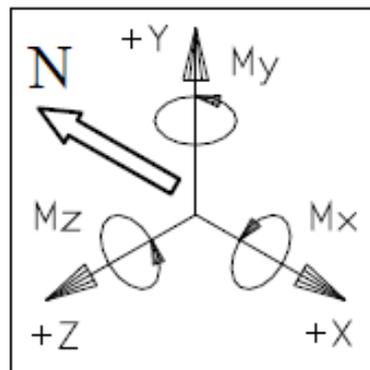
*Fuente: Software CAESAR II*

### c) Sistema de Coordenadas.

El sistema de coordenadas se establece automáticamente con el eje Y = vertical

El Norte debe estar posicionado en la parte superior izquierda y alineado con el eje -X.

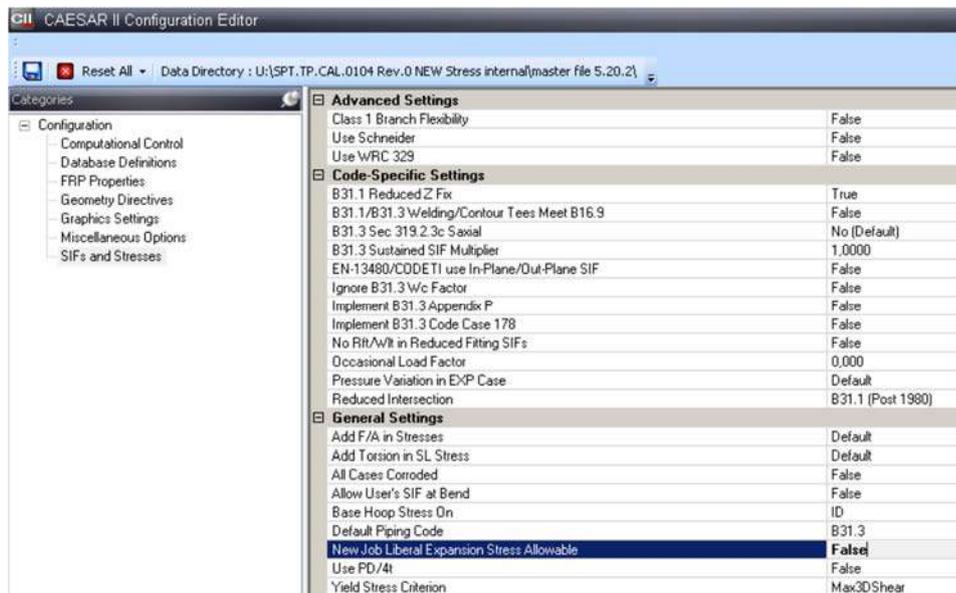
Figura 12: Sistema de Coordenadas



Fuente: Empresa Grupo Cobra

### d) Configuración: Sif's y Stresses

Figura 13: SIF y Stresses



Fuente: Software CAESAR II

### **e) Isométricos de Esfuerzos.**

Los cálculos deberán estar respaldados por unos sketches de esfuerzos donde se muestren: elevaciones, distancias, nodos de cálculo, elementos, restricciones, distancia desde la boquilla al equipo y desplazamientos relativos, etcétera.

- Los sketches de esfuerzos se realizarán sobre los isométricos de tubería.
- Los sketches de esfuerzos sobre los isométricos de tubería incluirán lo siguiente:
- Cuando se revisan los sketches de esfuerzos, deben mostrar claramente el nuevo número de revisión en cada hoja.
- Notas de “Pendiente” y “Notas generales”
- Referencias de otros cálculos de esfuerzo, donde se puedan apreciar claramente el alcance de cada cálculo.
- Las tuberías futuras, cuando corresponda, se modelarán para demostrar que el diseño actual de la tubería no estará sobrecargado.
- Cambios de ruta en las tuberías si se llegaran a ser necesarias.
- Cargas significativas sobre los soportes de tubería.
- Desplazamientos de la tubería, donde sean mayores de 50 mm.
- Ubicación y tipos de soportes para el correcto funcionamiento de la línea.
- Los soportes tipo resorte (spring supports) deben identificarse con un número de código, una carga operativa y un desplazamiento. El ingeniero de esfuerzos completará la hoja de datos del resorte.
- Los puntales rígidos (rigid struts) deben identificarse con un número de código y una carga operativa.
- Ubicación de placas deslizantes con bajo coeficiente de fricción.
- Dimensiones del equipo que muestran claramente la ubicación del extremo fijo y los desplazamientos en las boquillas.
- Resumen de los esfuerzos admisibles calculados en la boquilla.
- Las condiciones del proceso utilizadas en el cálculo.

- Placas de refuerzo sobre los muñones de tubería, refuerzos en conexiones y donde sean requeridos.

### 3.1.7. Casos de Carga

Como mínimo los siguientes casos de carga deberán analizarse:

- **Operación:** Deberá incluir los efectos de la presión (máxima/mínima y normal), temperaturas de operación (máxima y normal), peso de la tubería incluyendo aislamiento, peso del fluido, peso del relleno de tierra, asentamientos, desplazamientos de boquillas, etcétera. Típicamente este caso de carga se utiliza para establecer que las cargas en boquillas de equipos y soportes están dentro de los límites permisibles.
- **Paro de planta:** Deberá incluir los siguientes parámetros para las líneas de succión y descarga: presión máxima, temperatura máxima del sistema de tuberías, peso de la tubería incluyendo aislamiento, peso del fluido, asentamientos, desplazamientos en boquillas, etcétera. Este caso de carga podría producir las cargas más altas en boquillas de los equipos.
- **Peso:** Deberá incluir sólo los efectos de la presión (máxima/mínima, diseño), peso de la tubería incluyendo aislamiento, peso del fluido, peso del relleno de tierra y asentamientos. Este caso se usará principalmente para evaluar que los esfuerzos debido al peso y presión de la tubería están dentro de los límites fijados en el código respectivo.
- **Ocasional:** Deberá incluir el caso Operación junto con los efectos de fuerzas por viento, sismo y desfogue de válvulas de alivio. Deberá hacerse el análisis de manera independiente para cada uno de estos efectos ocasionales. Este caso indica la existencia de fuerzas adicionales aplicadas a las estructuras a través de los soportes, guías, boquillas y paros. Los resultados de este caso se utilizan para verificar los requerimientos del código para esfuerzos ocasionales.
- **Prueba hidráulica:** Este caso determina los esfuerzos que se presentan durante la prueba hidrostática, así como las cargas en los soportes.

- **Slug Flow:** Un slug flow es una condición en donde al fluido se le forman grandes burbujas de gas, lo que hace que fuerzas ocasionales actúen dentro de la tubería generando mayores cargas de reacción.
- **Fuerzas de PSV:** Caso de estudio que considera las fuerzas de reacción ocasionadas por la apertura de las válvulas de alivio PSV
- **Sismo:** Caso ocasional de esfuerzos que considera un efecto sísmico en el sistema.
- **Viento:** Caso ocasional de esfuerzos que considera un efecto de viento en el sistema.
- **Flujo Bifásico:** Caso de estudio que considera las fuerzas ocasionadas por un fluido a dos fases en los cambios de dirección de la tubería.

Todas las cargas se analizarán caso por caso.

Las tensiones térmicas se calcularán considerando todos los rangos de temperatura. Los casos de carga a analizar para las condiciones de carga descritas son ejemplos de los casos más comunes más no limitativos.

Los casos de carga donde se realizará la verificación de esfuerzos serán:

- **HYD:** Caso de Prueba Hidrostática.
- **SUS:** Caso de Sostenido.
- **OCC:** Caso de cargas ocasionales (Sismo, Viento, PSV, etcétera.)
- **EXP:** Caso de expansión térmica.

Los casos de carga donde se realizará la verificación de las cargas en los soportes serán:

- **HYD:** Caso de Prueba Hidrostática.
- **OPE:** Caso de Operación Normal.
- **OCC:** Caso de cargas ocasionales (Sismo, Viento, PSV, etcétera.)

Los casos de carga donde se realizará la verificación las cargas en las boquillas serán:

- **OPE:** Caso de Operación Normal.

**a) Casos Generales de Carga (Sismo y Viento no son considerados)**

*Tabla 14: Casos Generales de Carga*

	Load conditions	Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Earthquake	
4	Wind	
5	PSV	
6	Temporary closed lines	

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Casos de carga a analizar

*Tabla 15: Combinaciones por Casos Generales de Carga*

	Tipo Carga	Descripción	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S
OPE.	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L06	Caso: Condicion Alternativa - Diseño - Ope. Normal	OPE	W+P1+T2+D2+H		D/L
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
SUS.	L08	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req. Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S
	L09	Max SUS: L05, L07, L08	SUS	L05, L07, L08	Max	D/L
EXP.	L10	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L08	Algebraico	D/S
	L11	Caso: Cargas Expansion en condicion diseño	EXP	L06-L08	Algebraico	D/S

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

**b) Cargas de Sismo y Viento**

*Tabla 16: Cargas de Sismo y Viento*

	Load conditions	Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Earthquake	✓
4	Wind	✓

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

## Casos de carga a analizar

Tabla 17: Combinaciones por Cargas de Sismo y Viento

	Tipo Carga	Descripcion	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis	
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active	
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active	
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S	
OPERACION	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L	
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S	
	L06	Caso: Condicion Alternativa - Diseño	OPE	W+P1+T2+D2+H		D/L	
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S	
	L08	Caso: Operación normal + "Sismo +X + Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H+U1+U2		D/L	
	L09	Caso: Operación normal + "Sismo -X + Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H-U1+U2		D/L	
	L10	Caso: Operación normal + "Sismo +X - Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H+U1-U2		D/L	
	L11	Caso: Operación normal + "Sismo -X - Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H-U1-U2		D/L	
	L12	Caso: Operación normal + "Sismo +Z + Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H+U2+U3		D/L	
	L13	Caso: Operación normal + "Sismo -Z + Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H-U2+U3		D/L	
	L14	Caso: Operación normal + "Sismo +Z - Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H+U2-U3		D/L	
	L15	Caso: Operación normal + "Sismo -Z - Y"	OPE	W+T1+P1+D1+H-U2-U3		D/L	
	L16	Caso: Operación normal + WIN1	OPE	W+T1+P1+D1+H+WIN1		D/L	
	L17	Caso: Operación normal - WIN1	OPE	W+T1+P1+D1+H-WIN1		D/L	
	L18	Caso: Operación normal + WIN2	OPE	W+T1+P1+D1+H+WIN2		D/L	
L19	Caso: Operación normal - WIN2	OPE	W+T1+P1+D1+H-WIN2		D/L		
SUS.	L20	Caso: Ope Normal+ Sismo en +X	OPE	W+P1+T1+D1+H+U1		D/L	
	L21	Caso: Ope Normal+ Sismo en -X	OPE	W+P1+T1+D1+H-U1		D/L	
	L22	Caso: Ope Normal+ Sismo en +Y	OPE	W+P1+T1+D1+H+U2		D/L	
	L23	Caso: Ope Normal+ Sismo en -Y	OPE	W+P1+T1+D1+H-U2		D/L	
	L24	Caso: Ope Normal+ Sismo en +Z	OPE	W+P1+T1+D1+H+U3		D/L	
	L25	Caso: Ope Normal+ Sismo en -Z	OPE	W+P1+T1+D1+H-U3		D/L	
	L26	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req, Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S	
	L27	Max SUS: L05,L07,L26	SUS	L05,L07,L26	Max	D/L	
	EXP.	L28	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L26	Algebraico	D/S
		L29	Caso: Cargas Expansion en condicion Diseño	EXP	L06-L26	Algebraico	D/S
OCACIONAL	L30	Caso: Fuerza de Viento Inducida +X	OCC	L16-L04	Algebraico	Not Active	
	L31	Caso: Fuerza de Viento Inducida -X	OCC	L17-L04	Algebraico	Not Active	
	L32	Caso: Fuerza de Viento Inducida +Z	OCC	L18-L04	Algebraico	Not Active	
	L33	Caso: Fuerza de Viento Inducida -Z	OCC	L19-L04	Algebraico	Not Active	
	L34	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ X".	OCC	L20-L04	Algebraico	Not Active	
	L35	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- X".	OCC	L21-L04	Algebraico	Not Active	
	L36	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ Y".	OCC	L22-L04	Algebraico	Not Active	
	L37	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- Y".	OCC	L23-L04	Algebraico	Not Active	
	L38	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ Z".	OCC	L24-L04	Algebraico	Not Active	
	L39	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- Z".	OCC	L25-L04	Algebraico	Not Active	
	L40	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ X & +Y".	OCC	L36+L34	SRSS	Not Active	
	L41	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- X & +Y".	OCC	L36+L35	SRSS	Not Active	
	L42	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ X & -Y".	OCC	L37+L34	SRSS	Not Active	
	L43	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- X & -Y".	OCC	L37+L35	SRSS	Not Active	
	L44	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ Z & +Y".	OCC	L36+L38	SRSS	Not Active	
	L45	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- Z & +Y".	OCC	L36+L39	SRSS	Not Active	
	L46	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "+ Z & -Y".	OCC	L37+L38	SRSS	Not Active	
	L47	Caso: Fuerzas horizontales sismo inducidas "- Z & -Y".	OCC	L37+L39	SRSS	Not Active	
	L48	Caso: Cargas SUS con fuerzas de WIN1 inducidas "+X".	OCC	L27+L30	Scalar	S	
	L49	Caso: Cargas SUS con fuerzas de WIN1 inducidas "-X".	OCC	L27+L31	Scalar	S	
	L50	Caso: Cargas SUS con fuerzas de WIN1 inducidas "+Z".	OCC	L27+L32	Scalar	S	
	L51	Caso: Cargas SUS con fuerzas de WIN1 inducidas "-Z".	OCC	L27+L33	Scalar	S	
	L52	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "+X & +Y".	OCC	L27+L40	Scalar	S	
	L53	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "-X & +Y".	OCC	L27+L41	Scalar	S	
L54	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "+X & -Y".	OCC	L27+L42	Scalar	S		
L55	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "-X & -Y".	OCC	L27+L43	Scalar	S		
L56	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "+Z & +Y".	OCC	L27+L44	Scalar	S		
L57	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "-Z & +Y".	OCC	L27+L45	Scalar	S		
L58	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "+Z & -Y".	OCC	L27+L46	Scalar	S		
L59	Caso: Cargas SUS con fuerzas Sismica inducidas "-Z & -Y".	OCC	L27+L47	Scalar	S		
L60	Máxima CARGA OCACIONAL	OPE	L8, L09, L10, L11, L12, L13, L14, L15	Max	D/L		

Fuente: Empresa Grupo Cobra

### c) Cargas debido a PSV

Se debe crear un caso de carga ocasional dedicado (OCC) para tener en cuenta las cargas debidas a la contrapresión causada por la apertura de las válvulas de seguridad (PSV). Como se muestra a continuación:

*Tabla 18: Cargas debido a PSV*

Load conditions		Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Earthquake	
4	Wind	
5	PSV	✓
6	Temporary closed lines	

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Casos de carga a analizar

*Tabla 19: Combinaciones de Cargas debido a PSV*

	Tipo Carga	Descripcion	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S
OPERACIÓN	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L06	Caso: Condicion Alternativa - Diseño - Ope. Normal	OPE	W+P1+T2+D2+H		D/L
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L08	Caso: Condicion Alternativa - Diseño - Ope. Normal + Vlv Seguridad	OPE	W+P1+T1+D2+H+H1		D/L
SUS.	L09	Caso: Alternativo L08	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L10	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req, Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S
EXP.	L11	Max SUS: L05,L07,L09,L10	SUS	L05,L07,L09,L10	MAX	D/L
	L12	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L10	Algebraico	D/S
	L13	Caso: Cargas Expansion en condicion Diseño	EXP	L06-L10	Algebraico	D/S
OCC	L14	Caso: Cargas Expansion vlv Seguridad	EXP	L08-L10	Algebraico	D/S
	L15	Caso: Fuerza vlv Seguridad Inducida	OCC	L08-L04	Algebraico	Not Active
	L16	Caso: Fuerzas Ocasiones impuestas por la descarga de la vlv Seguridad	OCC	L11+L15	Escalar	D/L/S

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Dependiendo de los casos mencionados en el apartado anterior las cargas debido a las válvulas de seguridad se pueden calcular de acuerdo a la siguiente formula tomada del libro "Pipe Stress Engineering" By Peng:

$$F = P1 * A * Cf \quad (N)$$

Where:

P1 is the Design Pressure of upstream line (bar)

A is the PSV orifice area (cm<sup>2</sup>) – see table

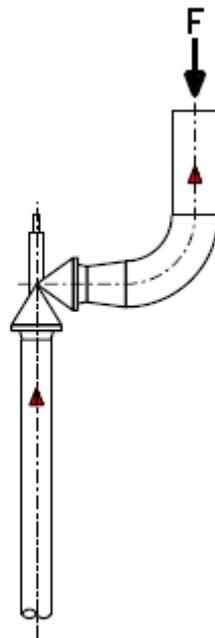
Cf = 13 is the reaction force coefficient

Tabla 20: Orificios para PSV

PSV Orifice		PSV Orifice	
Size	Area (cm <sup>2</sup> )	Size	Area (cm <sup>2</sup> )
-	0,5	Q	71
D	0,7	R	103
E	1,3	T	168
F	2	T <sub>2</sub>	180
G	3	V	272
H	5	W	392
J	8	Y	533
	12	Z	587
L	18	Z <sub>2</sub>	702
M	23	AA	882
N	28	BB	1089
P	41	BB <sub>2</sub>	1194

Fuente: Empresa Grupo Cobra

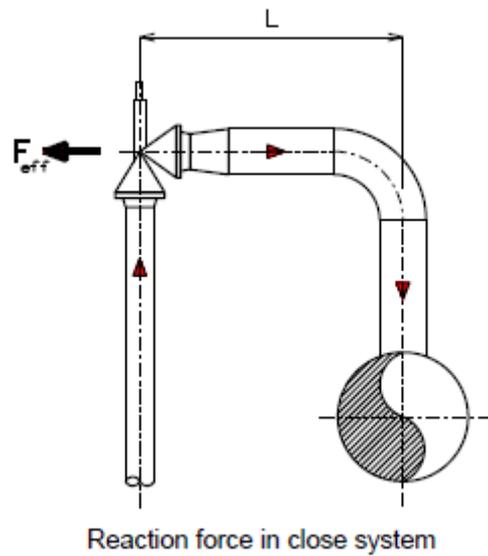
Figura 14: Reacción de PSV en sistemas abiertos



Reaction force in open system

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Figura 15: Reacción de PSV en sistemas cerrados



Fuente: Empresa Grupo Cobra

#### d) Cargas debido a Flujo con 2 fases

Por parte del departamento de proceso se deben de obtener los siguientes datos:

- Densidad del líquido (Kg/cm<sup>3</sup>)
- Velocidad del fluido en dos fases (m/sec)

Para poder aplicar la siguiente formula:

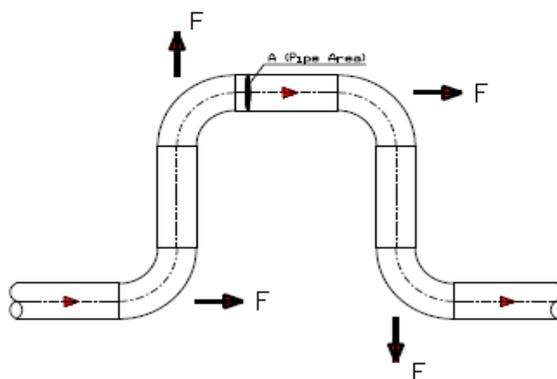
$$F_x = \rho \cdot A \cdot V^2 \cdot (1 - \cos(a)) \cdot DLF$$

$$F_y = \rho \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin(a) \cdot DLF$$

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

La magnitud de las fuerzas F debido al slug flow debe ser aplicada en el centro del codo:

Figura 16: Fuerzas debido a slug flow



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Las fuerzas debidas al slug flow pueden aplicarse conservadoramente al mismo tiempo en cada codo y respetando el sentido de flujo del sistema

Tabla 21: Cargas debido a slug flow

Load conditions		Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Two-phase flow (Slug)	✓

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Casos de carga a analizar

Tabla 22: Combinaciones de Cargas debido a slug flow

	Tipo Carga	Descripcion	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S
OPE	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L06	Caso: Condicion Alternativa - Diseño - Ope. Normal	OPE	W+P1+T2+D2+H		D/L
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L08	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger+F1	OPE	W+P1+T1+D1+H+F1		D/L
	L09	Caso: Carga por las 2 fases	OCC	L08-L04	Algebraico	Not Active
SUS	L10	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req, Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S
	L11	Max SUS: L05,L07,L10	SUS	L05,L07,L10	Max	D/L
EXP.	L12	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L10	Algebraico	D/S
	L13	Caso: Cargas Expansion en condicion Diseño	EXP	L06-L10	Algebraico	D/S
OCC	L14	Caso: Caso: Fuerzas Ocasiones impuestas por el flujo en 2 fases	OCC	L11+L09	Escalar	D/L/S

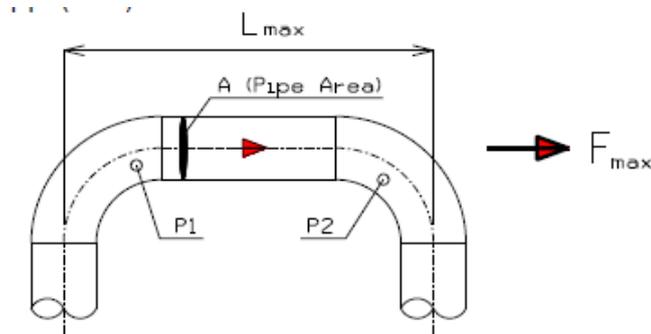
Fuente: Empresa Grupo Cobra

**e) Cargas debido al Golpe de Ariete (Water Hammer)**

Por parte del departamento de proceso se deben de obtener los siguientes datos:

- Diferencia máxima de presión entre los puntos inicial y final del tubo recto (P2 - P1)
- Longitud del tubo recto (Lmax).

*Figura 17: Cargas debido a golpe de ariete*



*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

La magnitud de la fuerza de sobretensión ( $F1$ ) en el tubo recto ( $L$ ) entre dos codos, aplicada en el nodo central del codo es:

$$F1 = (P2 - P1) * A * L / L_{max}$$

Las fuerzas de sobrecarga se aplicarán conservadoramente al mismo tiempo en cada codo.

El factor de carga dinámica no se tendrá en cuenta debido al corto tiempo de aplicación de la carga.

*Tabla 23: Cargas debido a golpe de ariete*

	Load conditions	Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Surge (water hammer)	✓

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

## Casos de carga a analizar

Tabla 24: Combinaciones de Carga debido a golpe de ariete

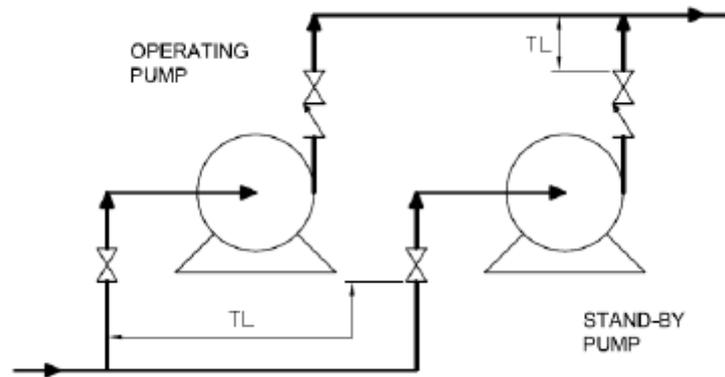
	Tipo Carga	Descripcion	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S
OPE.	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L06	Caso: Condicion Alternativa - Diseño - Ope. Normal	OPE	W+P1+T2+D2+H		D/L
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L08	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger+F1	OPE	W+P1+T1+D1+H+F1		D/L
	L09	Caso: Carga por Water Hammer	OCC	L08-L04	Algebraico	Not Active
SUS.	L10	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req, Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S
	L11	Max SUS: L05,L07,L10	SUS	L05,L07,L010	Max	D/L
EXP.	L12	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L10	Algebraico	D/S
	L13	Caso: Cargas Expansion en condicion Diseño	EXP	L06-L10	Algebraico	D/S
OCC	L14	Caso: Caso: Fuerzas Ocasionales impuestas por Water Hammer	OCC	L11+L09	Escalar	D/L/S

Fuente: Empresa Grupo Cobra

### f) Líneas Temporalmente Cerradas

Cuando se consideran tuberías conectadas a dos o más elementos del equipo, uno o más de los cuales están funcionando mientras que los otros no, la temperatura de cada bifurcación individual debe establecerse y considerarse en el análisis de flexibilidad. Las pautas sobre el establecimiento de los valores de temperatura están presentes en esta especificación en el apartado 5.1.

Figura 18: Líneas temporalmente cerradas



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Los casos de carga que se muestran a continuación son solo para las condiciones de funcionamiento y diseño. Si es aplicable, Los casos de carga ocasional deben analizarse utilizando la copia del cálculo descrito en los párrafos anteriores.

*Tabla 25: Cargas debido a líneas temporalmente cerradas*

Load conditions		Applicable
1	Operating	✓
2	Design	✓
3	Earthquake	
4	Wind	
5	PSV	
6	Temporary closed lines	✓

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Casos de carga a analizar

*Tabla 26: Combinaciones de Carga debido a Cargas Ocasionales*

	Tipo Carga	Descripcion	Tipo	Combinacion	Metodo Combiando	Analisis
HANGER	L01	Caso: Diseño Hanger	HGR	W		Not Active
	L02	Caso: Diseño Hanger	HGR	W+P1+T1+D1		Not Active
	L03	Prueba Hidrostatica	HYD	WW+HP+H		D/L/S
OPE.	L04	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger(Bomba A & B Trabajando)	OPE	W+P1+T1+D1+H		D/L
	L05	Caso: Alternativo L04	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L06	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger(Bomba A Trabajando & B Descansando)	OPE	W+P1+T2+D1+H		D/L
	L07	Caso: Alternativo L06	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L08	Caso: Operación normal + Imposicion Desplaz.+Carga Hanger(Bomba A Descansando & B Trabajando)	OPE	W+P1+T3+D1+H		D/L
	L09	Caso: Alternativo L08	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
	L10	Caso: Condición Alternativa - Diseño - Ope. Normal	OPE	W+P1+T4+D2+H		D/L
	L11	Caso: Alternativo L10	ALT SUS	W+P1+H		D/L/S
SUS.	L12	Caso: Cargas Sostenidas en condicion Diseño (Req. Comb Cargas)	SUS	W+P1+H		D/L/S
	L13	Max SUS: L05, L07, L09, L11, L12	SUS	L05, L07, L09, L11, L12	Max	D/L
EXP.	L14	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L04-L12	Algebraico	D/S
	L15	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L06-L12	Algebraico	D/S
	L16	Caso: Cargas Expansion en condicion Normal	EXP	L08-L12	Algebraico	D/S
	L17	Caso: Cargas Expansion en condicion Diseño	EXP	L10-L12	Algebraico	D/S

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

### 3.2. Evaluación Técnica – Económica

El costo del proyecto se obtuvo en base al Informe de Seguimiento y Monitoreo de Proyecto N°00008-2017-CG/GCIP “SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL PROYECTO MODERNIZACIÓN DE REFINERÍA TALARA” elaborado por LA CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA.

Tabla 27: Costo del Proyecto

VARIACIÓN EN EL TIEMPO DEL COSTO DEL PROYECTO  
(en MM US\$)

DESCRIPCION	PRESUPUESTO (MM US\$)			OVSERVACIONES	
	FACT (*)	FEED	FEED-EPC (**)	VARIACION DE COSTO FACTIBILIDAD vs FEED	
	2008	2014	2017	MONTO	%
UTILITIES Y OFFSITES GENERALES		87.0	87.0	87.0	N/A
COQUIFICACIÓN DE RESIDUO DE VACÍO (FCK)	272.5	576.6	577.9	305.4	112.1%
HIDROTRATAMIENTO DE NAFTA (HTN)	34.2	128.3	128.3	94.1	274.8%
REFORMACIÓN CATALÍTICA Y SPLITTER (RCA)	63.0	88.1	88.1	25.1	39.9%
UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO (FCC1) Y RG1	56.1	272.4	272.4	216.3	385.3%
HIDROTRATAMIENTO E DIESEL (HTD)	71.2	170.4	170.4	99.2	139.4%
TRATAMIENTO DE GLP (TGL)	42.4	48.9	48.9	6.5	15.2%
HIDROTRATAMIENTO DE NAFTA FCC (HTF)	19.2	96.2	96.2	77.0	401.7%
DESTILACIÓN AL VACÍO III (DV3)	86.3	156.6	156.6	70.3	82%
UNIDAD DE RECUPERACION DE GASES (RG2)		66.3	66.3	66.3	N/A
UNIDAD / SISTEMA DE AMINAS (AM2)	11.0	55.8	55.8	44.8	409%
DESPOJADOR DE AGUAS AMARAS (WS2)		40.2	40.2	40.2	N/A
UNIDAD DE DESTILACIÓN PRIMARIA (DP1)	13.7	126.2	126.2	112.5	821%
INTERCONEXIONES	97.2	442.9	442.9	345.7	356%
ALMACENAMIENTO DE CRUDO Y PRODUCTOS	27.4	208.1	208.1	180.8	660%
SISTEMA DE ANTORCHA Y RECUPERACIÓN DE GAS DE ANTORCHA	4.1	74.8	74.8	70.7	1721%
INSTALACIONES MARÍTIMAS	81.6	91.6	91.6	29.9	49%
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL	87.6				
<b>SUB TOTAL 1 (US\$)</b>	<b>947.5</b>	<b>2 730.3</b>	<b>2 731.6</b>	<b>1 784.1</b>	<b>188%</b>
BOMBAS CW	8.2			N/A	N/A
CALDERA CO	8.2			N/A	N/A
DESAREADOR	1.4			N/A	N/A
PUMAS BFW	9.6			N/A	N/A
AIRE DE INSTRUMENTOS	8.2			N/A	N/A
CAPTACIÓN Y DESCARGA DE AGUA DE MAR			69.0	69.0	N/A
OSMOSIS INVERSA - DEMIN (OR2 - DM2)			30.0	30.0	N/A
PLANTA DE COGENERACIÓN (GE) (inc. SUBESTACIÓN Y LÍNEAS DE PODER)	100.0		282.0	192.0	192%
PLANTA DE NITRÓGENO (PN)	2.7		13.0	10.3	373%
PLANTA DE ACIDO SULFÚRICO (HTD)	39.7		100.0	60.3	152%
PLANTA DE HIDRÓGENO (PHP)	112.3		136.0	23.7	21%
SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	34.2		50.0	15.8	46%
TRATAMIENTO DE AGUAS (Agua de desecho, desagüe químico, desagüe sanitario)	11.0		65.0	54.0	493%
<b>SUB TOTAL 2 (US\$)</b>	<b>335.5</b>		<b>815.0</b>	<b>479.5</b>	<b>143%</b>
GESTION DEL PMRT (ACTIVIDADES Y SERVICIOS RELACIONADO A LLEVAR UNA ADECUADA GESTION Y SUPERVISION DEL PMRT)		0.1	2.8	2.8	N/A
ASESORIA FINANCIERA		11.5	11.5	11.5	N/A
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SERVICIOS		0.7	0.7	0.7	N/A
SERVICIOS FEED		89.5	89.5	89.5	N/A
TRABAJOS DE SUPERVISION DE LAS ACTIVIDADES EPC		7.0	268.3	268.3	N/A
ADQUISICIÓN DE LICENCIA, DESARROLLO DE INGENIERÍA, ENTRENAMIENTO Y SERVICIOS POST		51.3	51.3	51.3	N/A
PROYECTOS SOCIALES PARA EL PMRT (RESPONSABILIDAD SOCIAL, RELACIONES COMUNITARIAS Y PLAN DE COMUNICACIONES)		1.8	4.3	4.3	N/A
ADQUISICIÓN DE INMUEBLES EN LA PROVINCIA DE TALARA			13.0	13.0	N/A



Seguimiento y Monitoreo al Proyecto Modernización de Refinería Talara, Talara - Piura  
Período: 01 de abril al 31 de mayo de 2017

Fuente: Informe de Seguimiento y Monitoreo de Proyectos N°0008-2017-CG/GCIP

### 3.3. Análisis de Resultados

Tal como se mencionó en el numeral 2.2.1 Etapas de la Actividades, debido a las condiciones del proyecto y a la complejidad de los sistemas de tuberías; fue necesario la elaboración de una Lista de Líneas Críticas en base a lo indicado en el numeral 2.1.1.4 Clasificación de Líneas de Esfuerzos del presente informe.

#### Lista de Líneas Críticas

*Tabla 28: Lista de Líneas Críticas*

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
HHS-GE-00105-I215J-H	GE	16	HHS	00105	I215J	H
FL-GE-00201-A3S1F-N	GE	2	FL	00201	A3S1F	N
HHS-GE-00302-I215J-H	GE	14	HHS	00302	I215J	H
HS-GE-00301-E26F-H	GE	10	HS	00301	E26F	H
HS-GE-00302-E26F-H	GE	10	HS	00302	E26F	H
HS-GE-00308-A26F-H	GE	10	HS	00308	A26F	H
LS-GE-00301-A21F-H	GE	12	LS	00301	A21F	H
MS-GE-00301-A23F-H	GE	20	MS	00301	A23F	H
MS-GE-00302-A23F-H	GE	20	MS	00302	A23F	H
HHS-GE-00301-I215J-H	GE	20	HHS	00301	I215J	H
HS-GE-00303-A26F-H	GE	18	HS	00303	A26F	H
LS-GE-00302-A21F-H	GE	36	LS	00302	A21F	H
MS-GE-00303-A23F-H	GE	30	MS	00303	A23F	H
BD-GE-00401-A21F-P	GE	4	BD	00401	A21F	P
BD-GE-00402-A21F-P	GE	4	BD	00402	A21F	P
BD-GE-00404-A21F-P	GE	2	BD	00404	A21F	P
BD-GE-00405-A21F-P	GE	2	BD	00405	A21F	P
BD-GE-00410-A21F-P	GE	2	BD	00410	A21F	P
BD-GE-00415-A21F-P	GE	2	BD	00415	A21F	P
LS-GE-00401-A21F-H	GE	6	LS	00401	A21F	H
CC-GE-00501-A21F-N	GE	8	CC	00501	A21F	N
CC-GE-00502-A21F-N	GE	8	CC	00502	A21F	N
CC-GE-00503-A21F-N	GE	6	CC	00503	A21F	N
CC-GE-00504-A21F-N	GE	6	CC	00504	A21F	N
CC-GE-00505-A21F-N	GE	8	CC	00505	A21F	N
CC-GE-00521-A21F-N	GE	6	CC	00521	A21F	N
CC-GE-00526-A21F-N	GE	4	CC	00526	A21F	N
LBW-GE-00601-A21F-H	GE	16	LBW	00601	A21F	H
LBW-GE-00602-A21F-P	GE	12	LBW	00602	A21F	P
LS-GE-00701-A21F-H	GE	20	LS	00701	A21F	H
LS-GE-00702-A21F-H	GE	20	LS	00702	A21F	H
LBW-GE-00709-A21F-H	GE	12	LBW	00709	A21F	H

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
LBW-GE-00708-A21F-H	GE	12	LBW	00708	A21F	H
LBW-GE-00710-A21F-H	GE	12	LBW	00710	A21F	H
LBW-GE-00711-A21F-H	GE	16	LBW	00711	A21F	H
HHBW-GE-00712-A215F-H	GE	10	HHBW	00712	A215F	H
HHBW-GE-00713-A215F-H	GE	10	HHBW	00713	A215F	H
HHBW-GE-00714-A215F-H	GE	10	HHBW	00714	A215F	H
LBW-GE-00715-A215F-H	GE	4	LBW	00715	A215F	H
LBW-GE-00716-A215F-H	GE	4	LBW	00716	A215F	H
LBW-GE-00717-A215F-H	GE	4	LBW	00717	A215F	H
HHBW-GE-00718-A215F-H	GE	12	HHBW	00718	A215F	H
HHBW-GE-00724-A215F-H	GE	8	HHBW	00724	A215F	H
HHBW-GE-00725-A215F-H	GE	8	HHBW	00725	A215F	H
HHBW-GE-00726-A215F-H	GE	8	HHBW	00726	A215F	H
LBW-GE-00736-A215F-H	GE	8	LBW	00736	A215F	H
LBW-GE-00739-A21F-H	GE	12	LBW	00739	A21F	H
HHBW-GE-00740-A215F-H	GE	10	HHBW	00740	A215F	H
LBW-GE-00741-A215F-H	GE	4	LBW	00741	A215F	H
LBW-GE-00742-A215F-H	GE	12	LBW	00742	A215F	H
LBW-GE-00743-A215F-H	GE	12	LBW	00743	A215F	H
LBW-GE-00744-A215F-H	GE	12	LBW	00744	A215F	H
LBW-GE-00745-A215F-H	GE	12	LBW	00745	A215F	H
CSS-GE-00902-FGOW33T-N	GE	24	CSS	00902	FGOW33T	N
CSS-GE-00903-AOR1F-N	GE	24	CSS	00903	AOR1F	N
CSS-GE-00904-AOR1F-N	GE	24	CSS	00904	AOR1F	N
CSR-GE-00901-AOR1F-N	GE	24	CSR	00901	AOR1F	N
CSR-GE-00902-AOR1F-N	GE	24	CSR	00902	AOR1F	N
CSR-GE-00903-FGOW33T-N	GE	24	CSR	00903	FGOW33T	N
CSR-GE-00908-FGOW33T-N	GE	24	CSR	00908	FGOW33T	N
CSS-GE-00905-FGOW33T-N	GE	24	CSS	00905	FGOW33T	N
CSS-GE-00906-AOR1F-N	GE	24	CSS	00906	AOR1F	N
CSS-GE-00908-AOR1F-N	GE	24	CSS	00908	AOR1F	N
CSS-GE-00909-AOR1F-N	GE	24	CSS	00909	AOR1F	N
CSR-GE-00909-AOR1F-N	GE	24	CSR	00909	AOR1F	N
CSR-GE-00910-AOR1F-N	GE	24	CSR	00910	AOR1F	N
CWR-GE-01001-A21F-N	GE	12	CWR	01001	A21F	N
CWR-GE-01004-A21F-N	GE	12	CWR	01004	A21F	N
CWR-GE-01009-A21F-N	GE	12	CWR	01009	A21F	N
CWR-GE-01059-A21F-N	GE	4	CWR	01059	A21F	N
CSR-GE-01001-AOR1F-N	GE	12	CSR	01001	AOR1F	N
CSR-GE-01002-AOR1F-N	GE	12	CSR	01002	AOR1F	N
CSS-GE-01001-AOR1F-N	GE	12	CSS	01001	AOR1F	N
CSS-GE-01002-AOR1F-N	GE	12	CSS	01002	AOR1F	N
CWR-GE-01010-A21F-N	GE	12	CWR	01010	A21F	N

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
CWR-GE-01011-A21F-N	GE	12	CWR	01011	A21F	N
CWR-GE-01012-A21F-N	GE	12	CWR	01012	A21F	N
CWR-GE-01013-A21F-N	GE	12	CWR	01013	A21F	N
CWR-GE-01014-A21F-N	GE	12	CWR	01014	A21F	N
CWR-GE-01015-A21F-N	GE	12	CWR	01015	A21F	N
CWR-GE-01016-A21F-N	GE	12	CWR	01016	A21F	N
CWR-GE-01017-A21F-N	GE	12	CWR	01017	A21F	N
CWR-GE-01018-A21F-N	GE	12	CWR	01018	A21F	N
CWS-GE-01001-A21F-N	GE	12	CWS	01001	A21F	N
CWS-GE-01002-A21F-N	GE	12	CWS	01002	A21F	N
CWS-GE-01003-A21F-N	GE	12	CWS	01003	A21F	N
CWS-GE-01005-A21F-N	GE	12	CWS	01005	A21F	N
CWS-GE-01007-A21F-N	GE	12	CWS	01007	A21F	N
CWS-GE-01009-A21F-N	GE	8	CWS	01009	A21F	N
CWS-GE-01010-A21F-N	GE	4	CWS	01010	A21F	N
CWS-GE-01011-A21F-N	GE	4	CWS	01011	A21F	N
CWR-GE-01019-A21F-N	GE	4	CWR	01019	A21F	N
CWR-GE-01020-A21F-N	GE	4	CWR	01020	A21F	N
CWR-GE-01021-A21F-N	GE	8	CWR	01021	A21F	N
CWR-GE-01003-A21F-N	GE	10	CWR	01003	A21F	N
CWR-GE-01051-A21F-N	GE	4	CWR	01051	A21F	N
CWR-GE-01052-A21F-N	GE	4	CWR	01052	A21F	N
CWR-GE-01053-A21F-N	GE	8	CWR	01053	A21F	N
CWS-GE-01026-A21F-N	GE	8	CWS	01026	A21F	N
CWS-GE-01027-A21F-N	GE	4	CWS	01027	A21F	N
CWS-GE-01028-A21F-N	GE	4	CWS	01028	A21F	N
CWS-GE-01030-A21F-N	GE	6	CWS	01030	A21F	N
CWS-GE-01032-A21F-N	GE	4	CWS	01032	A21F	N
LS-GE-01302-A21F-P	GE	10	LS	01302	A21F	P
LS-GE-01301-A21F-P	GE	10	LS	01301	A21F	P
CWR-GE-01348-A21F-N	GE	4	CWR	01348	A21F	N
LS-GE-01403-A21F-H	GE	14	LS	01403	A21F	H
DW-GE-01501-M11F-N	GE	12	DW	01501	M11F	N
DW-GE-01502-M11F-N	GE	12	DW	01502	M11F	N
CSR-GE-01501-FG0W33T-N	GE	48	CSR	01501	FG0W33T	N
CSS-GE-01501-FG0W33T-N	GE	48	CSS	01501	FG0W33T	N
TC-GE-01502-A21F-H	GE	8	TC	01502	A21F	H
FX-GE-01501-A6S1F-H	GE	52	FX	01501	A6S1F	H
LS-GE-01501-A21F-H	GE	30	LS	01501	A21F	H
DW-GE-01504-M11F-N	GE	12	DW	01504	M11F	N
HHS-GE-01605-I215J-H	GE	16	HHS	01605	I215J	H
LS-GE-01601-A21F-H	GE	12	LS	01601	A21F	H
FL-GE-01701-A3S1F-N	GE	2	FL	01701	A3S1F	N

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
HHS-GE-01801-I215J-H	GE	14	HHS	01801	I215J	H
HS-GE-01801-E26F-H	GE	10	HS	01801	E26F	H
HS-GE-01802-E26F-H	GE	10	HS	01802	E26F	H
HS-GE-01809-A26F-H	GE	10	HS	01809	A26F	H
LS-GE-01801-A21F-H	GE	12	LS	01801	A21F	H
MS-GE-01801-A23F-H	GE	20	MS	01801	A23F	H
MS-GE-01802-A23F-H	GE	20	MS	01802	A23F	H
LS-GE-01802-A21F-H	GE	36	LS	01802	A21F	H
MS-GE-01803-A23F-H	GE	14	MS	01803	A23F	H
LS-GE-01809-A23F-H	GE	36	LS	01809	A23F	H
HS-GE-01806-A26F-H	GE	10	HS	01806	A26F	H
HS-GE-01807-A26F-H	GE	6	HS	01807	A26F	H
BD-GE-01901-A21F-P	GE	4	BD	01901	A21F	P
BD-GE-01902-A21F-P	GE	4	BD	01902	A21F	P
BD-GE-01904-A21F-P	GE	2	BD	01904	A21F	P
BD-GE-01905-A21F-P	GE	2	BD	01905	A21F	P
BD-GE-01910-A21F-P	GE	2	BD	01910	A21F	P
BD-GE-01915-A21F-P	GE	4	BD	01915	A21F	P
LS-GE-01901-A21F-H	GE	6	LS	01901	A21F	H
CWR-GE-01050-A21F-N	GE	6	CWR	01050	A21F	N
CC-GE-02001-A21F-N	GE	8	CC	02001	A21F	N
CC-GE-02002-A21F-N	GE	8	CC	02002	A21F	N
CC-GE-02003-A21F-N	GE	6	CC	02003	A21F	N
CC-GE-02004-A21F-N	GE	6	CC	02004	A21F	N
CC-GE-02005-A21F-N	GE	8	CC	02005	A21F	N
CC-GE-02006-A21F-N	GE	6	CC	02006	A21F	N
CC-GE-02007-A21F-N	GE	4	CC	02007	A21F	N
CSS-GE-02202-FGOW33T-N	GE	34	CSS	02202	FGOW33T	N
CSS-GE-02203-AOR1F-N	GE	24	CSS	02203	AOR1F	N
CSS-GE-02204-AOR1F-N	GE	24	CSS	02204	AOR1F	N
CSR-GE-02201-AOR1F-N	GE	24	CSR	02201	AOR1F	N
CSR-GE-02202-AOR1F-N	GE	24	CSR	02202	AOR1F	N
CSR-GE-02203-FGOW33T-N	GE	34	CSR	02203	FGOW33T	N
CSR-GE-02204-FGOW33T-N	GE	24	CSR	02204	FGOW33T	N
CSR-GE-02205-FGOW33T-N	GE	24	CSR	02205	FGOW33T	N
CSS-GE-02206-FGOW33T-N	GE	24	CSS	02206	FGOW33T	N
CSS-GE-02207-FGOW33T-N	GE	24	CSS	02207	FGOW33T	N
CSS-GE-02208-FGOW33T-N	GE	12	CSS	02208	FGOW33T	N
CSR-GE-02206-FGOW33T-N	GE	12	CSR	02206	FGOW33T	N
CSS-GE-02209-AOR1F-N	GE	24	CSS	02209	AOR1F	N
CSS-GE-02210-AOR1F-N	GE	24	CSS	02210	AOR1F	N
CSS-GE-02211-AOR1F-N	GE	24	CSS	02211	AOR1F	N
CSS-GE-02212-AOR1F-N	GE	24	CSS	02212	AOR1F	N

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
CSR-GE-02207-A0R1F-N	GE	24	CSR	02207	A0R1F	N
CSR-GE-02208-A0R1F-N	GE	24	CSR	02208	A0R1F	N
HHS-GE-02405-I215J-H	GE	16	HHS	02405	I215J	H
LS-GE-02401-A21F-H	GE	12	LS	02401	A21F	H
FL-GE-02501-A3S1F-N	GE	2	FL	02501	A3S1F	N
BD-GE-02601-A21F-P	GE	4	BD	02601	A21F	P
BD-GE-02602-A21F-P	GE	4	BD	02602	A21F	P
BD-GE-02604-A21F-P	GE	2	BD	02604	A21F	P
BD-GE-02605-A21F-P	GE	2	BD	02605	A21F	P
BD-GE-02610-A21F-P	GE	2	BD	02610	A21F	P
BD-GE-02615-A21F-P	GE	2	BD	02615	A21F	P
LS-GE-02601-A21F-H	GE	6	LS	02601	A21F	H
FX-GE-02802-A6S1F-H	GE	38	FX	02802	A6S1F	H
FX-GE-02803-A6S1F-H	GE	38	FX	02803	A6S1F	H
FX-GE-02804-A6S1F-H	GE	38	FX	02804	A6S1F	H
FL-GE-02801-A3S1F-N	GE	4	FL	02801	A3S1F	N
HS-GE-02903-A26F-H	GE	6	HS	02903	A26F	H
HS-GE-02907-A26F-H	GE	6	HS	02907	A26F	H
HS-GE-02909-A26F-H	GE	10	HS	02909	A26F	H
HS-GE-02910-A26F-H	GE	10	HS	02910	A26F	H
LS-GE-02907-A21F-H	GE	10	LS	02907	A21F	H
LS-GE-02908-A21F-H	GE	10	LS	02908	A21F	H
LS-GE-02909-A21F-H	GE	10	LS	02909	A21F	H
MS-GE-02908-A23F-H	GE	10	MS	02908	A23F	H
MS-GE-02909-A23F-H	GE	10	MS	02909	A23F	H
SV-GE-02902-A21F-P	GE	10	SV	02902	A21F	P
SV-GE-02903-A21F-P	GE	10	SV	02903	A21F	P
SV-GE-02904-A21F-P	GE	12	SV	02904	A21F	P
SV-GE-02905-A21F-P	GE	12	SV	02905	A21F	P
SV-GE-02906-A21F-P	GE	12	SV	02906	A21F	P
SV-GE-02907-A21F-P	GE	12	SV	02907	A21F	P
LS-GE-02910-A21F-H	GE	24	LS	02910	A21F	H
SV-GE-02901-A21F-P	GE	10	SV	02901	A21F	P
LS-GE-02902-A21F-H	GE	36	LS	02902	A21F	H
HS-GE-03101-I215J-H	GE	18	HS	03101	I215J	H
HS-GE-03102-I215J-H	GE	18	HS	03102	I215J	H
HS-GE-03103-A26F-H	GE	12	HS	03103	A26F	H
HS-GE-03104-A26F-H	GE	12	HS	03104	A26F	H
HS-GE-03105-A26F-H	GE	8	HS	03105	A26F	H
HS-GE-03119-A26F-H	GE	18	HS	03119	A26F	H
HS-GE-03120-A26F-H	GE	18	HS	03120	A26F	H
HHS-GE-03101-I215J-H	GE	14	HHS	03101	I215J	H
HHS-GE-03102-I215J-H	GE	14	HHS	03102	I215J	H

CÓDIGO DE LÍNEA	UNIDAD	DIAM (Pulg")	FLUIDO	NUMERO DE LINEA	ESPECIFICACIÓN DE TUBERIAS	AISLAMIENTO
HHS-GE-03103-I215J-H	GE	12	HHS	03103	I215J	H
MS-GE-03101-A26F-H	GE	24	MS	03101	A26F	H
MS-GE-03102-A26F-H	GE	24	MS	03102	A26F	H
MS-GE-03113-A23F-H	GE	16	MS	03113	A23F	H
MS-GE-03114-A23F-H	GE	24	MS	03114	A23F	H
MS-GE-03115-A23F-H	GE	24	MS	03115	A23F	H
SV-GE-03101-H23F-P	GE	12	SV	03101	H23F	P
SV-GE-03102-A21F-P	GE	14	SV	03102	A21F	P
SV-GE-00301-A21F-P	GE	8	SV	00301	A21F	P
SV-GE-03103-A21F-P	GE	16	SV	03103	A21F	P
MS-GE-03116-A23F-H	GE	12	MS	03116	A23F	H
BD-GE-03204-A26F-P	GE	6	BD	03204	A26F	P
BD-GE-03202-A23F-P	GE	6	BD	03202	A23F	P
BD-GE-03203-A21F-P	GE	6	BD	03203	A21F	P
BD-GE-03205-A26F-P	GE	4	BD	03205	A26F	P
BD-GE-03206-A23F-P	GE	4	BD	03206	A23F	P
BD-GE-03207-A23F-P	GE	4	BD	03207	A23F	P
BD-GE-03208-A21F-P	GE	4	BD	03208	A21F	P
BD-GE-03209-A21F-P	GE	4	BD	03209	A21F	P
BD-GE-03201-A26F-P	GE	4	BD	03201	A26F	P
LS-GE-00703-A21F-H	GE	30	LS	00703	A21F	H
LBW-GE-00607-A21F-P	GE	12	LBW	00607	A21F	P
CC-GE-00545-A21F-N	GE	8	CC	00545	A21F	N
CC-GE-00546-A21F-N	GE	8	CC	00546	A21F	N
HS-GE-00310-E26F-H	GE	6	HS	00310	E26F	H
BD-GE-00006-A21F-P	GE	4	BD	00006	A21F	P
LS-GE-00605-A21F-H	GE	36	LS	00605	A21F	H
DW-GE-00601-M11F-N	GE	10	DW	00601	M11F	N
HHBW-GE-00727-A215F-H	GE	6	HHBW	00727	A215F	H
HHBW-GE-00728-A215F-H	GE	6	HHBW	00728	A215F	H
HHBW-GE-00729-A215F-H	GE	6	HHBW	00729	A215F	H
HHBW-GE-00730-A215F-H	GE	6	HHBW	00730	A215F	H
CC-GE-02020-A21F-N	GE	8	CC	02020	A21F	N
CC-GE-02021-A21F-N	GE	8	CC	02021	A21F	N
LS-GE-00308-A21F-H	GE	36	LS	00308	A21F	H
HS-GE-01813-A26F-H	GE	6	HS	01813	A26F	H
SV-GE-01801-A21F-p	GE	8	SV	01801	A21F	p
BD-GE-02616-A21F-P	GE	2	BD	02616	A21F	P
CWS-GE-01036-A21F-N	GE	12	CWS	01036	A21F	N
CWS-GE-01054-A21F-N	GE	12	CWS	01054	A21F	N

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Para fines prácticos y con la finalidad de poder mostrar la metodología de cálculo de análisis de esfuerzos de tuberías, se ha elegido un subsistema de la Unidad de Cogeneración; el cuál se muestra a continuación.

Las condiciones de las líneas son las siguientes

*Tabla 29: Condiciones de línea*

NÚMERO DE LÍNEA	IDENTIFICACIÓN DE LÍNEA					DENS. kg/m <sup>3</sup>	ESTADO FLUIDO	OPERACIÓN NORMAL		DISEÑO		CONDICIONES DE PRUEBA	
	TIPO	ESPESOR (MM)	NÚMERO DE PID	DESDE	HASTA			PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup> (g)	TEMP. °C	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup> (g)	TEMP. °C	MEDIO	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup> (g)
52"-FX-GE-01501-A6S1F-H	H	38	TAL-GE-PRO-PID-0002	FX-INT-02002	CABEZAL	1.60	G	0.85	50.0	4.80	80.0	AGUA	7.20
38"-FX-GE-02802-A6S1F-H	H	38	TAL-GE-PRO-PID-0017	FX-01501	GE-B-001-A	1.60	G	0.85	50.0	4.80	80.0	AGUA	7.20
38"-FX-GE-02803-A6S1F-H	H	38	TAL-GE-PRO-PID-0025	FX-01501	GE-B-001-B	1.60	G	0.85	50.0	4.80	80.0	AGUA	7.20
38"-FX-GE-02804-A6S1F-H	H	38	TAL-GE-PRO-PID-0028	FX-01501	GE-B-001-C	1.60	G	0.85	50.0	4.80	80.0	AGUA	7.20

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

Las condiciones de temperatura de instalación (ambiente) se tomaron de acuerdo al numeral 3.1.3.1 del presente informe.

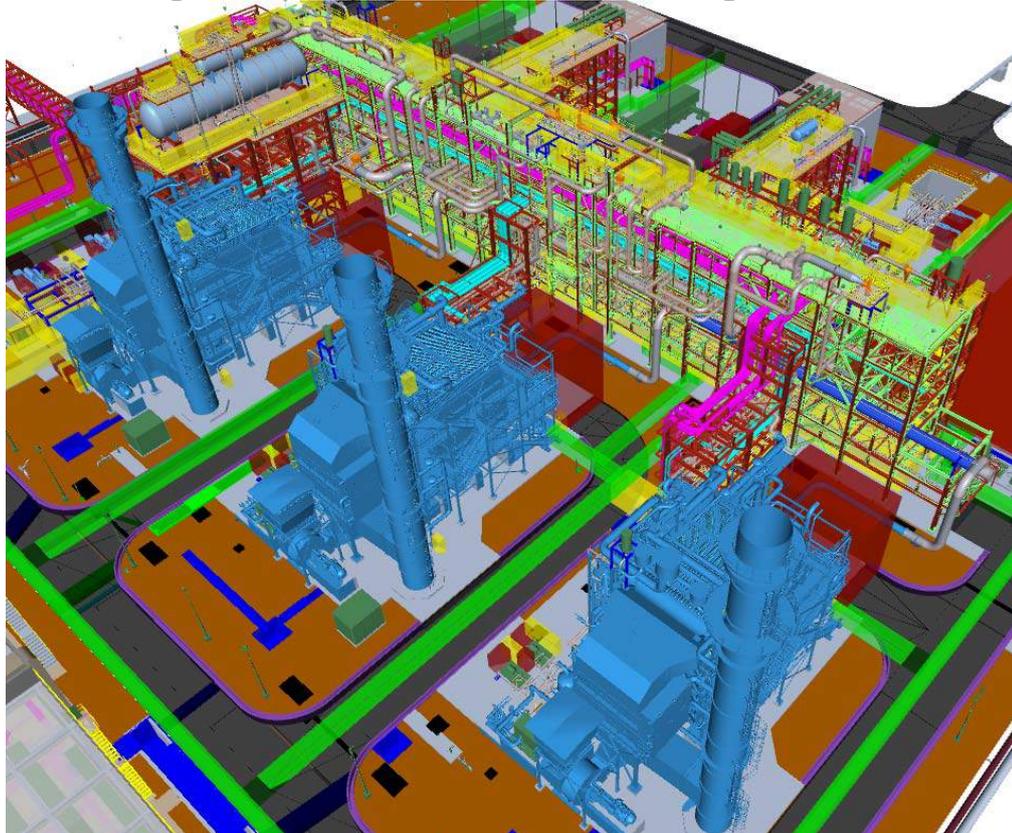
El análisis por viento se consideró con las cargas de viento en dos direcciones horizontales teniendo en cuenta la altura en la que se encuentran instaladas estas líneas (más de 10m de altura).

El análisis por sismo se basó en lo indicado en el DS-003-2016-Vivienda, que modifica la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" obteniendo los siguientes valores:

<b>F<sub>p</sub>=</b>	<b>0.381</b>	<b>g</b>
<b>F<sub>v</sub>=</b>	<b>0.254</b>	<b>g</b>

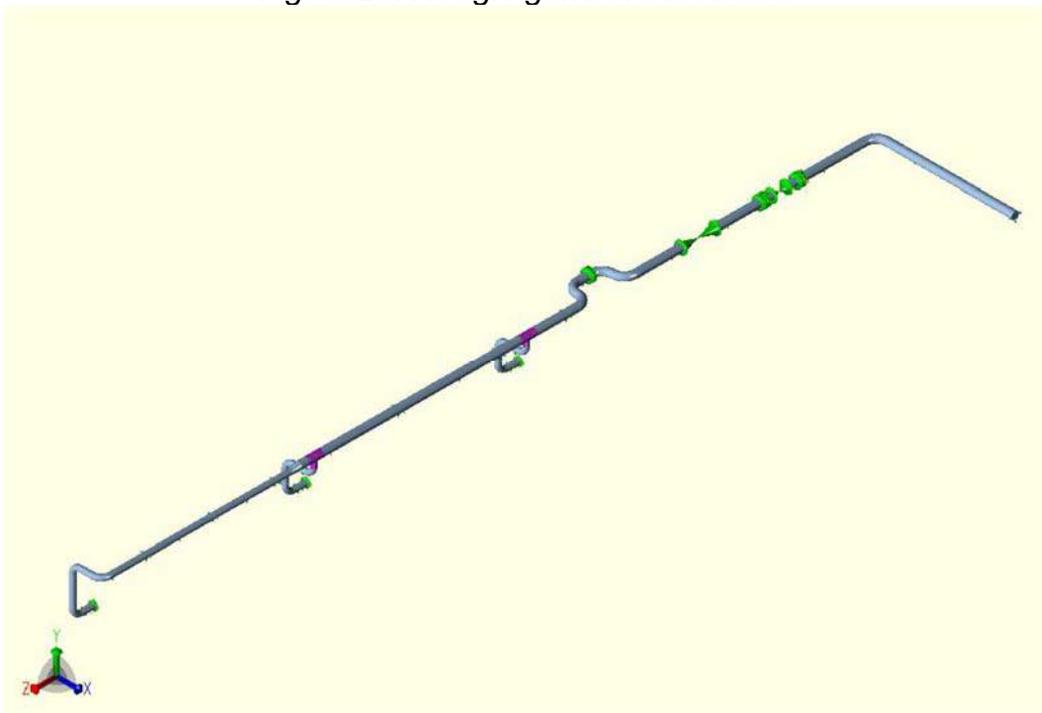
Los pesos y dimensiones de las válvulas y bridas que sean consideradas de manufactura estándar (compuerta, check, globo o bola) están de acuerdo a lo indicado en el programa PIPEDATA-PRO.

Figura 19: Maqueta 3D de Unidad de Cogeneración



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Figura 20: Arreglo general del cálculo



Fuente: Empresa Grupo Cobra

## Datos de Entrada en CAESAR II

Figura 21: Datos de Entrada en CAESAR II

```
Operacion 1 = Normal de operacion
Operacion 2 = Maxima de operacion
Operacion 3 = Diseño

CAESAR II 2016 Ver.8.00.00.5600, (Build 150930) JUN 11,2019 16:26:52

PIPE DATA
-----
-----
From 10 To 20 DZ= 998.000 mm.
  B31.3 (2014)      Cycle Max Switch = ---      Sc= 137,892 KPa
  Sh1= 137,134 KPa  Sh2= 136,824 KPa  Sh3= 135,273 KPa  Sh4= 137,892 KPa
  Sh5= 137,892 KPa  Sh6= 137,892 KPa  Sh7= 137,892 KPa  Sh8= 137,892 KPa
  Sh9= 137,892 KPa  Sy= 220,632 KPa
  Dia= 1,320.800 mm.  Wall= 15.875 mm.  Cor= 6.0000 mm.
GENERAL
  T1= 50 C  T2= 55 C  T3= 80 C  P1= 470.7340 KPa  PHyd= 706.1000 KPa
  Mat= (358)A672 C60  E= 203,234,688 KPa  EH1= 201,253,696 KPa
  EH2= 200,943,472 KPa  EH3= 199,392,320 KPa  EH4= 203,234,688 KPa
  EH5= 203,234,688 KPa  EH6= 203,234,688 KPa  EH7= 203,234,688 KPa
  EH8= 203,234,688 KPa  EH9= 203,234,688 KPa  v = .292
  Pipe Den= .0078334 kg./cu.cm.  Fluid Den= .0000016 kg./cu.cm.
  Insul Thk= 38.000 mm.  Insul Den= .0001920 kg./cu.cm.
RIGID Weight=75,000.00 N.
RESTRAINTS
  Node 10 ANC  Cnode 11
UNIFORM LOAD
  Vector1 in G-s  X1 Dir = .38 g's  Y1 Dir = .00 g's  Z1 Dir = .00 g's
  Vector2 in G-s  X2 Dir = .00 g's  Y2 Dir = .25 g's  Z2 Dir = .00 g's
  Vector3 in G-s  X3 Dir = .00 g's  Y3 Dir = .00 g's  Z3 Dir = .38 g's
```

Fuente: Empresa Grupo Cobra

## Casos de Carga en CAESAR II

*Figura 22: Casos de Carga para el análisis en CAESAR II*

### LISTING OF STATIC LOAD CASES FOR THIS ANALYSIS

```
1 (HYD) WW+HP
2 (OPE) W+P1+T1
3 (Alt-SUS) W+P1
4 (OPE) W+P1+T2
5 (Alt-SUS) W+P1
6 (OPE) W+P1+T3
7 (Alt-SUS) W+P1
8 (OPE) W+T1+P1+U1+U2
9 (OPE) W+T1+P1-U1+U2
10 (OPE) W+T1+P1+U1-U2
11 (OPE) W+T1+P1-U1-U2
12 (OPE) W+T1+P1+U3+U2
13 (OPE) W+T1+P1-U3+U2
14 (OPE) W+T1+P1+U3-U2
15 (OPE) W+T1+P1-U3-U2
16 (OPE) W+T1+P1+WIN1
17 (OPE) W+T1+P1+WIN2
18 (OPE) W+T1+P1+WIN3
19 (OPE) W+T1+P1+WIN4
20 (OPE) W+P1+T1+U1
21 (OPE) W+P1+T1-U1
22 (OPE) W+P1+T1+U2
23 (OPE) W+P1+T1-U2
24 (OPE) W+P1+T1+U3
25 (OPE) W+P1+T1-U3
26 (SUS) W+P1
27 (SUS) L27=L3, L5, L7, L26
28 (EXP) L28=L2-L26
29 (EXP) L29=L4-L26
30 (OCC) CASE NOT ACTIVE
31 (OCC) CASE NOT ACTIVE
32 (OCC) CASE NOT ACTIVE
33 (OCC) CASE NOT ACTIVE
34 (OCC) CASE NOT ACTIVE
35 (OCC) CASE NOT ACTIVE
36 (OCC) CASE NOT ACTIVE
37 (OCC) CASE NOT ACTIVE
38 (OCC) CASE NOT ACTIVE
39 (OCC) CASE NOT ACTIVE
40 (OCC) CASE NOT ACTIVE
41 (OCC) CASE NOT ACTIVE
42 (OCC) CASE NOT ACTIVE
43 (OCC) CASE NOT ACTIVE
44 (OCC) CASE NOT ACTIVE
45 (OCC) CASE NOT ACTIVE
46 (OCC) CASE NOT ACTIVE
47 (OCC) CASE NOT ACTIVE
48 (OCC) L48=L27+L30
49 (OCC) L49=L27+L31
50 (OCC) L50=L27+L32
51 (OCC) L51=L27+L33
```

52 (OCC) L52=L27+L40  
53 (OCC) L53=L27+L41  
54 (OCC) L54=L27+L42  
55 (OCC) L55=L27+L43  
56 (OCC) L56=L27+L44  
57 (OCC) L57=L27+L45  
58 (OCC) L58=L27+L46  
59 (OCC) L59=L27+L47  
60 (OPE) L60=L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15

*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

## Informe de Esfuerzos en CAESAR II

Figura 23: Informe de Esfuerzos en CAESAR II

### STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement Various Load Cases

#### LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP  
CASE 2 (OPE) W+P1+T1  
CASE 4 (OPE) W+P1+T2  
CASE 6 (OPE) W+P1+T3  
CASE 8 (OPE) W+T1+P1+U1+U2  
CASE 9 (OPE) W+T1+P1-U1+U2  
CASE 10 (OPE) W+T1+P1+U1-U2  
CASE 11 (OPE) W+T1+P1-U1-U2  
CASE 12 (OPE) W+T1+P1+U3+U2  
CASE 13 (OPE) W+T1+P1-U3+U2  
CASE 14 (OPE) W+T1+P1+U3-U2  
CASE 15 (OPE) W+T1+P1-U3-U2  
CASE 16 (OPE) W+T1+P1-WIN1  
CASE 17 (OPE) W+T1+P1-WIN2  
CASE 18 (OPE) W+T1+P1-WIN3  
CASE 19 (OPE) W+T1+P1-WIN4  
CASE 20 (OPE) W+P1+T1-U1  
CASE 21 (OPE) W+P1+T1-U1  
CASE 22 (OPE) W+P1+T1-U2  
CASE 23 (OPE) W+P1+T1-U2  
CASE 24 (OPE) W+P1+T1-U3  
CASE 25 (OPE) W+P1+T1-U3  
CASE 26 (SUS) W+P1  
CASE 27 (SUS) L27=L3, L5, L7, L26  
CASE 28 (EXP) L28=L2-L26  
CASE 29 (EXP) L29=L4-L26  
CASE 48 (OCC) L48=L27+L30  
CASE 49 (OCC) L49=L27+L31  
CASE 50 (OCC) L50=L27+L32  
CASE 51 (OCC) L51=L27+L33  
CASE 52 (OCC) L52=L27+L40  
CASE 53 (OCC) L53=L27+L41  
CASE 54 (OCC) L54=L27+L42  
CASE 55 (OCC) L55=L27+L43  
CASE 56 (OCC) L56=L27+L44  
CASE 57 (OCC) L57=L27+L45  
CASE 58 (OCC) L58=L27+L46  
CASE 59 (OCC) L59=L27+L47  
CASE 60 (OPE) L60=L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2014, Feb 27, 2014

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 1 (HYD) WW+HP

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 1 (HYD) WW+HP	
Ratio (%):	25.8	@Node 578	
Code Stress:	56908.3	Allowable Stress:	220632.0
Axial Stress:	14474.1	@Node 450	
Bending Stress:	62697.5	@Node 578	

Torsion Stress:	2582.4	@Node	548
Hoop Stress:	28667.7	@Node	40
Max Stress Intensity:	74326.7	@Node	578

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 21 (OPE) W+P1+T1-U1

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 21 (OPE) W+P1+T1-U1	
Ratio (%):	0.0	@Node	320
OPE Stress:	57470.0	Allowable Stress:	0.0
Axial Stress:	9672.7	@Node	310
Bending Stress:	49433.1	@Node	320
Torsion Stress:	1593.1	@Node	618
Hoop Stress:	19111.8	@Node	40
Max Stress Intensity:	96320.1	@Node	320

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 26 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 26 (SUS) W+P1	
Ratio (%):	29.5	@Node	578
Code Stress:	29896.6	Allowable Stress:	135272.5
Axial Stress:	15562.7	@Node	450
Bending Stress:	36586.9	@Node	578
Torsion Stress:	1523.9	@Node	490
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	50761.0	@Node	578

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 28 (EXP) L28=L2-L26

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 28 (EXP) L28=L2-L26	
Ratio (%):	22.3	@Node	250
Code Stress:	46111.9	Allowable Stress:	206648.5
Axial Stress:	2545.9	@Node	40
Bending Stress:	44402.3	@Node	250
Torsion Stress:	1846.7	@Node	550
Hoop Stress:	0.0	@Node	20
Max Stress Intensity:	73147.4	@Node	250

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 29 (EXP) L29=L4-L26

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 29 (EXP) L29=L4-L26	
Ratio (%):	26.6	@Node	250
Code Stress:	54854.0	Allowable Stress:	206570.9
Axial Stress:	2934.5	@Node	40
Bending Stress:	52820.9	@Node	250
Torsion Stress:	2196.5	@Node	550
Hoop Stress:	0.0	@Node	20
Max Stress Intensity:	57014.9	@Node	250

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 48 (OCC) L48=L27+L30

Highest Stresses: (KPa)	)	LOADCASE 48 (OCC) L48=L27+L30	
Ratio (%):	22.9	@Node	578
Code Stress:	41156.5	Allowable Stress:	179912.5

Ratio (%) :	28.0	@Node	548	
Code Stress:	50336.4	Allowable Stress:		179912.5
Axial Stress:	16314.3	@Node	370	
Bending Stress:	48532.2	@Node	548	
Torsion Stress:	3032.9	@Node	569	
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40	
Max Stress Intensity:	62440.5	@Node	548	

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 54 (OCC) L54=L27+L42

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 54 (OCC)	L54=L27+L42	
Ratio (%) :	30.1	@Node	40	
Code Stress:	54077.6	Allowable Stress:		179912.5
Axial Stress:	16291.0	@Node	370	
Bending Stress:	48467.8	@Node	548	
Torsion Stress:	2991.5	@Node	569	
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40	
Max Stress Intensity:	67071.2	@Node	40	

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 55 (OCC) L55=L27+L43

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 55 (OCC)	L55=L27+L43	
Ratio (%) :	28.0	@Node	548	
Code Stress:	50336.7	Allowable Stress:		179912.5
Axial Stress:	16311.9	@Node	370	
Bending Stress:	48532.6	@Node	548	
Torsion Stress:	3032.7	@Node	569	
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40	
Max Stress Intensity:	62440.9	@Node	548	

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 56 (OCC) L56=L27+L44

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 56 (OCC)	L56=L27+L44	
Ratio (%) :	30.8	@Node	548	
Code Stress:	55405.2	Allowable Stress:		179912.5
Axial Stress:	19785.1	@Node	1010	
Bending Stress:	54905.5	@Node	548	
Torsion Stress:	2334.6	@Node	569	
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40	
Max Stress Intensity:	69103.8	@Node	548	

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 57 (OCC) L57=L27+L45

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 57 (OCC)	L57=L27+L45	
Ratio (%) :	30.8	@Node	548	
Code Stress:	55382.0	Allowable Stress:		179912.5
Axial Stress:	19819.0	@Node	1010	
Bending Stress:	54875.9	@Node	548	
Torsion Stress:	2346.1	@Node	569	
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40	
Max Stress Intensity:	69073.1	@Node	548	

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 58 (OCC) L58=L27+L46

Axial Stress:	15476.6	@Node	420
Bending Stress:	37939.0	@Node	578
Torsion Stress:	1672.0	@Node	569
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	52307.9	@Node	578

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 49 (OCC) L49=L27+L31

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 49 (OCC)	L49=L27+L31
Ratio (%):	22.9	@Node	578
Code Stress:	41160.8	Allowable Stress:	179912.5
Axial Stress:	15513.8	@Node	170
Bending Stress:	37942.8	@Node	578
Torsion Stress:	1558.6	@Node	490
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	52312.9	@Node	578

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 50 (OCC) L50=L27+L32

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 50 (OCC)	L50=L27+L32
Ratio (%):	23.4	@Node	548
Code Stress:	42168.3	Allowable Stress:	179912.5
Axial Stress:	15749.9	@Node	420
Bending Stress:	37687.0	@Node	548
Torsion Stress:	1614.0	@Node	490
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	51882.5	@Node	578

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 51 (OCC) L51=L27+L33

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 51 (OCC)	L51=L27+L33
Ratio (%):	23.4	@Node	548
Code Stress:	42168.3	Allowable Stress:	179912.5
Axial Stress:	15535.7	@Node	1018
Bending Stress:	37686.9	@Node	548
Torsion Stress:	1450.0	@Node	490
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	51881.3	@Node	578

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 52 (OCC) L52=L27+L40

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 52 (OCC)	L52=L27+L40
Ratio (%):	30.1	@Node	40
Code Stress:	54080.8	Allowable Stress:	179912.5
Axial Stress:	16293.5	@Node	370
Bending Stress:	48467.4	@Node	548
Torsion Stress:	2991.7	@Node	569
Hoop Stress:	31010.1	@Node	40
Max Stress Intensity:	67074.4	@Node	40

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 53 (OCC) L53=L27+L41

Highest Stresses: (KPa	)	LOADCASE 53 (OCC)	L53=L27+L41
------------------------	---	-------------------	-------------

```

Highest Stresses: (KPa      ) LOADCASE 58 (OCC) L58=L27+L46
Ratio (%):                30.8      @Node    548
Code Stress:              55405.5    Allowable Stress:    179912.5
Axial Stress:             19782.8    @Node   1010
Bending Stress:           54905.7    @Node    548
Torsion Stress:           2324.2     @Node    569
Hoop Stress:              31010.1    @Node    40
Max Stress Intensity:     69104.1    @Node    548

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 59 (OCC) L59=L27+L47

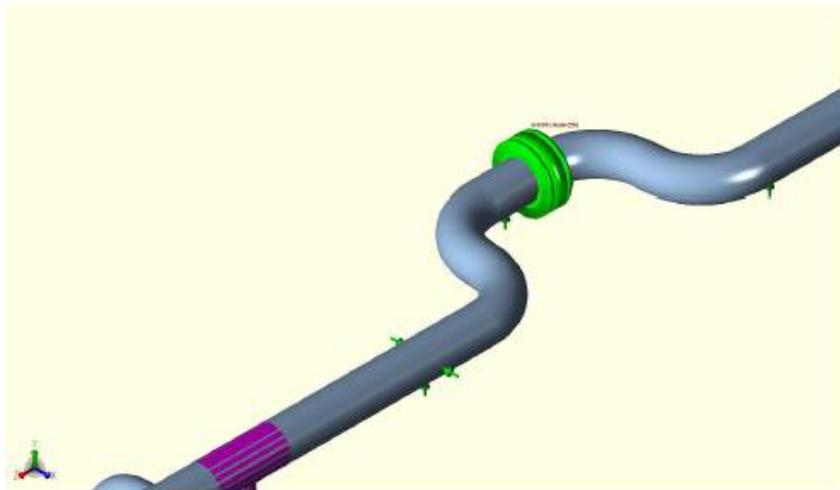
Highest Stresses: (KPa      ) LOADCASE 59 (OCC) L59=L27+L47
Ratio (%):                30.8      @Node    548
Code Stress:              55382.2    Allowable Stress:    179912.5
Axial Stress:             19816.7    @Node   1010
Bending Stress:           54876.2    @Node    548
Torsion Stress:           2245.7     @Node    569
Hoop Stress:              31010.1    @Node    40
Max Stress Intensity:     69073.4    @Node    548

```

Fuente: Empresa Grupo Cobra

Figura 24: Máximo desplazamiento Dx en operación normal

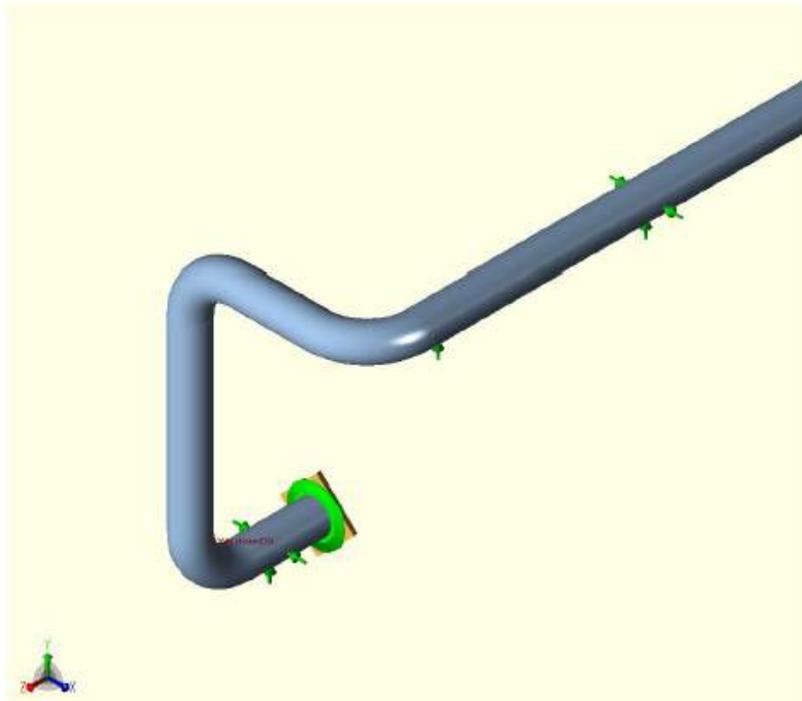
NODO 250 Desplazamiento = -9.5 mm



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Figura 25: Máximo desplazamiento  $D_y$  en operación normal

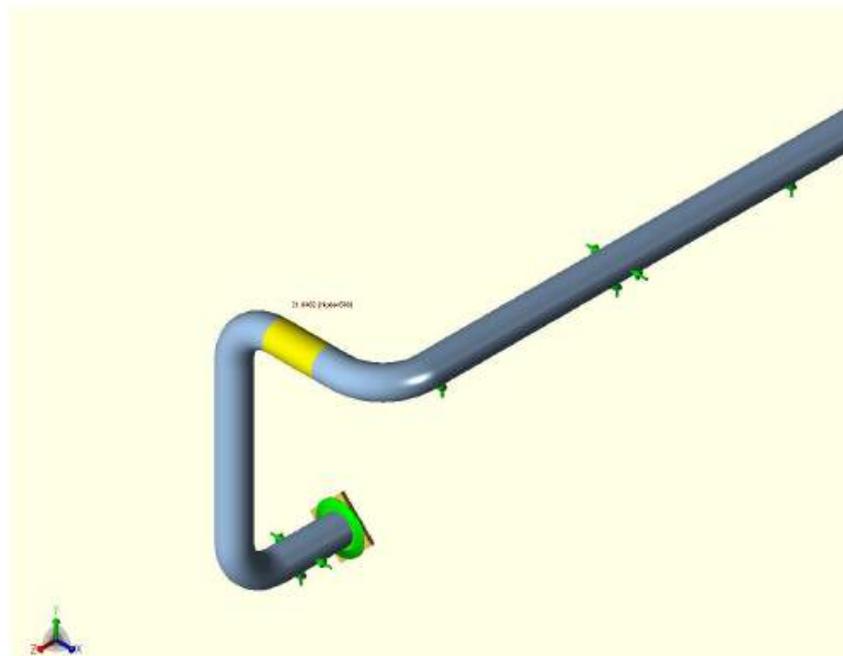
NODO 578 Desplazamiento = -9.26 mm



Fuente: Empresa Grupo Cobra

Figura 26: Máximo desplazamiento  $D_z$  en operación normal

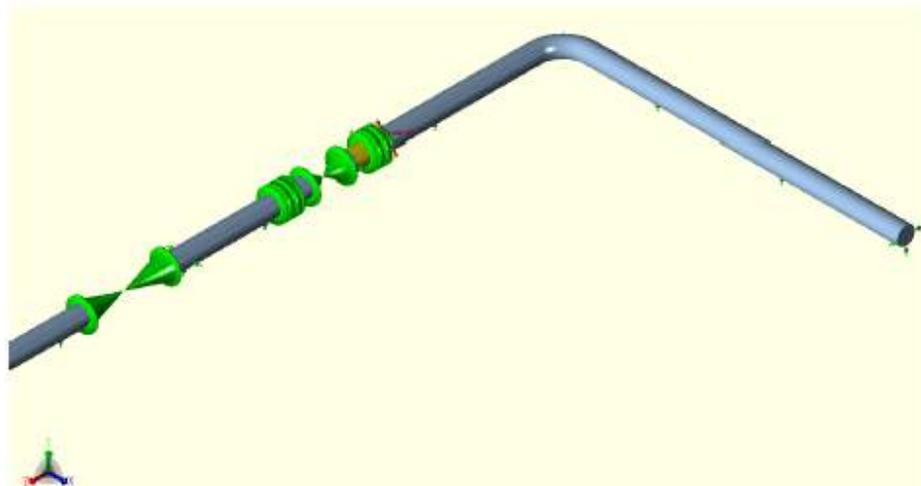
NODO 568 Desplazamiento = 21.94 mm



Fuente: Empresa Grupo Cobra

*Figura 27: Máxima carga en sostenido*

NODO 40



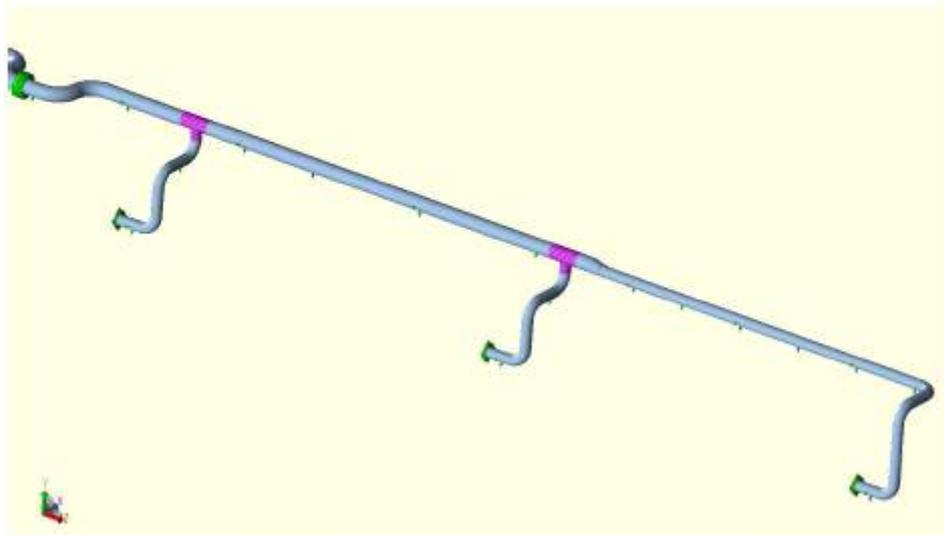
*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

*Figura 28: Conexión a Calderas*

CALDERA A = NODO 800

CALDERA B = NODO 690

CALDERA A = NODO 610



*Fuente: Empresa Grupo Cobra*

## **IV DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN**

### **4.1. Discusión**

- Debido a que el análisis teórico es de carácter limitativo se hace necesario realizar el análisis mediante el uso de software.
- El uso de herramientas informáticas ofrece resultados confiables, pero existe la necesidad de que el usuario o diseñador tenga como base la teoría de análisis de esfuerzos.
- El conocimiento de la teoría de análisis de esfuerzos hace posible que el replanteo de la configuración de un sistema de tuberías sea más dinámico al utilizar las herramientas informáticas.
- Debido a las condiciones del proyecto de utilizar un software compatible al software de dibujo y modelado, se optó por el uso del CAESAR II, por cumplir con todos los requisitos

### **4.2. Conclusiones**

- En este trabajo se establecieron los lineamientos para la elaboración y verificación de análisis de esfuerzos de los sistemas críticos de tuberías de acuerdo a los códigos ASME, Global Practices y estándares propios de la empresa.
- Se determinó las cargas transmitidas por el sistema de tuberías a los soportes asociados para su correspondiente diseño, validando, además, la configuración del sistema mostrado en los isométricos.
- Se determinó los requerimientos mínimos necesarios para garantizar la integridad estructural de los sistemas de tuberías, cuyas configuraciones propuestas permitieron obtener esfuerzos resultantes dentro los valores permitidos por los códigos, normas y estándares aplicables, lo que determinó

en poder conseguir un buen rendimiento y funcionamiento estructural y mecánico, para las condiciones de operación y diseño de la planta.

- Se determinó un estado de esfuerzos en las cargas admisibles de los equipos estáticos y/o dinámicos asociados al sistema de tuberías bajo las condiciones de operación y construcción, lo que permitió garantizar que las boquillas de conexión de los equipos cumplieran con las recomendaciones de los fabricantes, según las normas, códigos y estándares establecidos.

## **V RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un análisis preliminar de esfuerzos antes de recibir datos de los fabricantes de equipos, y realizar un análisis final de esfuerzos cuando ya se cuente con estos datos.
- Se recomienda una constante comunicación interdisciplinaria con los departamentos civil, mecánico y procesos para una mejor evaluación de la configuración de los sistemas de tuberías y así anticipar las interferencias y posibles cambios en la ingeniería que podrían repercutir en la configuración del sistema.

## **VI BIBLIOGRAFÍA**

- PENG, L.C. Pipe Stress Engineering, Houston, Texas, Peng Engineering.
- KANNAPPAN, Sam. Introduction to Pipe Stress Analysis, Knoxville, Tennessee, John Willey & Sons, 1986
- NAYYAR, Mohinder L. Piping Handbook, México D.C. Mc Graw.Hill, 2000.
- DET NORSKE VERITAS, Structural Analysis of Piping Systems, Norway, Det Norske Veritas, 2008.

- CONSUEGRA, Deyanira. Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías, Maracaibo, 2014.

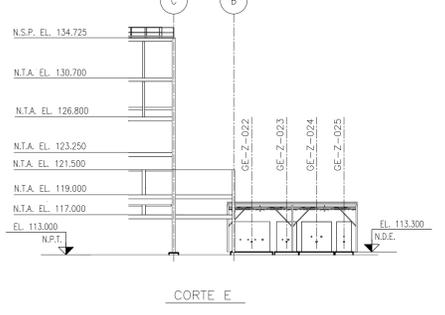
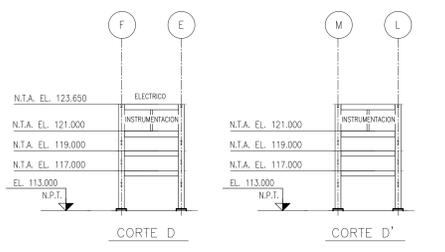
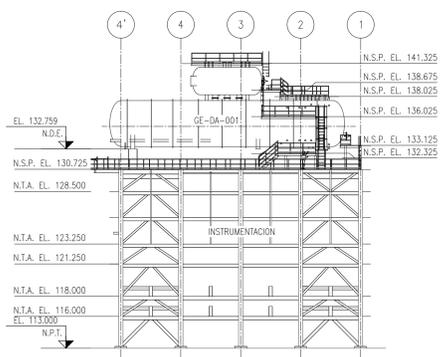
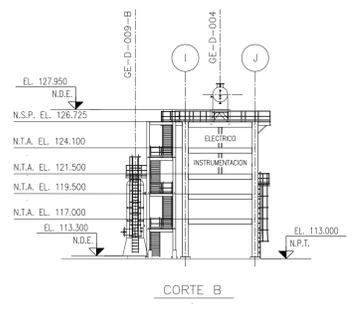
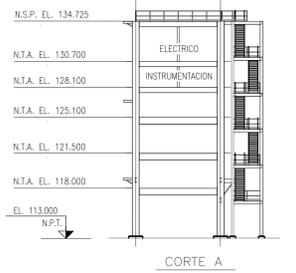
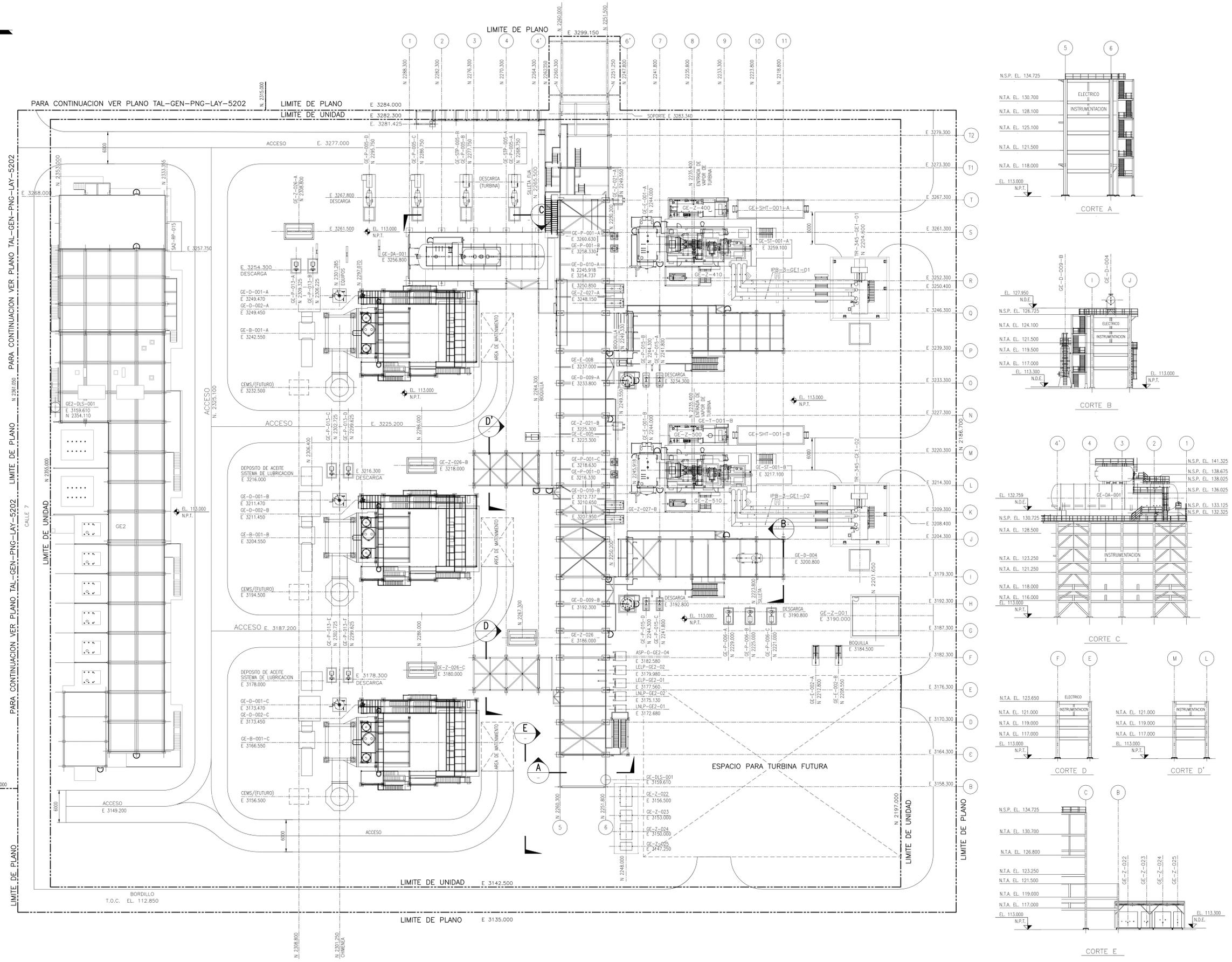
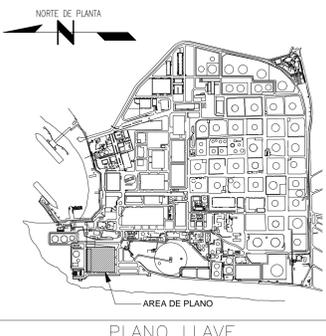
## **VII ANEXOS**

### **7.1. Plano de Implantación de la Unidad GE**

### **7.2. Isométricos de Esfuerzo**

### **7.3. Espacio Admisible para Tuberías y Métodos Manuales**

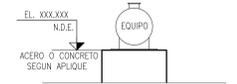
## 7.1.-PLANO DE IMPLANTACIÓN DE LA UNIDAD GE



TAG	DESCRIPCION DE EQUIPO	ELEVACION
<b>CALDERAS</b>		
GE-B-001-A	CALDERA DE VAPOR A	N.D.E. EL. 115.645
GE-B-001-B	CALDERA DE VAPOR B	N.D.E. EL. 115.645
GE-B-001-C	CALDERA DE VAPOR C	N.D.E. EL. 115.645
<b>TANQUES</b>		
GE-D-001-A	TANQUE DE PURGA INTERMITENTE DE LA CALDERA DE VAPOR A	N.D.E. EL. 113.200
GE-D-001-B	TANQUE DE PURGA INTERMITENTE DE LA CALDERA DE VAPOR B	N.D.E. EL. 113.200
GE-D-001-C	TANQUE DE PURGA INTERMITENTE DE LA CALDERA DE VAPOR C	N.D.E. EL. 113.200
GE-D-002-A	TANQUE DE PURGA CONTINUA DE LA CALDERA DE VAPOR A	N.D.E. EL. 117.980
GE-D-002-B	TANQUE DE PURGA CONTINUA DE LA CALDERA DE VAPOR B	N.D.E. EL. 117.980
GE-D-002-C	TANQUE DE PURGA CONTINUA DE LA CALDERA DE VAPOR C	N.D.E. EL. 117.980
GE-D-004	TANQUE DE COMPENSACION	N.D.E. EL. 127.950
GE-D-009-A	TANQUE ATMOSFERICO DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-D-009-B	TANQUE ATMOSFERICO DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-D-010-A	TANQUE DE EXPANSION DEL CONDENSADOR A	N.D.E. EL. 117.702
GE-D-010-B	TANQUE DE EXPANSION DEL CONDENSADOR B	N.D.E. EL. 117.702
GE-DA-001	DESARMAADOR	N.D.E. EL. 132.759
<b>CONDENSADORES</b>		
GE-E-001-A	CONDENSADOR A	N.D.E. EL. 118.327
GE-E-001-B	CONDENSADOR B	N.D.E. EL. 118.327
<b>INTERCAMBIADORES</b>		
GE-E-002-A	INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL CIRCUITO CERRADO DE REFRIGERACION	N.D.E. EL. 113.400
GE-E-002-B	INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL CIRCUITO CERRADO DE REFRIGERACION	N.D.E. EL. 113.400
GE-E-005	ENFRIADOR DE DRENAJES DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-E-008	ENFRIADOR DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
<b>BOMBAS</b>		
GE-P-001-A	BOMBA DE CONDENSADO	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-001-B	BOMBA DE CONDENSADO	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-001-C	BOMBA DE CONDENSADO	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-001-D	BOMBA DE CONDENSADO	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-005-A	BOMBA DE ALIMENTACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-005-B	BOMBA DE ALIMENTACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-005-C	BOMBA DE ALIMENTACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-005-D	BOMBA DE ALIMENTACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-006-A	BOMBA DEL CIRCUITO CERRADO DE REFRIGERACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-006-B	BOMBA DEL CIRCUITO CERRADO DE REFRIGERACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-006-C	BOMBA DEL CIRCUITO CERRADO DE REFRIGERACION	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-A	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-B	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-C	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-D	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-E	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-013-F	BOMBA DE PURGA DE CALDERA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-015-A	BOMBA DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-015-B	BOMBA DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-015-C	BOMBA DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-P-015-D	BOMBA DE DRENAJES DE TURBINA	N.D.E. EL. 113.300
<b>TURBINAS</b>		
GE-ST-001-A	TURBINA DE VAPOR A	N.D.E. EL. 118.327
GE-ST-001-B	TURBINA DE VAPOR B	N.D.E. EL. 118.327
GE-STP-005-A	TURBINA BOMBA DE ALIMENTACION A	N.D.E. EL. 113.300
GE-STP-005-B	TURBINA BOMBA DE ALIMENTACION B	N.D.E. EL. 113.300
<b>EQUIPOS PAQUETE</b>		
GE-Z-021-A	PAQUETE DE LIMPIEZA DEL CONDENSADOR	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-021-B	PAQUETE DE LIMPIEZA DEL CONDENSADOR	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-022	PAQUETE DE INYECCION DE ANINA	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-023	PAQUETE DE INYECCION DE SECUESTRANTE DE OXIGENO	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-024	PAQUETE DE INYECCION DE FOSFATO	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-025	PAQUETE DE INYECCION DE INHIBIDOR DE CORROSION	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-027-A	SISTEMA DE VACIO DEL CONDENSADOR	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-027-B	SISTEMA DE VACIO DEL CONDENSADOR	N.D.E. EL. 113.300
<b>MUESTREO</b>		
GE-Z-026	SISTEMA DE MUESTREO	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-026-A	SISTEMA DE MUESTREO CALDERA A	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-026-B	SISTEMA DE MUESTREO CALDERA B	N.D.E. EL. 113.300
GE-Z-026-C	SISTEMA DE MUESTREO CALDERA C	N.D.E. EL. 113.300
<b>EQUIPOS PAQUETE</b>		
GE-Z-400	SISTEMA LUBRICACION TURBINA A	N.D.E. EL. 113.450
GE-Z-500	SISTEMA LUBRICACION TURBINA B	N.D.E. EL. 113.450
GE-Z-410	PAQUETE DE VIENTO DE SELLOS DE TURBINA A	N.D.E. EL. 117.975
GE-Z-510	PAQUETE DE VIENTO DE SELLOS DE TURBINA B	N.D.E. EL. 117.975
<b>EQUIPO ELECTRICO</b>		
GE-SHT-001-A	CONTENEDOR MCC/UPS	N.D.E. EL. 113.200
GE-SHT-001-B	CONTENEDOR MCC/UPS	N.D.E. EL. 113.200
IPB-3-GE1-01	BARRA DE FASE AISLADA	N/A
IPB-3-GE1-02	BARRA DE FASE AISLADA	N/A
TR-345-GE1-01	TRANSFORMADOR DE POTENCIA	N.D.E. EL. 113.300
TR-345-GE1-02	TRANSFORMADOR DE POTENCIA	N.D.E. EL. 113.300
<b>MISCELANEOS</b>		
GE2	SUBESTACION ELECTRICA	N.D.E. EL. 113.250
GE-Z-001	CAJA DE VALVULAS AGUA DE MAR DE ENFRAMADO	N/A
GE2-DLS-001	REGADERAS DE EMERGENCIA	N.D.E. EL. 113.000
GE2-DLS-001	REGADERAS DE EMERGENCIA	N.D.E. EL. 113.000
<b>MUESTREO</b>		
CEMS(FUTURO)		N.D.E. EL. 113.300
<b>EQUIPO ELECTRICO</b>		
ASP-D-GE2-04	TABLERO DE ALUMBRADO	N.D.E. EL. 113.200
LELP-GE2-01	TABLERO DE ALUMBRADO	N.D.E. EL. 113.200
LELP-GE2-02	TABLERO DE ALUMBRADO	N.D.E. EL. 113.200
LNLP-GE2-01	TABLERO DE ALUMBRADO	N.D.E. EL. 113.200
LNLP-GE2-02	TABLERO DE ALUMBRADO	N.D.E. EL. 113.200



**NOMENCLATURA:**  
 EL. XXX.XXX NIVEL DE PISO TERMINADO  
 N.P.T. NIVEL TORPE DE ACERO  
 N.P.T. NIVEL PISO TERMINADO  
 N.D.E. NIVEL DESPLANTE DE EQUIPO  
 N.S.P. NIVEL SUPERIOR DE PLATAFORMA  
 T.O.C. ELEVACION A PUNTO ALTO DE HORMIGON



PLANO REF. N°	PLANOS DE REFERENCIA	N° REV.	FECHA	DESCRIPCION DE LA DMSN	ELAB.	REV.	APR.
TAL-GE-CV-DRW-6041-01	RACK PRINCIPAL ESTRUCTURA METALICA PLANTA 1/3						
TAL-GE-CV-DRW-6031-01	RACK AUXILIAR TURBINA 1 ESTRUCTURA METALICA PLANTA 1/2						
TAL-GE-CV-DRW-6028-01	RACK AUXILIAR 3 ESTRUCTURA METALICA PLANTAS 1/2						
TAL-GE-CV-DRW-6020-01	RACK AUXILIAR 2 ESTRUCTURA METALICA PLANTAS 1/2						
TAL-GE-CV-DRW-6014-01	RACK AUXILIAR 1 ESTRUCTURA METALICA PLANTAS 1/4						
TAL-GEN-PNG-LAY-0001	IMPLANTACION GENERAL DE LAS UNIDADES PROYECTO UNARC						
TAL-GEN-PNG-LAY-5202	IMPLANTACION DE LAS UNIDADES SEV Y RDO						

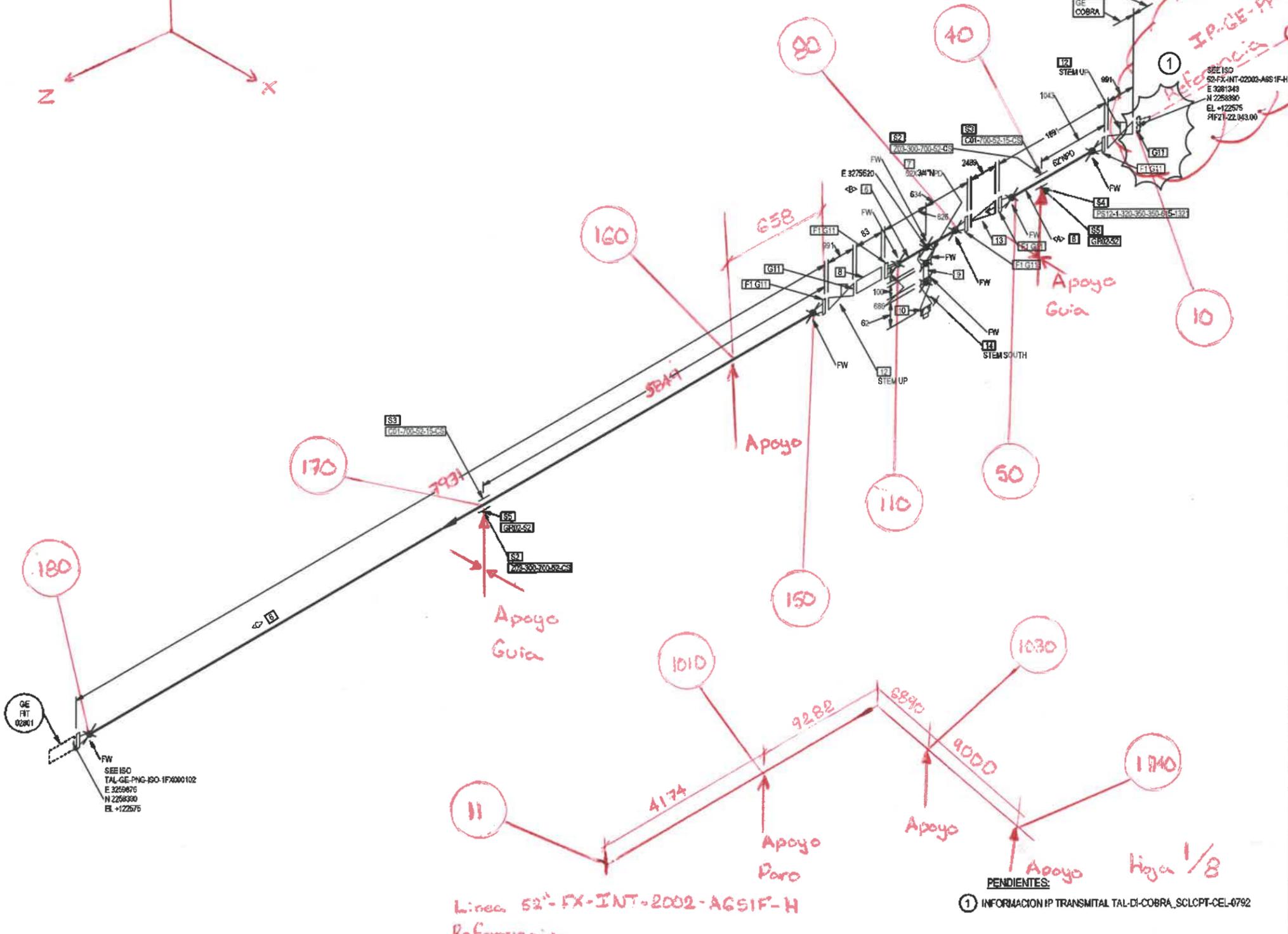
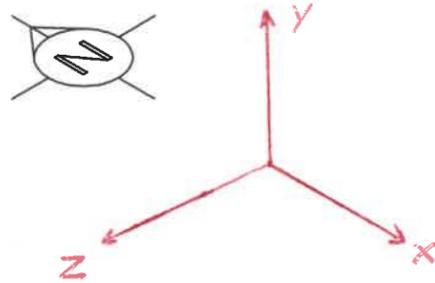
NO.	FECHA	DESCRIPCION DE LA DMSN	ELAB.	REV.	APR.
02	20/05/2019	EMITIDO INCLUIDOS COMENTARIOS	ESR	EPP	JRV
01	15/11/2018	EMITIDO PARA DISEÑO	ESR	EPP	JRV
00	17/08/2018	EMITIDO PARA DISEÑO	ESR	JRV	MUJ



IMPLANTACION DE LA UNIDAD GE

ESCALA:	1:250	PLANO CLIENTE N°:	TAL-GE-PNG-LAY-0104	PAG:	1	DE:	1	REV:	02
---------	-------	-------------------	---------------------	------	---	-----	---	------	----

## 7.2.-ISOMÉTRICOS DE ESFUERZO



### LISTA DE MATERIALES

ITEM	DIAM (n)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
1	52	WN FLANGE, ASTM A105, NACE, 150#, RF, ASME B16.47 Serie B	HFVNF1A2017B0A90	5
<b>PIPE SUPPORTS</b>				
2	52	VARIABLE HEIGHT PIPE 26" TO 60"	Z03-300-700-52-C	2
3	52	SINGLE CRADLES 2 TO 60"	C01-700-52-15-CS	2
4	52	SUPPORT FROM EXISTING STEEL	PS12-1-320-350-3	1
5	52	GUIDE ON PIPE RACK WITH SHOE 2" TO 60"	GR02-52	2
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
6	52	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 CL32, 15.88 mm, BE, ASME B36.10	HPPIPEA140202A11	16.0 M
<b>FITTINGS</b>				
7	52X	SOCKET, ASTM A105, NACE, 6000#, SW,	HOSOKTA201D30D21	1
8	34	MSS-SP-87	HMSPCA4011B0A10	1
9	52	SPACER RING, ASTM A515 Gr. 70, NACE, 150#, RF, AS PER ASME B16.47 Serie B	HPNIPPA101302A10	1
10	34	NIPPLE 100 mm, ASTM A106 Gr. B, NACE, PE, ASME B36.10	HCPLUHA201300A41	1
11	52	HEX HEAD PLUG, ASTM A105, NACE, 3000, THRD, ASME B16.11	HGSPWGO1041BGAC0	7
12	52	SPIRAL WOUND GKT, 316 GRAPHITE - C. RINGS/316 L RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HVGA10A5012B2A11	2
13	52	GAT V FLANGED ENDS, ASTM A216 Gr. WCB, NACE, 150#, RF, B16.10(B), GEAR OP., TRIM N12	HVCA10A5012B0A11	1
14	34	SWING CHK V FLANG ENDS, ASTM A216 GR. WCB, NACE, 150#, RF, B16.10 (B), -, TRIM N12	HVGA30A201EH1M10	1

TAL-GE-PNG-CAL-0009  
EPP

#### LISTA DE CORTES

PIEZA	DIAM	LONG.	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG.	PREP 1	PREP 2
<>	52	1380	BEVEL	BEVEL					
<>	52	948	BEVEL	BEVEL					
<>	52	13519	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

**PETROPERU** PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA  
UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

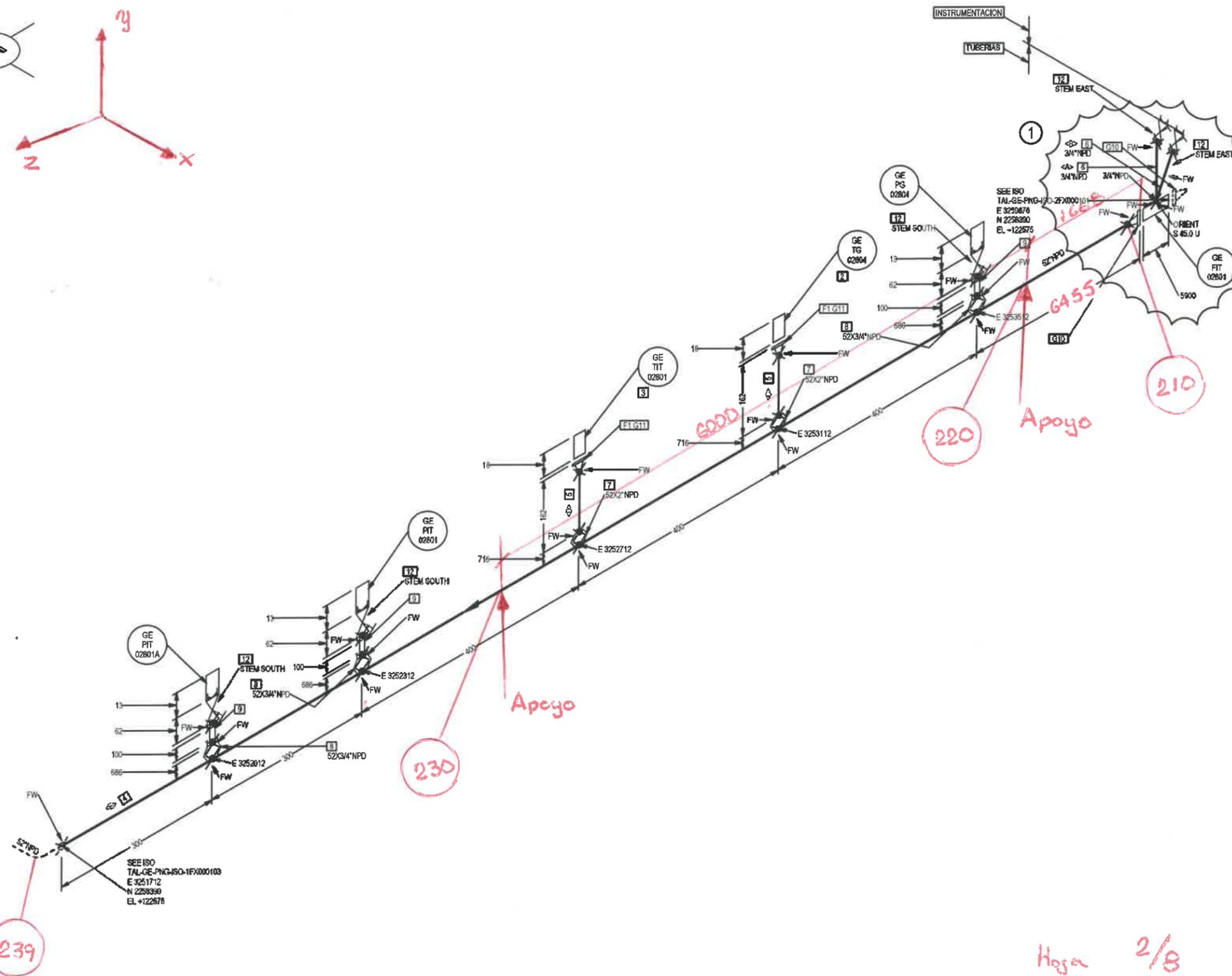
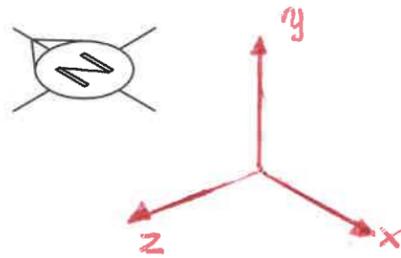


FECHA DE EXTRACCIÓN: APR 11, 2019

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

NOTAS GENERALES		ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm 2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros		TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
		TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0015-01	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
		SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LÍQUIDOS	RX	TRACÉADO		DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	52"-FX-GE-01501-A6S1F-H		
INSPECCIÓN VISUAL		FLUIDO	N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			

PLANO		REV.
FX, FLEXIGAS		00
LINEA: 52"-FX-GE-01501-A6S1F-H		
NÚMERO DE PLANO		
TAL-GE-PNG-ISO-2FX000101		



**LISTA DE MATERIALES**

ITEM	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
1	2	WN FLANGE, ASTM A105, NACE, 150#, RF, ASME B16.5	HPWNFLA2017B0A30	2
<b>INSTRUMENTS</b>				
2	2	GE-TG-02804 GETG02804		1
3	2	GE-TIT-02801 GETT02801		1
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
4	52	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 Cl.32, 15.88 mm, BE, ASME B36.10	HPPIPEA140202A11	2.1 M
5	2	PIPE SMLS, ASTM A106 Gr. B, S-180, NACE, BE, ASME B36.10	HPPIPEA101201A10	0.2 M
6	3/4	PIPE SMLS, ASTM A106 Gr. B, S-XXS, NACE, PE, ASME B36.10	HPPIPEA101101A10	0.3 M
<b>FITTINGS</b>				
7	52X2	WELDOLET, ASTM A105, NACE, 15.88 mm x S-150, BW, MSS-SP-97	HOWQLTA201L00D21	2
8	52X	SOCKOLET, ASTM A105, NACE, 6000#, SW, MSS-SP-97	HOSOKTA201D30D21	3
9	3/4	NIPPLE 100 mm, ASTM A106 Gr. B, NACE, PE, ASME B36.10	HPNPPA101302A10	3
10	52	SPIRAL WOUND GKT, 316GRAPHITE - C. RING/316 I. RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HGSPWQG1041BGACO	2
11	2	SPIRAL WOUND GKT, 316GRAPHITE - C. RING/316 I. RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HGSPWQG10416GAAD	2
12	3/4	GAT V FEM ENDS, ASTM A105, NACE, 1500#, SW/THR. MANUF STD, HANDW., TRIM N12	HVGA30A201EH1M10	5

TAL-GE-PNG-CAL-0009 EPP

PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2
<>	3/4"	120	SO-CUT	SO-CUT					
<>	2"	100	BEVEL	BEVEL					
<>	52"	2100	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

**PETROPERU** PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS



**INGENIERÍA DE DETALLE**

PLANO	FX, FLEXIGAS
LINEA: 52"-FX-GE-01501-A6S1F-H	
NÚMERO DE PLANO	REV.
TAL-GE-PNG-ISO-1FX000102	00

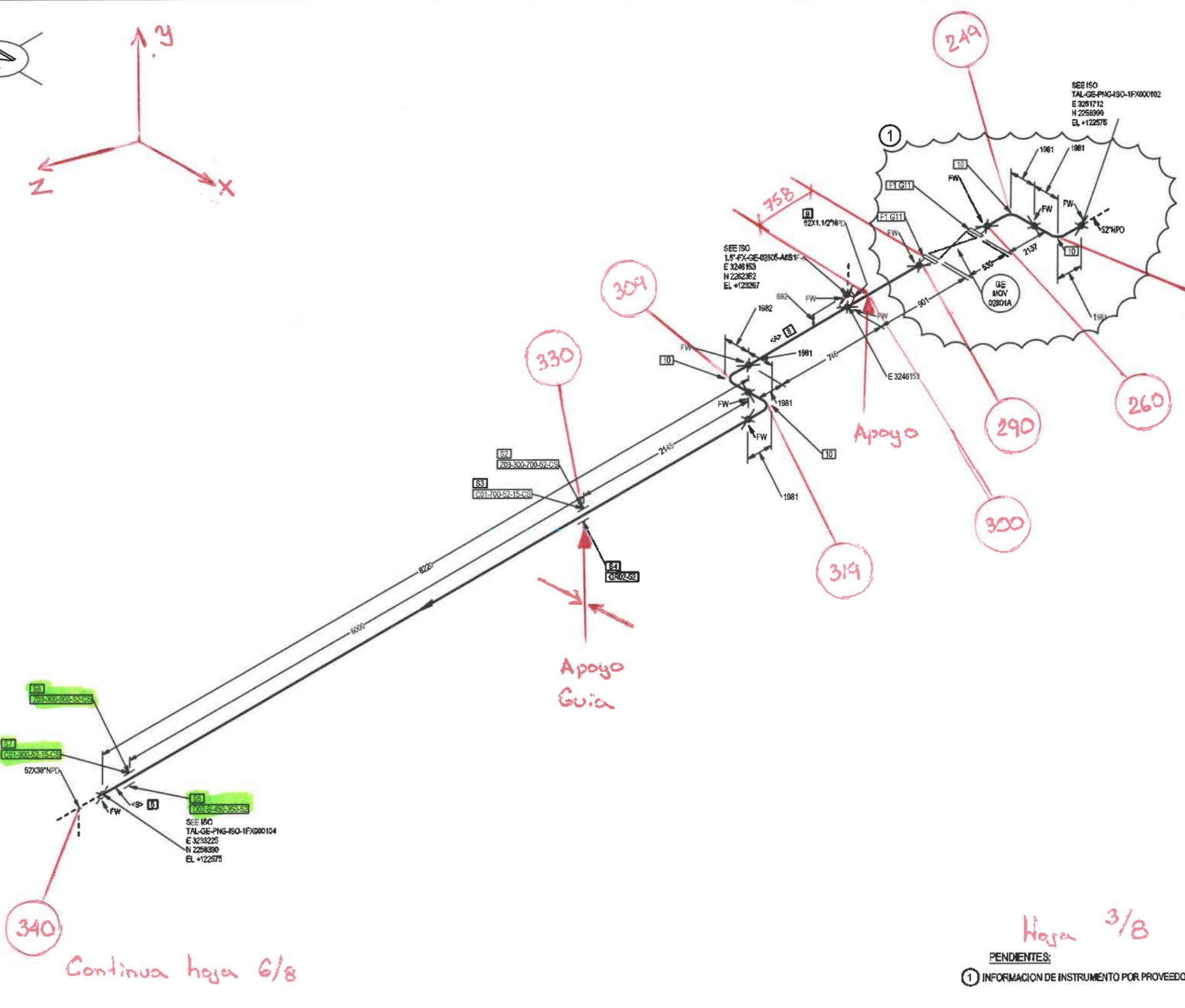
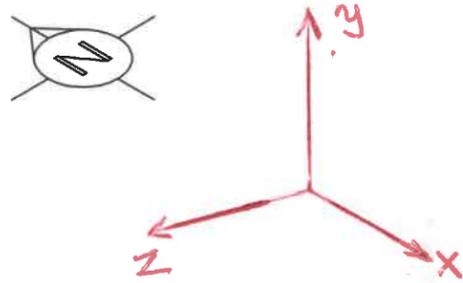
Hoja 2/3

PENDIENTES:  
① INFORMACION DE INSTRUMENTO POR PROVEEDOR

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

**NOTAS GENERALES**  
1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm  
2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros

ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0015-01	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LÍQUIDOS RX	TRACEADO	DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	52"-FX-GE-01501-A6S1F-H		
INSPECCIÓN VISUAL	FLUIDO N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			



### LISTA DE MATERIALES

ITEM	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
1	52	WN FLANGE, ASTM A105, NACE, 150#, RF, ASME B16.47 Serie B	HFWNFLA2017B0A90	2
<b>PIPE SUPPORTS</b>				
2	52	VARIABLE HEIGHT PIPE 26" TO 60"	Z03-300-700-52-C	1
3	52	SINGLE CRADLES 2 TO 60"	C01-700-52-15-CS	1
4	52	GUIDE ON PIPE RACK WITH SHOE 2" TO 60"	GR02-52	1
5	52	DIRECTIONAL ANCHOR WITH SHOE 2" TO 60"	D02-B-450-350-52	1
6	52	VARIABLE HEIGHT PIPE 26" TO 60"	Z03-300-900-52-C	1
7	52	SINGLE CRADLES 2 TO 60"	C01-900-52-15-CS	1
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
8	52	PIPE EFW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 CL.32, 15.88 mm, BE, ASME B36.10	HPPIPEA140202A11	9.8 M
<b>FITTINGS</b>				
9	52X	SOCKET, ASTM A105, NACE, 6000#, SW, MSS-SP-87	HOSOKTA201D30D21	1
10	1.1/2	90 DEG ELBOW LR, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPBW, NACE, 15.88 mm, BW, AS PER ASME B16.9	HA90ELA302C03MG1	4
11	52	SPIRAL WOUND GKT, 316/GRAPHITE-C. RING/316 I. RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HGSPWQ1041BGAC0	2

TAL-GE-PNG-CAL-0009 EPP

### LISTA DE CORTES

PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2
<A>	52"	1491	BEVEL	BEVEL					
<B>	52"	6220	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

Hoja 3/8

PENDIENTES:  
 ① INFORMACION DE INSTRUMENTO POR PROVEEDOR

Continua hoja 6/8

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

NOTAS GENERALES		ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm 2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros		TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
		TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0015-01	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
		SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPÉ-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LÍQUIDOS	RX	TRACEADO		DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	52"-FX-GE-01501-A6S1F-H		
INSPECCIÓN VISUAL		FLUIDO	N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			

PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA  
 UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

**INGENIERÍA DE DETALLE**

COBRA SCL UA&TC

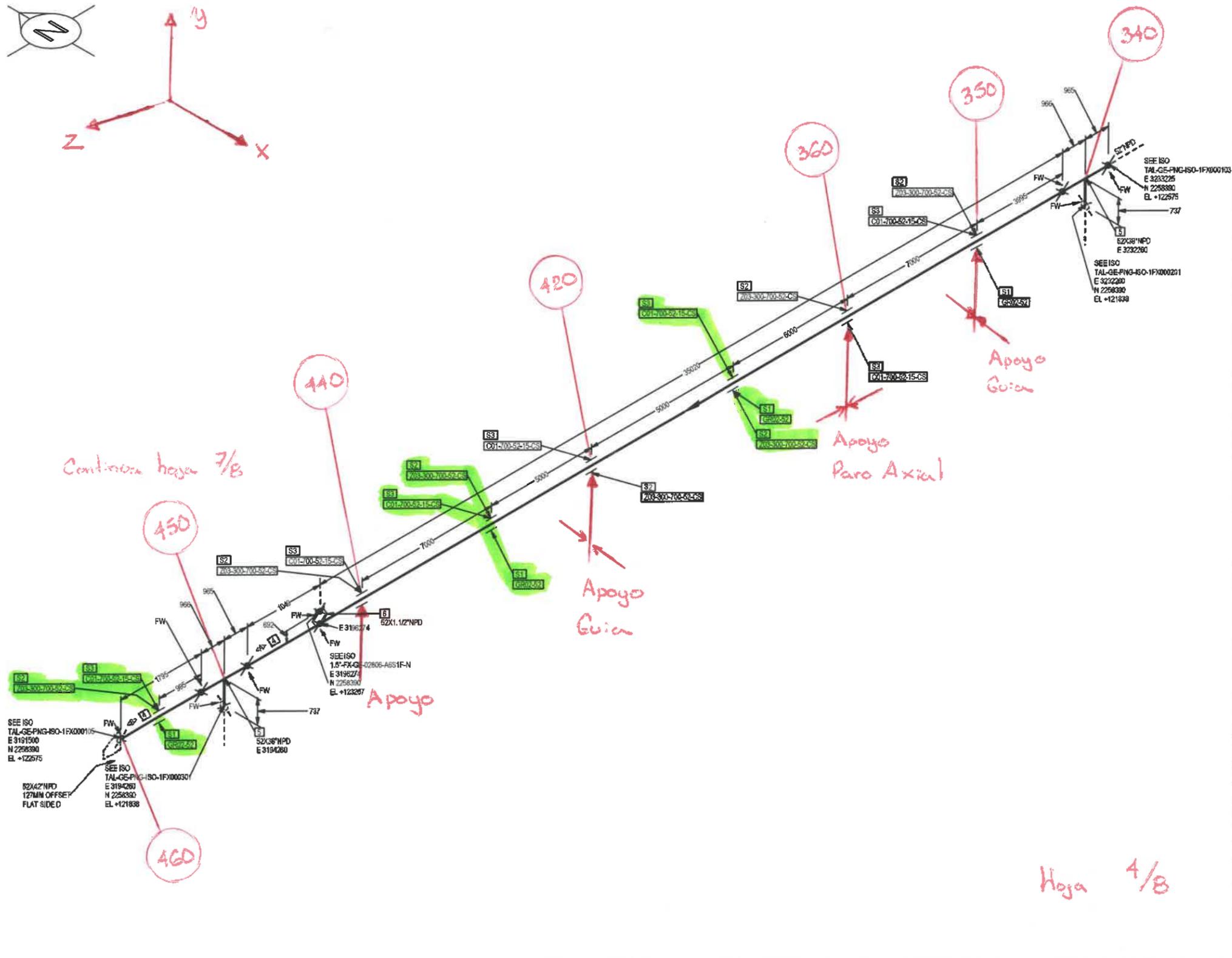
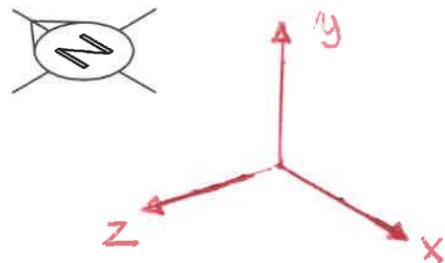
PLANO

FX, FLEXIGAS

LÍNEA: 52"-FX-GE-01501-A6S1F-H

NÚMERO DE PLANO  
 TAL-GE-PNG-ISO-1FX000103

REV. 00



**LISTA DE MATERIALES**

ITEM.	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE SUPPORTS</b>				
1	52	GUIDE ON PIPE RACK WITH SHCE 2" TO 60"	GR02-52	4
2	52	VARIABLE HEIGHT PIPE 26" TO 60"	Z03-300-700-52-C	7
3	52	SINGLE CRADLES 2 TO 60"	C01-700-52-15-CS	7
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
4	52	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 Cl.32, 15.88 mm, BE, ASME B36.10	HPP1PEA140202A11	37.9 M
<b>FITTINGS</b>				
5	52X38	RED TEE 90 DEG, SMILS, ASTM A234 Gr WPB, NACE, 15.88 mm, BW, MANUF STD	HART90A301C01MG0	2
6	52X	SOCKET, ASTM A103, NACE, 6000#, SW, 1.1/2 MSS-SP-97	HOSOKTA201D30D21	1

TAL-GE-PNG-CAL-0009  
EPP

**LISTA DE CORTES**

PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2
52	52	3070	BEVEL	BEVEL					
52	52	1795	BEVEL	BEVEL					

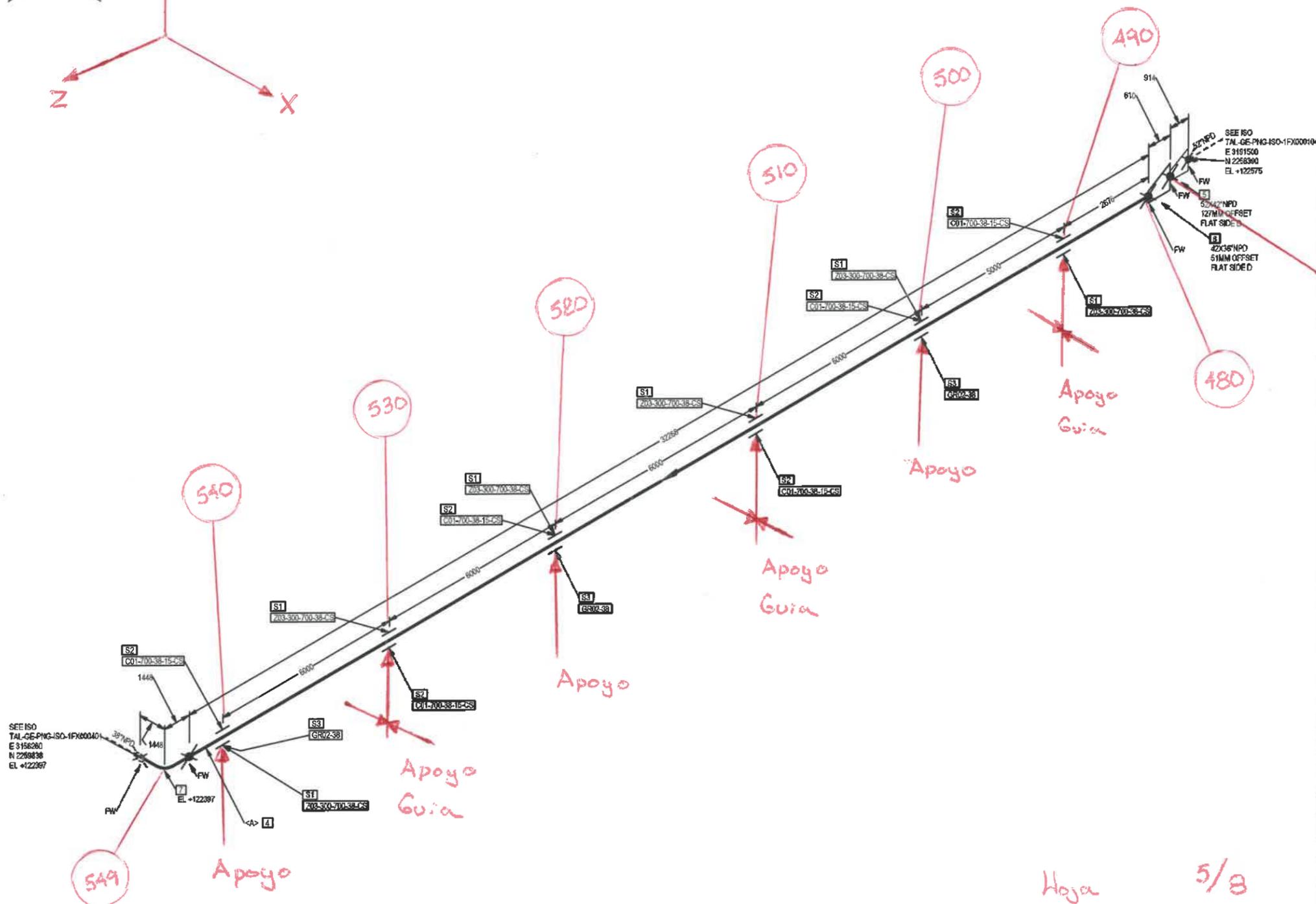
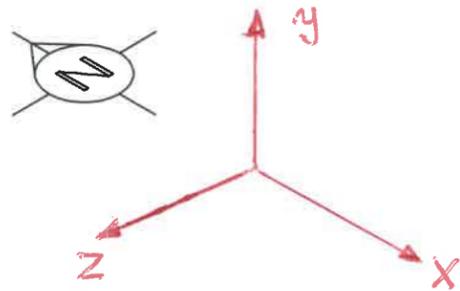
00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

Hoja 4/8

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

NOTAS GENERALES		ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm 2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros		TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
		TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0015-01	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
		SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
		LÍQUIDOS RX	TRACEADO	DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	52°-FX-GE-01501-A6S1F-H		
		INSPECCIÓN VISUAL	FLUIDO N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			

**INGENIERÍA DE DETALLE**  
 COBRA SCL UA&TC  
**PLANO**  
 FX, FLEXIGAS  
 LINEA: 52°-FX-GE-01501-A6S1F-H  
 NÚMERO DE PLANO  
 TAL-GE-PNG-ISO-1FX000104  
 REV. 00



Continua hoja 8/8

LISTA DE MATERIALES

ITEM	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE SUPPORTS</b>				
1	38	VARIABLE HEIGHT PIPE 26" TO 60"	Z03-300-700-38-C	6
2	38	SINGLE CRADLES 2 TO 60"	C01-700-38-15-CS	6
3	38	GUIDE ON PIPE RACK WITH SHOE 2" TO 60"	GR02-38	3
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
4	38	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 Cl.32, 14.27 mm, BE, ASME B36.10	HPP1PEA140202A11	32.3 M
<b>FITTINGS</b>				
5	52X42	ECC RED, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPB, NACE, 15.88 mm x 14.27 mm bore, BW, AS PER ASME B16.9	HAEREDA302C03M31	1
6	42X38	ECC RED, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPB, NACE, 14.27 mm x 14.27 mm bore, BW, ASME B16.9	HAEREDA302C03A51	1
7	38	90 DEG ELBOW LR, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPBW, NACE, 14.27 mm, BW, ASME B16.9	HA90ELA302C03A51	1

TAL-GE-PNG-CAL-0009  
EPP

LISTA DE CORTES

PIEZA	DIAM.	LONG.	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM.	LONG.	PREP 1	PREP 2
1	38"	32288	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

**PETROPERU** PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA  
UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS



INGENIERÍA DE DETALLE

PLANO	FX, FLEXIGAS
LINEA: 52"-FX-GE-01501-A6S1F-H	
NÚMERO DE PLANO	REV. 00
TAL-GE-PNG-ISO-1FX000105	

FECHA DE EXTRACCIÓN: APR 11, 2019

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

NOTAS GENERALES	
1.	Nivel de Pto Terminado 113000 mm
2.	Coordenadas y Elevaciones en Milímetros

ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0015-01	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LÍQUIDOS RX	TRACEADO	DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	52"-FX-GE-01501-A6S1F-H		
INSPECCIÓN VISUAL	FLUIDO N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			

Hoja 5/8

LISTA DE MATERIALES

ITEM	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
1	38	WN FLANGE, ASTM A105, NACE, 150#, RF, ASME B16.47 Serie B	HFWNFLA2017E0A90	1
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
2	38	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 CL32, 14.27 mm, BE, ASME B36.10	HPIPEA140202A11	7.8 M
<b>FITTINGS</b>				
3	38X 1.1/2	SOCKET, ASTM A105, NACE, 600#, SW, MSS-SP-97	HOSOKTA201D30D21	1
4	38	90 DEG ELBOW LR, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPBW, NACE, 14.27 mm, BW, ASME B16.9	HA90ELA302C03A51	3
5	38	SPIRAL WOUND GKT, 316/GRAPHITE - C. RING/316 L. RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HGSPWGO1041BGAC0	1

Continuacion Con Lo:ntek

TAL-GE-PNG-CAL-0009 EPP

LISTA DE CORTES

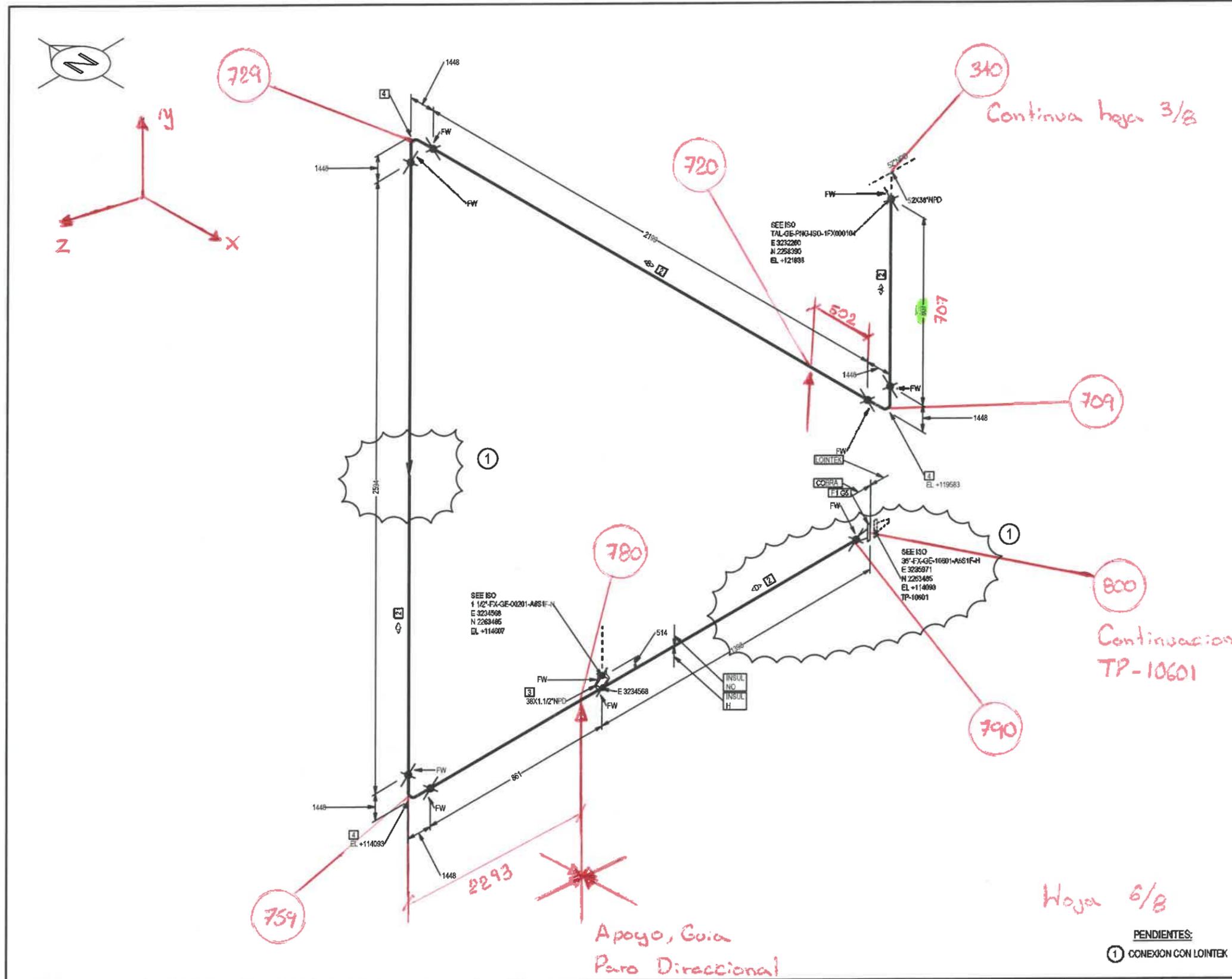
PIEZA	DIAM	LONG.	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG.	PREP 1	PREP 2
<>	38"	808	BEVEL	BEVEL					
<>	38"	7136	BEVEL	BEVEL					
<>	38"	2590	BEVEL	BEVEL					
<>	38"	7136	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

**PETROPERU** PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

**COBRA SCL** INGENIERÍA DE DETALLE

PLANO  
 LINEA: 38"-FX-GE-02802-A6S1F-H  
 NÚMERO DE PLANO  
 TAL-GE-PNG-ISO-1FX000201  
 REV. 00



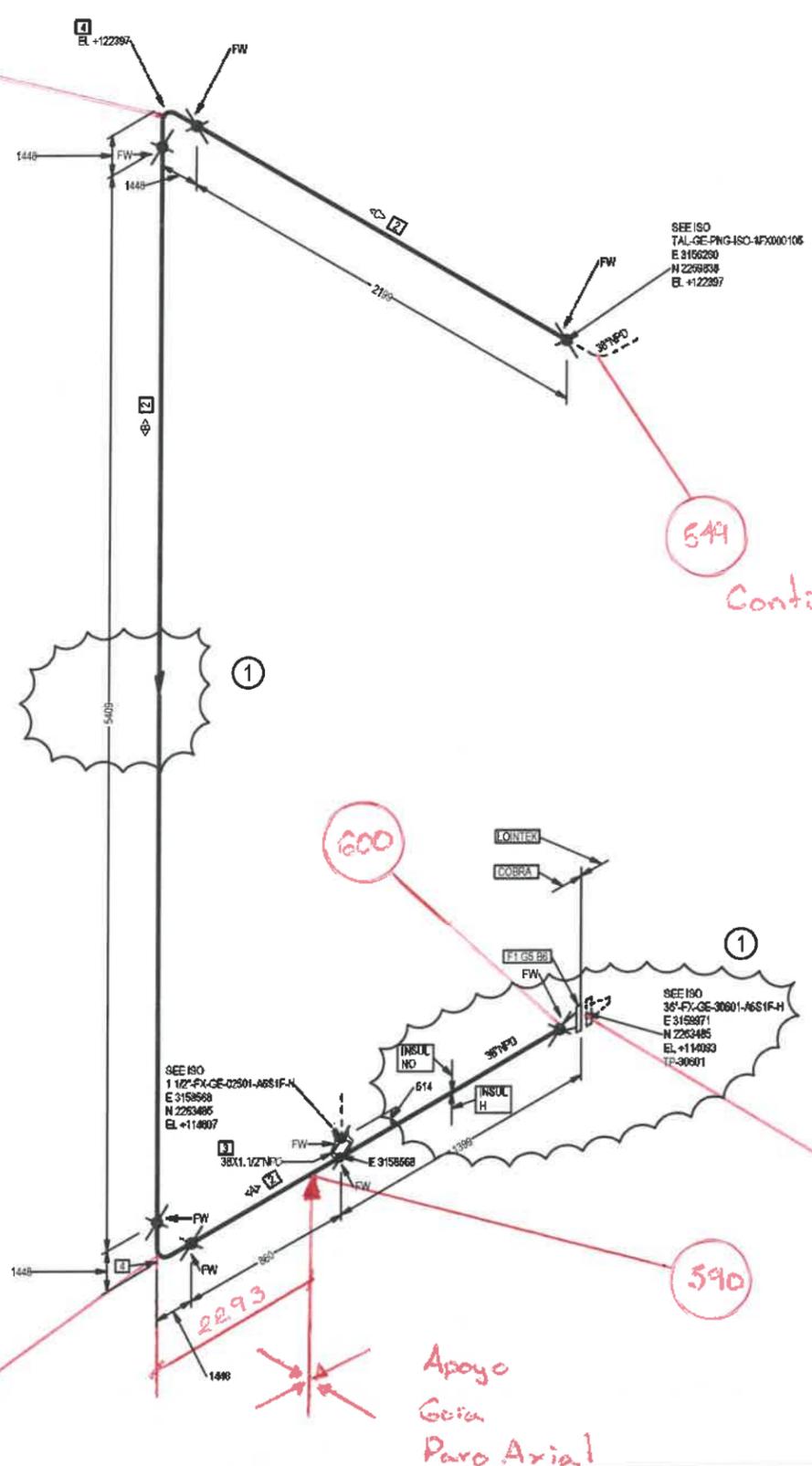
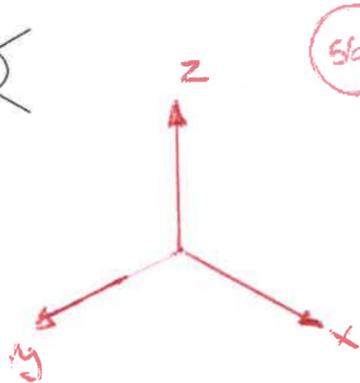
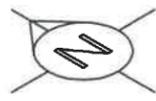
Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

**NOTAS GENERALES**  
 1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm  
 2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros

ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PROP-ID-0028	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LIQUIDOS RX	TRACEADO	DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	38"-FX-GE-02802-A6S1F-H		
INSPECCIÓN VISUAL	FLUIDO N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009			

FECHA DE EXTRACCIÓN: APR 15, 2019





Continua hoja 5/8

Continuacion Con Loirtek TP-30601

Hoja 8/8 ① CONEXION CON LOIRTEK

LISTA DE MATERIALES

ITEM	DIAM. (in)	DESCRIPCION	COMM CODE	CANT.
<b>SHOP MATERIALS</b>				
1	38	WN FLANGE, ASTM A105, NACE, 150#, RF, ASME B16.47 Serie B	HFVWFLA2017B0A90	1
<b>OTHER THAN SHOP MATERIALS</b>				
<b>PIPE</b>				
2	38	PIPE EPW 100% RX, ASTM A672 Gr C60 Cl.32, 14.27 mm, BE, ASME B36.10	HPPIPEA140202A11	9.8 M
<b>FITTINGS</b>				
3	38X 1.1/2	SOCKOLET, ASTM A105, NACE, 6000#, SW, MSS-SP-97	HOSOKITA201D30D21	1
4	38	90 DEG ELBOW LR, WELDED 100% RX, ASTM A234 Gr WPBW, NACE, 14.27 mm, BW, ASME B16.9	HA90ELA302C03A51	2
5	38	SPIRAL WOUND GKT, 304/GRAPHITE - C. RING/304 I. RING, 4.5 mm, 150#, ASME B16.20	HGSPW6Q1031BGAC0	1
6	1	STUD BOLT W/ 2 HEAVY HEX NUTS AND 2 WASHERS, A193 Gr.B7/A194 Gr.2H, B18.2.1/ B18.2.2 - 120.65 mm Length	HBSW2NR001002A70	40

TAL-GE-PNG-CAL-0009 EPP

PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2	PIEZA	DIAM	LONG	PREP 1	PREP 2
<>	38"	2137	BEVEL	BEVEL					
<>	38"	5476	BEVEL	BEVEL					
<>	38"	7199	BEVEL	BEVEL					

00	EMITIDO PARA DISEÑO	17/04/19	ES	EP	JR
REV.	DESCRIPCION	FECHA	ELAB.	REV.	APR.

PROYECTO MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA UNIDADES AUXILIARES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

**COBRA** INGENIERÍA DE DETALLE  
COBRA SCL UA&TC

Este documento contiene información privada y no puede ser duplicado, modificado o divulgado a terceros sin el consentimiento escrito de COBRA SCL. La única copia controlada de este documento está en el Sistema Informático de Gestión Documental de COBRA SCL.

NOTAS GENERALES		ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA	ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO	PLANOS DE REFERENCIA	CONDICIONES	PRESIÓN	TEMPERATURA
1. Nivel de Piso Terminado 113000 mm 2. Coordenadas y Elevaciones en Milímetros		TAL-GEN-PNG-ESP-0008	TAL-GEN-PNG-SPE-0007	DTI APLICADO	DISEÑO	4.80 kgf/cm <sup>2</sup> g	80.00 C
		TRATAMIENTO TÉRMICO	TIPO H ESPESOR 38 mm	TAL-GE-PRO-PID-0028	OPERACIÓN	0.850 kgf/cm <sup>2</sup> g	50.00 C
		SI	ESPECIFICACIÓN DE PINTURA	PLANO DE VISTAS TUBERIAS	PRESIÓN DE PRUEBA	7.20 kgf/cm <sup>2</sup> g	TIPO H
		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	TAL-GEN-MET-SPE-0001	TAL-GE-PNG-DRW-0127-09	DENOMINACIÓN COMPLETA DE LÍNEA		
LÍQUIDOS	RX	TRACEO	DOC. ANALISIS FLEXIBILIDAD	38°-FX-GE-02804-A6S1F-H			
INSPECCIÓN VISUAL		FLUIDO N/A TIPO N/A	TAL-GE-PNG-CAL-0009				

PLANO  
FX, FLEXIGAS  
LINEA: 38°-FX-GE-02804-A6S1F-H  
NÚMERO DE PLANO  
TAL-GE-PNG-ISO-1FX000401  
REV. 00

FECHA DE EXTRACCIÓN: APR 15, 2019

## 7.3.-ESPACIO ADMISIBLE PARA TUBERÍAS Y MÉTODOS MANUALES

# ALLOWABLE SPAN FOR PIPING AND MANUAL METHODS

---

## ÍNDICE

<b>1. Span Permissible:</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Viga Continua:</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Forma En “L”</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Método Manual:</b> .....	<b>11</b>

1. Span Permissible:

1.1 Viga Continua:

NOM. PIPE SIZE OUTSIDE DIAM. (mm)	SCHEDULE NUMBERS			WALL THICK. mm	ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity =1, Uninsulated						ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity=1, Insulated, T ≤ 400°C					
	A	B	C		Corrosion Allowance						Corrosion Allowance					
					0	0,75	1,5	3	6	0	0,75	1,5	3	6		
1/2 "	-	-	5S	1,65	3,8	3,0	-	-	-	-	1,8	1,2	-	-	-	
	-	-	10S	2,11	3,8	3,3	2,0	-	-	-	1,9	1,5	0,9	-	-	
	40	Std	40S	2,77	3,8	3,5	2,9	-	-	-	2,0	1,7	1,3	-	-	
	80	Xs	80S	3,73	3,8	3,6	3,4	1,5	-	-	2,1	1,9	1,7	0,7	-	
	160	-	-	4,78	3,7	3,6	3,5	2,7	-	-	2,2	2,0	1,9	1,4	-	
-	XXS	-	7,47	3,6	3,6	3,5	3,4	1,7	-	2,2	2,1	2,1	1,9	0,9		
3/4 "	-	-	5S	1,65	4,2	3,2	-	-	-	-	2,2	1,5	-	-	-	
	-	-	10S	2,11	4,2	3,7	2,2	-	-	-	2,3	1,8	1,0	-	-	
	40	Std	40S	2,87	4,3	3,9	3,2	-	-	-	2,5	2,1	1,7	-	-	
	80	Xs	80S	3,91	4,3	4,0	3,8	2,0	-	-	2,7	2,4	2,1	1,1	-	
	160	-	-	5,56	4,2	4,1	3,9	3,4	-	-	2,7	2,6	2,4	2,0	-	
-	XXS	-	7,82	4,1	4,0	4,0	3,8	2,2	-	2,7	2,6	2,6	2,4	1,3		
1"	-	-	5S	1,65	4,6	3,5	-	-	-	-	2,6	1,8	-	-	-	
	-	-	10S	2,77	4,7	4,3	3,4	-	-	-	3,0	2,5	1,9	-	-	
	40	Std	40S	3,38	4,8	4,4	3,9	-	-	-	3,2	2,7	2,3	-	-	
	80	Xs	80S	4,55	4,8	4,5	4,3	3,0	-	-	3,3	3,0	2,7	1,8	-	
	160	-	-	6,35	4,7	4,6	4,4	4,0	-	-	3,4	3,2	3,0	2,6	-	
-	XXS	-	9,09	4,6	4,5	4,5	4,3	3,3	-	3,4	3,2	3,2	3,0	2,1		
1 1/2 "	-	-	5S	1,65	5,3	3,8	-	-	-	-	3,4	2,3	-	-	-	
	-	-	10S	2,77	5,6	5,0	3,8	-	-	-	4,0	3,2	2,4	-	-	
	40	Std	40S	3,68	5,7	5,2	4,7	1,8	-	-	4,2	3,6	3,1	1,1	-	
	80	Xs	80S	5,08	5,7	5,4	5,2	3,9	-	-	4,4	3,9	3,6	2,7	-	
	160	-	-	7,14	5,7	5,5	5,4	5,0	1,5	-	4,6	4,2	4,0	3,5	1,1	
-	XXS	-	10,16	5,6	5,5	5,4	5,3	4,3	-	4,6	4,3	4,2	4,0	3,1		
2"	40	Std	40S	3,91	6,3	5,8	5,3	2,6	-	-	4,9	4,2	3,6	1,8	-	
	80	Xs	80S	5,54	6,4	6,0	5,8	4,6	-	-	5,2	4,6	4,3	3,3	-	
	160	-	-	8,71	6,4	6,2	6,0	5,7	3,8	-	5,4	5,0	4,8	4,3	2,8	
	-	XXS	-	11,07	6,3	6,2	6,1	5,9	5,0	-	5,4	5,1	5,0	4,7	3,7	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3"	-	-	10S	3,05	7,3	6,3	5,0	-	-	-	5,7	4,6	3,6	-	-	
	40	Std	40S	5,49	7,6	7,2	6,8	5,3	-	-	6,4	5,7	5,2	3,9	-	
	80	Xs	80S	7,62	7,7	7,4	7,2	6,6	3,0	-	6,7	6,1	5,8	5,0	2,2	
	160	-	-	11,1	7,8	7,5	7,4	7,1	5,9	-	6,9	6,4	6,2	5,8	4,5	
	-	XXS	-	15,24	7,7	7,5	7,5	7,3	6,9	-	6,9	6,5	6,4	6,1	5,5	
4"	-	-	10S	3,05	8,0	6,7	5,3	-	-	-	6,3	5,0	4,0	-	-	
	40	Std	40S	6,02	8,6	8,0	7,7	6,2	-	-	7,3	6,5	6,0	4,7	-	
	80	Xs	80S	8,56	8,7	8,3	8,1	7,6	4,6	-	7,7	7,0	6,7	5,9	3,5	
	120	-	-	11,1	8,8	8,5	8,3	8,0	6,5	-	7,9	7,3	7,1	6,5	5,1	
	-	XXS	-	17,12	8,8	8,6	8,5	8,3	7,9	-	8,0	7,6	7,4	7,1	6,4	
6"	-	-	5S	2,77	8,8	6,9	5,1	-	-	-	6,8	5,4	4,0	-	-	
	-	-	10S	3,4	9,3	7,6	6,3	-	-	-	7,3	6,0	4,9	-	-	
	40	Std	40S	7,11	10,2	9,6	9,3	7,8	2,1	-	8,5	7,8	7,4	6,2	1,7	
	80	Xs	80S	10,97	10,5	10,1	9,9	9,5	7,3	-	9,5	8,7	8,4	7,7	5,8	
	120	-	-	14,27	10,6	10,3	10,1	9,8	8,8	-	9,7	9,0	8,8	8,3	7,0	
160	-	-	18,24	10,7	10,4	10,3	10,1	9,5	-	9,9	9,3	9,1	8,7	7,9		
-	XXS	-	21,95	10,7	10,4	10,3	10,2	9,8	-	9,9	9,4	9,2	8,9	8,3		
8"	-	-	5S	2,77	9,1	7,2	5,3	-	-	-	7,2	5,7	4,2	-	-	
	-	-	10S	3,76	10,1	8,4	7,1	2,9	-	-	8,1	6,7	5,6	2,3	-	
	20	-	-	6,35	11,2	10,3	9,6	7,7	-	-	9,4	8,3	7,6	6,1	-	
	30	-	-	7,04	11,3	10,6	10,0	8,3	1,9	-	9,6	8,5	8,0	6,6	1,5	
	40	Std	40S	8,18	11,5	10,9	10,5	9,1	4,9	-	10,0	8,9	8,4	7,3	3,9	
	60	-	-	10,31	11,7	11,2	11,0	10,2	7,4	-	10,4	9,5	9,1	8,2	5,9	
	80	Xs	80S	12,7	11,9	11,4	11,2	10,8	9,0	-	10,8	9,9	9,6	8,9	7,2	
	100	-	-	15,06	12,0	11,6	11,4	11,1	10,0	-	11,0	10,2	9,9	9,4	8,0	
	120	-	-	18,24	12,1	11,7	11,6	11,3	10,7	-	11,2	10,4	10,2	9,8	8,8	
	140	-	-	20,62	12,2	11,8	11,7	11,5	11,0	-	11,3	10,6	10,4	10,0	9,2	
	160	-	-	22,23	12,2	11,8	11,7	11,5	11,1	-	11,3	10,6	10,5	10,1	9,4	
	-	XXS	-	23,01	12,2	11,8	11,7	11,6	11,1	-	11,3	10,7	10,5	10,2	9,4	

NOM. PIPE SIZE OUTSIDE DIAM. (mm)	SCHEDULE NUMBERS			WALL THICK. mm	ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity =1, Uninsulated					ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity=1, Insulated, T ≤ 400°C				
					Corrosion Allowance					Corrosion Allowance				
	A	B	C		0	0,75	1,5	3	6	0	0,75	1,5	3	6
10"	-	-	5S	3,4	10,2	8,3	6,8	-	-	8,1	6,6	5,4	-	-
	-	-	10S	4,19	10,9	9,2	7,9	4,4	-	8,7	7,4	6,4	3,6	-
	20	-	-	6,35	12,1	10,9	10,0	8,0	-	10,0	8,7	8,1	6,5	-
	-	-	-	7,09	12,3	11,3	10,5	8,8	2,2	10,3	9,1	8,5	7,1	1,8
	30	-	-	7,8	12,4	11,7	11,0	9,4	4,4	10,5	9,4	8,6	7,5	3,6
	40	Std	40S	9,27	12,7	12,0	11,7	10,4	6,8	11,0	9,9	9,4	8,3	5,4
	60	XS	80S	12,7	13,1	12,5	12,3	11,9	9,6	11,7	10,7	10,3	9,6	7,7
	80	-	-	15,06	13,3	12,7	12,6	12,2	10,7	12,0	11,1	10,8	10,1	8,7
	100	-	-	18,24	13,4	12,9	12,8	12,5	11,8	12,3	11,4	11,2	10,7	9,5
	120	-	-	21,41	13,5	13,1	13,0	12,7	12,2	12,5	11,7	11,5	11,1	10,1
140	-	-	25,4	13,6	13,2	13,1	12,9	12,5	12,6	11,9	11,7	11,4	10,6	
160	-	-	28,58	13,6	13,2	13,2	13,0	12,6	12,7	12,0	11,9	11,6	10,9	
12"	-	-	5S	3,96	11,0	9,2	7,8	3,8	-	8,8	7,4	6,3	3,1	-
	-	-	10S	4,57	11,6	9,8	8,6	5,5	-	9,3	7,9	6,9	4,4	-
	20	-	-	6,35	12,8	11,3	10,4	8,3	-	10,4	9,1	8,4	6,7	-
	-	-	-	8,38	13,4	12,4	11,7	10,2	5,7	11,2	10,0	9,5	8,2	4,6
	30	Std	40S	9,53	13,6	12,9	12,3	11,0	7,4	11,6	10,4	9,9	8,9	5,9
	40	-	-	10,31	13,7	13,1	12,7	11,4	8,2	11,8	10,7	10,2	9,2	6,6
	-	XS	80S	12,7	14,0	13,4	13,2	12,5	10,1	12,4	11,3	10,9	10,1	8,1
	60	-	-	14,27	14,2	13,6	13,4	13,0	10,9	12,7	11,6	11,3	10,5	8,8
	80	-	-	17,45	14,4	13,9	13,7	13,4	12,2	13,1	12,1	11,8	11,2	9,9
	100	-	-	21,41	14,6	14,1	14,0	13,7	13,1	13,4	12,5	12,3	11,8	10,8
120	-	-	25,4	14,7	14,3	14,1	13,9	13,5	13,7	12,8	12,6	12,2	11,4	
140	-	-	28,58	14,8	14,3	14,2	14,1	13,7	13,8	12,9	12,8	12,5	11,7	
160	-	-	33,32	14,8	14,4	14,3	14,2	13,9	13,9	13,1	13,0	12,7	12,1	
14"	-	-	5S	3,96	11,1	9,3	7,9	3,9	-	9,0	7,5	6,4	3,1	-
	-	-	10S	4,78	11,9	10,1	9,0	6,0	-	9,6	8,2	7,3	4,9	-
	10	-	-	6,35	13,1	11,5	10,6	8,4	-	10,6	9,3	8,5	6,8	-
	20	-	-	7,92	13,7	12,4	11,7	10,0	4,9	11,3	10,1	9,5	8,1	4,0
	30	Std	40S	9,53	14,1	13,2	12,6	11,2	7,5	11,9	10,7	10,2	9,1	6,1
	40	-	-	11,13	14,4	13,7	13,3	12,1	9,1	12,4	11,2	10,8	9,8	7,4
	-	XS	80S	12,7	14,6	13,9	13,7	12,8	10,3	12,7	11,6	11,2	10,4	8,3
	60	-	-	15,09	14,8	14,2	14,0	13,6	11,6	13,2	12,1	11,8	11,1	9,4
	80	-	-	19,05	15,1	14,5	14,4	14,1	13,1	13,7	12,7	12,4	11,9	10,6
	100	-	-	23,83	15,3	14,8	14,7	14,4	13,9	14,1	13,2	13,0	12,5	11,6
120	-	-	27,79	15,4	14,9	14,8	14,6	14,2	14,3	13,4	13,3	12,9	12,1	
140	-	-	31,75	15,5	15,0	15,0	14,8	14,4	14,4	13,6	13,5	13,1	12,5	
160	-	-	35,71	15,5	15,1	15,0	14,9	14,6	14,5	13,7	13,6	13,3	12,8	
16"	-	-	5S	4,19	11,6	9,7	8,4	4,7	-	9,4	7,8	6,8	3,8	-
	-	-	10S	4,78	12,1	10,3	9,2	6,1	-	9,8	8,4	7,4	5,0	-
	10	-	-	6,35	13,4	11,7	10,8	8,6	-	10,8	9,5	8,7	7,0	-
	20	-	-	7,92	14,4	12,8	12,0	10,3	5,1	11,6	10,3	9,7	8,3	4,1
	30	Std	40S	9,53	14,8	13,6	13,0	11,5	7,7	12,3	11,0	10,5	9,3	6,3
	40	-	-	11,1	15,1	14,3	13,7	12,5	9,4	12,8	11,6	11,1	10,1	7,6
	-	XS	80S	12,7	15,3	14,6	14,4	13,3	10,6	13,2	12,1	11,6	10,8	8,6
	60	-	-	14,27	15,5	14,9	14,7	13,9	11,6	13,6	12,4	12,1	11,3	9,4
	80	-	-	15,88	15,7	15,1	14,9	14,4	12,4	13,9	12,8	12,4	11,7	10,1
	100	-	-	16,66	15,8	15,2	15,0	14,6	12,8	14,0	12,9	12,6	11,9	10,4
120	-	-	17,45	15,9	15,2	15,1	14,7	13,1	14,1	13,0	12,7	12,1	10,6	
140	-	-	19,05	16,0	15,4	15,2	14,9	13,7	14,4	13,3	13,0	12,4	11,1	
160	-	-	21,41	16,1	15,5	15,4	15,1	14,4	14,6	13,6	13,3	12,8	11,7	
100	-	-	22,23	16,2	15,6	15,5	15,2	14,5	14,7	13,7	13,4	12,9	11,8	
120	-	-	26,19	16,3	15,8	15,7	15,4	14,9	15,0	14,0	13,8	13,4	12,5	
140	-	-	30,94	16,5	16,0	15,9	15,7	15,2	15,3	14,3	14,2	13,8	13,1	
160	-	-	36,5	16,6	16,1	16,0	15,9	15,5	15,5	14,6	14,4	14,2	13,6	
160	-	-	40,46	16,6	16,1	16,1	15,9	15,7	15,5	14,7	14,6	14,3	13,8	

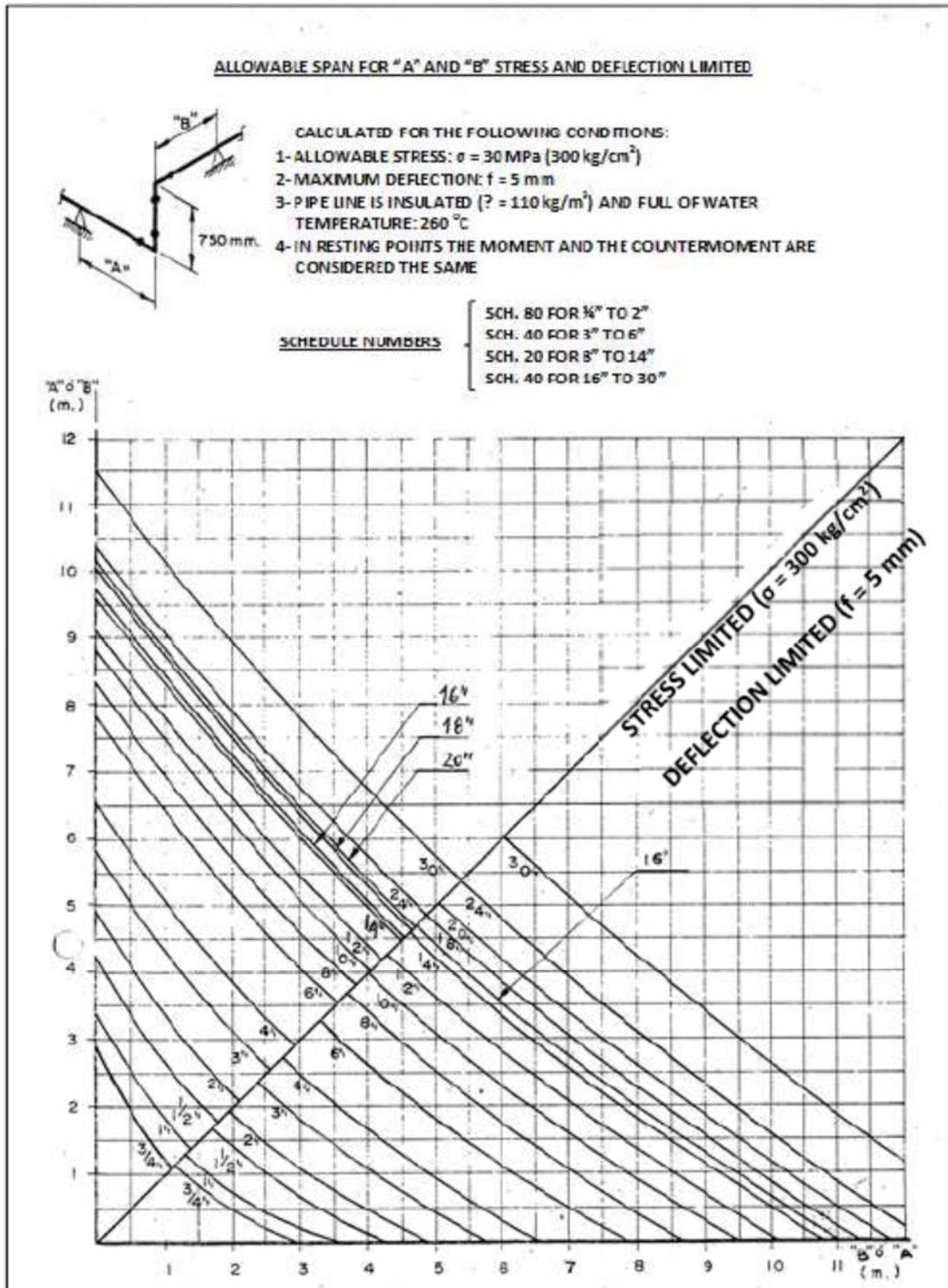
NOM. PIPE SIZE OUTSIDE DIAM. (mm)	SCHEDULE NUMBERS			WALL THICK. mm	ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity =1, Uninsulated					ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity=1, Insulated, T ≤ 400°C				
	A	B	C		Corrosion Allowance					Corrosion Allowance				
					0	0.75	1.5	3	6	0	0.75	1.5	3	6
18"	-	-	5S	4.19	11.7	9.8	8.5	4.7	-	9.5	8.0	6.9	3.8	-
	-	-	10S	4.78	12.3	10.5	9.3	6.2	-	10.0	8.5	7.5	5.0	-
	10	-	-	6.35	13.7	11.9	11.0	8.8	-	11.1	9.7	8.9	7.1	-
	20	-	-	7.92	14.7	13.1	12.3	10.5	5.2	11.9	10.6	10.0	8.5	4.2
	-	Std	40S	9.53	15.4	14.0	13.3	11.8	7.9	12.6	11.3	10.8	9.6	6.4
	30	-	-	11.1	15.8	14.7	14.1	12.8	9.6	13.2	11.9	11.4	10.4	7.8
	-	XS	80S	12.7	16.0	15.3	14.8	13.6	10.9	13.7	12.4	12.0	11.1	8.9
	40	-	-	14.27	16.3	15.6	15.3	14.3	12.0	14.0	12.8	12.5	11.6	9.7
	-	-	-	15.88	16.5	15.8	15.6	14.9	12.8	14.4	13.2	12.9	12.1	10.4
	-	-	-	17.45	16.6	16.0	15.8	15.4	13.5	14.7	13.5	13.2	12.5	11.0
	60	-	-	19.05	16.8	16.1	15.9	15.6	14.1	14.9	13.8	13.5	12.9	11.5
	-	-	-	22.3	17.0	16.4	16.2	15.9	15.1	15.4	14.3	14.0	13.5	12.3
	80	-	-	23.8	17.1	16.5	16.3	16.1	15.4	15.5	14.4	14.2	13.7	12.6
	100	-	-	29.36	17.3	16.8	16.7	16.4	15.9	16.0	14.9	14.7	14.3	13.5
120	-	-	34.93	17.5	16.9	16.9	16.7	16.3	16.2	15.3	15.1	14.8	14.1	
140	-	-	39.67	17.6	17.0	17.0	16.8	16.5	16.4	15.5	15.3	15.0	14.5	
160	-	-	45.24	17.6	17.1	17.1	16.9	16.7	16.5	15.6	15.5	15.3	14.8	
20"	-	-	5S	4.78	12.5	10.6	9.4	6.3	-	10.1	8.6	7.6	5.1	-
	-	-	10S	5.54	13.2	11.4	10.3	7.7	-	10.7	9.3	8.4	6.3	-
	10	-	-	6.35	13.9	12.1	11.2	8.9	-	11.3	9.8	9.1	7.2	-
	20	-	-	7.92	15.0	13.3	12.5	10.7	5.2	12.2	10.8	10.1	8.7	4.3
	-	Std	40S	9.53	15.9	14.2	13.6	12.0	8.0	12.9	11.6	11.0	9.8	6.5
	30	-	-	11.1	16.4	15.0	14.4	13.1	9.8	13.5	12.2	11.7	10.6	8.0
	-	XS	80S	12.7	16.7	15.7	15.1	14.0	11.2	14.0	12.7	12.3	11.4	9.1
	40	-	-	14.27	16.9	16.2	15.7	14.7	12.3	14.4	13.2	12.8	11.9	10.0
	-	-	-	15.06	17.0	16.3	16.0	15.0	12.7	14.6	13.4	13.0	12.2	10.3
	-	-	-	15.88	17.2	16.4	16.2	15.3	13.2	14.8	13.6	13.2	12.5	10.7
	-	-	-	17.45	17.3	16.6	16.4	15.9	13.9	15.2	13.9	13.6	12.9	11.3
	60	-	-	19.05	17.5	16.8	16.6	16.2	14.8	15.4	14.2	13.9	13.3	11.8
	-	-	-	20.62	17.6	17.0	16.8	16.4	15.1	15.7	14.5	14.2	13.6	12.3
	80	-	-	22.23	17.8	17.1	16.9	16.6	15.6	15.9	14.7	14.5	13.9	12.7
100	-	-	26.19	18.0	17.4	17.2	17.0	16.4	16.3	15.2	15.0	14.5	13.5	
120	-	-	32.54	18.3	17.7	17.6	17.4	16.9	16.8	15.8	15.6	15.2	14.4	
140	-	-	38.1	18.4	17.9	17.8	17.6	17.2	17.1	16.1	15.9	15.6	15.0	
160	-	-	44.45	18.5	18.0	17.9	17.8	17.5	17.3	16.3	16.2	15.9	15.4	
160	-	-	49.99	18.6	18.1	18.0	17.9	17.6	17.4	16.5	16.4	16.1	15.7	
22"	-	-	5S	4.78	12.6	10.7	9.5	6.3	-	10.2	8.7	7.7	5.1	-
	-	-	10S	5.54	13.4	11.5	10.4	7.8	-	10.9	9.4	8.5	6.3	-
	10	-	-	6.35	14.1	12.3	11.3	9.0	-	11.4	10.0	9.2	7.3	-
	20	-	-	7.92	14.7	13.1	12.3	10.5	5.2	11.9	10.6	10.0	8.5	4.2
	-	Std	40S	9.53	16.2	14.5	13.8	12.2	8.2	13.1	11.8	11.2	9.9	6.6
	30	-	-	11.1	17.3	16.0	15.5	14.3	11.4	14.3	13.0	12.6	11.6	9.3
	-	XS	80S	12.7	17.3	16.0	15.5	14.3	11.4	14.3	13.0	12.6	11.6	9.3
	40	-	-	14.27	17.8	17.8	17.6	17.3	16.0	16.4	15.2	14.9	14.3	13.1
	-	-	-	15.88	18.9	18.2	18.1	17.8	17.3	17.1	16.0	15.8	15.3	14.3
	60	-	-	19.05	19.1	18.5	18.4	18.2	17.8	17.6	16.5	16.3	16.0	15.2
	80	-	-	22.23	19.3	18.7	18.6	18.5	18.1	17.9	16.9	16.7	16.4	15.8
	100	-	-	26.19	19.4	18.9	18.8	18.6	18.3	18.1	17.1	17.0	16.7	16.2
	120	-	-	32.54	19.5	18.9	18.9	18.8	18.5	18.2	17.3	17.2	16.9	16.5
	140	-	-	38.1	19.5	18.9	18.9	18.8	18.5	18.2	17.3	17.2	16.9	16.5
160	-	-	44.45	19.5	18.9	18.9	18.8	18.5	18.2	17.3	17.2	16.9	16.5	
24"	-	-	5S	5.54	13.5	11.6	10.5	7.9	-	11.0	9.5	8.6	6.4	-
	-	-	10S	6.35	14.2	12.4	11.4	9.1	-	11.6	10.1	9.3	7.4	-
	10	-	-	7.92	15.4	13.7	12.8	11.0	5.4	12.5	11.1	10.4	8.9	4.4
	20	-	-	9.53	16.4	14.7	14.0	12.4	8.3	13.3	12.0	11.4	10.1	6.7
	-	Std	40S	11.1	17.2	15.6	14.9	13.5	10.1	14.0	12.7	12.1	11.0	8.3
	30	-	-	12.7	17.8	16.3	15.7	14.5	11.6	14.6	13.3	12.8	11.8	9.4
	-	XS	80S	14.27	18.1	16.9	16.4	15.3	12.8	15.1	13.8	13.4	12.5	10.4
	40	-	-	15.88	18.4	17.5	17.0	16.0	13.7	15.5	14.2	13.9	13.0	11.2
	-	-	-	17.45	18.6	17.8	17.5	16.6	14.5	15.9	14.6	14.3	13.5	11.8
	60	-	-	19.05	18.8	18.0	17.8	17.1	15.3	16.3	15.0	14.7	14.0	12.4
	80	-	-	22.23	19.3	18.6	18.4	18.1	17.1	17.2	15.9	15.7	15.1	14.0
	100	-	-	26.19	19.7	19.0	18.9	18.7	18.1	17.9	16.7	16.5	16.0	15.1
	120	-	-	32.54	20.0	19.4	19.3	19.1	18.7	18.4	17.3	17.1	16.8	16.1
	140	-	-	38.1	20.2	19.6	19.5	19.3	19.0	18.8	17.7	17.5	17.3	16.7
160	-	-	44.45	20.3	19.7	19.6	19.5	19.2	18.9	17.9	17.8	17.5	17.0	
160	-	-	49.99	20.3	19.8	19.7	19.6	19.4	19.0	18.1	18.0	17.8	17.3	

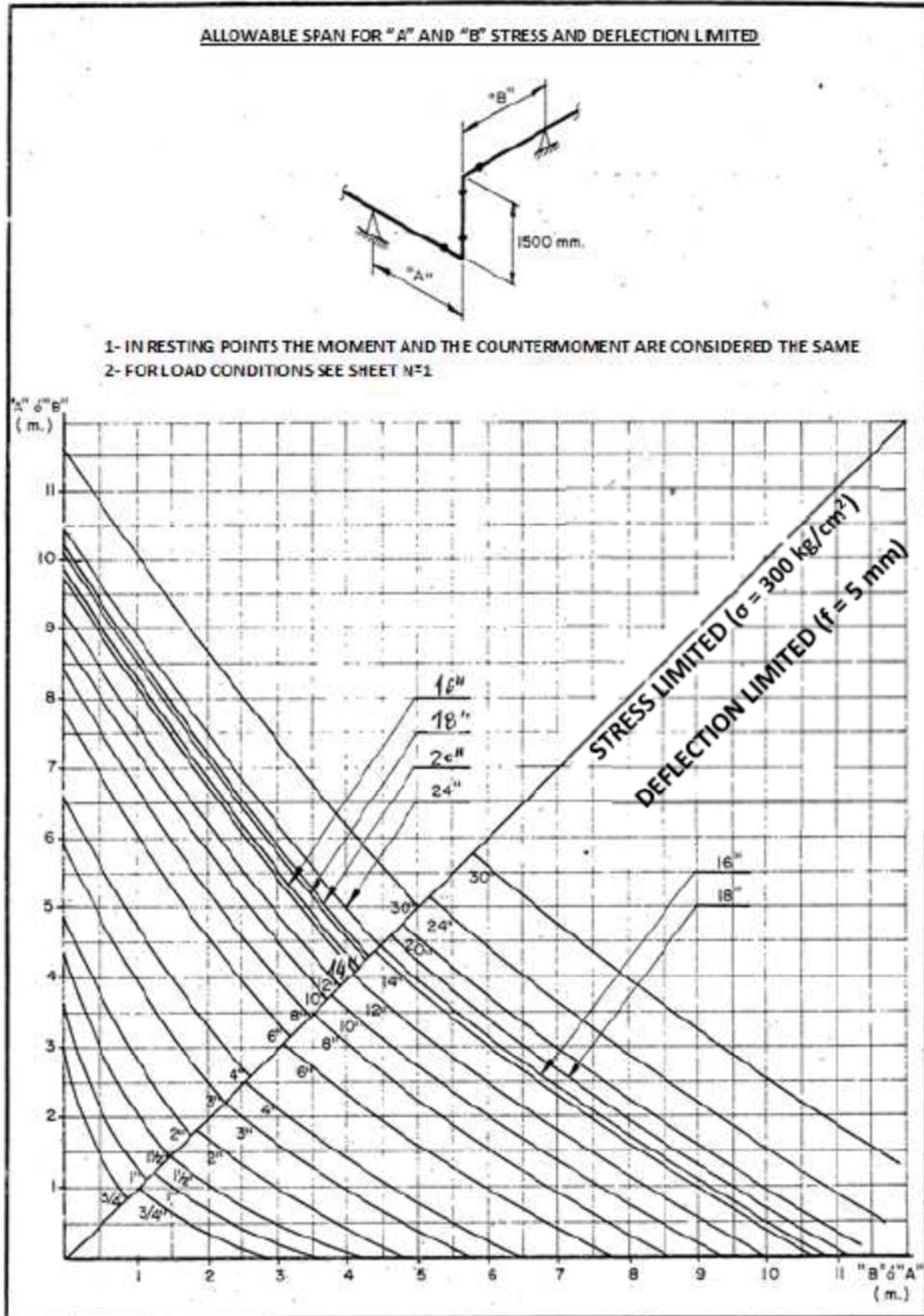
NOM. PIPE SIZE OUTSIDE DIAM. (mm)	SCHEDULE NUMBERS			WALL THICK. mm	ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity =1, Uninsulated					ALLOWABLE SPAN (m) Specific Gravity=1, Insulated, T ≤ 400°C				
	A	B	C		Corrosion Allowance					Corrosion Allowance				
					0	0,75	1,5	3	6	0	0,75	1,5	3	6
26"	10	-	-	7,92	<u>15,6</u>	<u>13,8</u>	<u>13,0</u>	<u>11,1</u>	<u>5,4</u>	<u>12,7</u>	<u>11,2</u>	<u>10,6</u>	<u>9,0</u>	<u>4,4</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>16,6</u>	<u>14,9</u>	<u>14,2</u>	<u>12,6</u>	<u>8,4</u>	<u>13,5</u>	<u>12,1</u>	<u>11,5</u>	<u>10,2</u>	<u>6,8</u>
	20	XS	80S	12,7	<u>18,2</u>	<u>16,6</u>	<u>16,0</u>	<u>14,7</u>	<u>11,8</u>	<u>14,8</u>	<u>13,5</u>	<u>13,0</u>	<u>12,0</u>	<u>9,6</u>
28"	10	-	-	7,92	<u>15,7</u>	<u>14,0</u>	<u>13,1</u>	<u>11,2</u>	<u>5,5</u>	<u>12,8</u>	<u>11,4</u>	<u>10,7</u>	<u>9,1</u>	<u>4,5</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>16,8</u>	<u>15,1</u>	<u>14,3</u>	<u>12,7</u>	<u>8,5</u>	<u>13,7</u>	<u>12,3</u>	<u>11,7</u>	<u>10,3</u>	<u>6,9</u>
	20	XS	80S	12,7	<u>18,5</u>	<u>16,8</u>	<u>16,2</u>	<u>14,9</u>	<u>11,9</u>	<u>15,1</u>	<u>13,7</u>	<u>13,2</u>	<u>12,2</u>	<u>9,7</u>
30"	-	-	5S	6,35	<u>14,6</u>	<u>12,7</u>	<u>11,7</u>	<u>9,3</u>	-	<u>11,9</u>	<u>10,4</u>	<u>9,5</u>	<u>7,6</u>	-
	10	-	10S	7,92	<u>15,9</u>	<u>14,1</u>	<u>13,2</u>	<u>11,3</u>	<u>5,5</u>	<u>12,9</u>	<u>11,5</u>	<u>10,8</u>	<u>9,2</u>	<u>4,5</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>17,0</u>	<u>15,2</u>	<u>14,5</u>	<u>12,8</u>	<u>8,5</u>	<u>13,8</u>	<u>12,4</u>	<u>11,8</u>	<u>10,4</u>	<u>7,0</u>
32"	20	XS	80S	12,7	<u>18,7</u>	<u>17,0</u>	<u>16,4</u>	<u>15,1</u>	<u>12,1</u>	<u>15,3</u>	<u>13,8</u>	<u>13,4</u>	<u>12,3</u>	<u>9,8</u>
	30	-	-	15,88	<u>19,9</u>	<u>18,4</u>	<u>17,9</u>	<u>16,8</u>	<u>14,4</u>	<u>16,4</u>	<u>15,0</u>	<u>14,5</u>	<u>13,7</u>	<u>11,7</u>
	40	-	-	17,48	<u>20,7</u>	<u>19,2</u>	<u>18,7</u>	<u>17,7</u>	<u>15,5</u>	<u>17,0</u>	<u>15,6</u>	<u>15,2</u>	<u>14,4</u>	<u>12,6</u>
34"	10	-	-	7,92	<u>16,1</u>	<u>14,3</u>	<u>13,4</u>	<u>11,4</u>	<u>5,6</u>	<u>13,1</u>	<u>11,6</u>	<u>10,9</u>	<u>9,3</u>	<u>4,6</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>17,3</u>	<u>15,5</u>	<u>14,7</u>	<u>13,0</u>	<u>8,7</u>	<u>14,1</u>	<u>12,6</u>	<u>12,0</u>	<u>10,6</u>	<u>7,1</u>
	20	XS	80S	12,7	<u>19,1</u>	<u>17,4</u>	<u>16,7</u>	<u>15,4</u>	<u>12,3</u>	<u>15,6</u>	<u>14,1</u>	<u>13,6</u>	<u>12,6</u>	<u>10,0</u>
36"	30	-	-	15,88	<u>20,6</u>	<u>18,8</u>	<u>18,3</u>	<u>17,2</u>	<u>14,7</u>	<u>16,8</u>	<u>15,3</u>	<u>14,9</u>	<u>14,0</u>	<u>12,0</u>
	40	-	-	17,48	<u>21,1</u>	<u>19,4</u>	<u>18,9</u>	<u>17,9</u>	<u>15,7</u>	<u>17,3</u>	<u>15,8</u>	<u>15,4</u>	<u>14,6</u>	<u>12,8</u>
	10	-	-	7,92	<u>16,2</u>	<u>14,4</u>	<u>13,5</u>	<u>11,5</u>	<u>5,6</u>	<u>13,2</u>	<u>11,7</u>	<u>11,0</u>	<u>9,4</u>	<u>4,6</u>
38"	-	Std	40S	9,53	<u>17,4</u>	<u>15,6</u>	<u>14,8</u>	<u>13,1</u>	<u>8,7</u>	<u>14,2</u>	<u>12,7</u>	<u>12,1</u>	<u>10,7</u>	<u>7,1</u>
	20	XS	80S	12,7	<u>19,3</u>	<u>17,5</u>	<u>16,9</u>	<u>15,5</u>	<u>12,4</u>	<u>15,7</u>	<u>14,3</u>	<u>13,8</u>	<u>12,7</u>	<u>10,1</u>
	30	-	-	15,88	<u>20,8</u>	<u>19,0</u>	<u>18,5</u>	<u>17,4</u>	<u>14,9</u>	<u>16,9</u>	<u>15,5</u>	<u>15,1</u>	<u>14,2</u>	<u>12,1</u>
40"	40	-	-	19,05	<u>21,8</u>	<u>20,2</u>	<u>19,7</u>	<u>18,8</u>	<u>16,7</u>	<u>17,9</u>	<u>16,5</u>	<u>16,1</u>	<u>15,3</u>	<u>13,6</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>17,5</u>	<u>15,7</u>	<u>14,9</u>	<u>13,2</u>	<u>8,8</u>	<u>14,3</u>	<u>12,8</u>	<u>12,2</u>	<u>10,8</u>	<u>7,2</u>
	-	XS	80S	12,7	<u>19,5</u>	<u>17,6</u>	<u>17,0</u>	<u>15,7</u>	<u>12,5</u>	<u>15,9</u>	<u>14,4</u>	<u>13,9</u>	<u>12,8</u>	<u>10,2</u>
42"	-	Std	40S	9,53	<u>17,6</u>	<u>15,8</u>	<u>15,0</u>	<u>13,3</u>	<u>8,8</u>	<u>14,4</u>	<u>12,9</u>	<u>12,2</u>	<u>10,8</u>	<u>7,2</u>
	-	XS	80S	12,7	<u>19,6</u>	<u>17,8</u>	<u>17,1</u>	<u>15,8</u>	<u>12,6</u>	<u>16,0</u>	<u>14,5</u>	<u>14,0</u>	<u>12,9</u>	<u>10,3</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>17,7</u>	<u>15,9</u>	<u>15,1</u>	<u>13,3</u>	<u>8,9</u>	<u>14,5</u>	<u>12,9</u>	<u>12,3</u>	<u>10,9</u>	<u>7,2</u>
44"	-	XS	80S	12,7	<u>19,8</u>	<u>17,9</u>	<u>17,3</u>	<u>15,9</u>	<u>12,7</u>	<u>16,1</u>	<u>14,6</u>	<u>14,1</u>	<u>13,0</u>	<u>10,3</u>
	-	Std	40S	9,53	<u>17,8</u>	<u>15,9</u>	<u>15,1</u>	<u>13,4</u>	<u>8,9</u>	<u>14,5</u>	<u>13,0</u>	<u>12,4</u>	<u>10,9</u>	<u>7,3</u>
	-	XS	80S	12,7	<u>19,9</u>	<u>18,0</u>	<u>17,4</u>	<u>16,0</u>	<u>12,7</u>	<u>16,2</u>	<u>14,7</u>	<u>14,2</u>	<u>13,0</u>	<u>10,4</u>
48"	-	Std	-	9,53	<u>18,0</u>	<u>16,1</u>	<u>15,3</u>	<u>13,5</u>	<u>9,0</u>	<u>14,7</u>	<u>13,1</u>	<u>12,5</u>	<u>11,0</u>	<u>7,3</u>
	-	XS	-	12,7	<u>20,1</u>	<u>18,2</u>	<u>17,6</u>	<u>16,2</u>	<u>12,9</u>	<u>16,4</u>	<u>14,9</u>	<u>14,3</u>	<u>13,2</u>	<u>10,5</u>
	-	Std	-	9,53	<u>18,2</u>	<u>16,3</u>	<u>15,5</u>	<u>13,7</u>	<u>9,1</u>	<u>14,9</u>	<u>13,3</u>	<u>12,6</u>	<u>11,2</u>	<u>7,4</u>
56"	-	XS	-	12,7	<u>20,5</u>	<u>18,5</u>	<u>17,9</u>	<u>16,4</u>	<u>13,1</u>	<u>16,7</u>	<u>15,1</u>	<u>14,6</u>	<u>13,4</u>	<u>10,7</u>
	-	Std	-	9,53	<u>18,3</u>	<u>16,4</u>	<u>15,6</u>	<u>13,8</u>	<u>9,1</u>	<u>15,0</u>	<u>13,4</u>	<u>12,7</u>	<u>11,2</u>	<u>7,5</u>
	-	XS	-	12,7	<u>20,6</u>	<u>18,7</u>	<u>18,0</u>	<u>16,6</u>	<u>13,2</u>	<u>16,8</u>	<u>15,2</u>	<u>14,7</u>	<u>13,5</u>	<u>10,8</u>

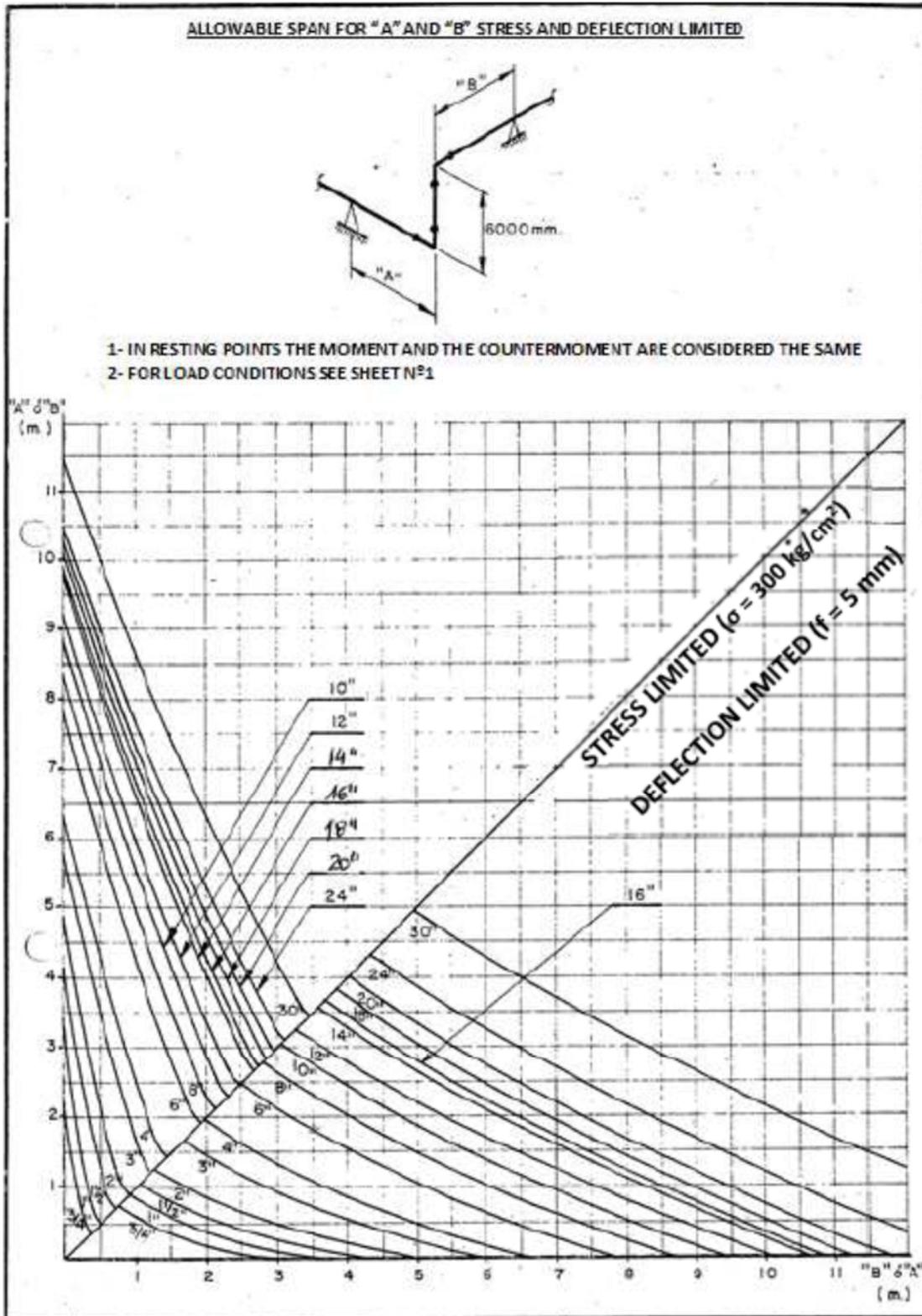
Nota: Los números subrayados indican valores limitados por el esfuerzo en lugar de la deflexión de la tubería.

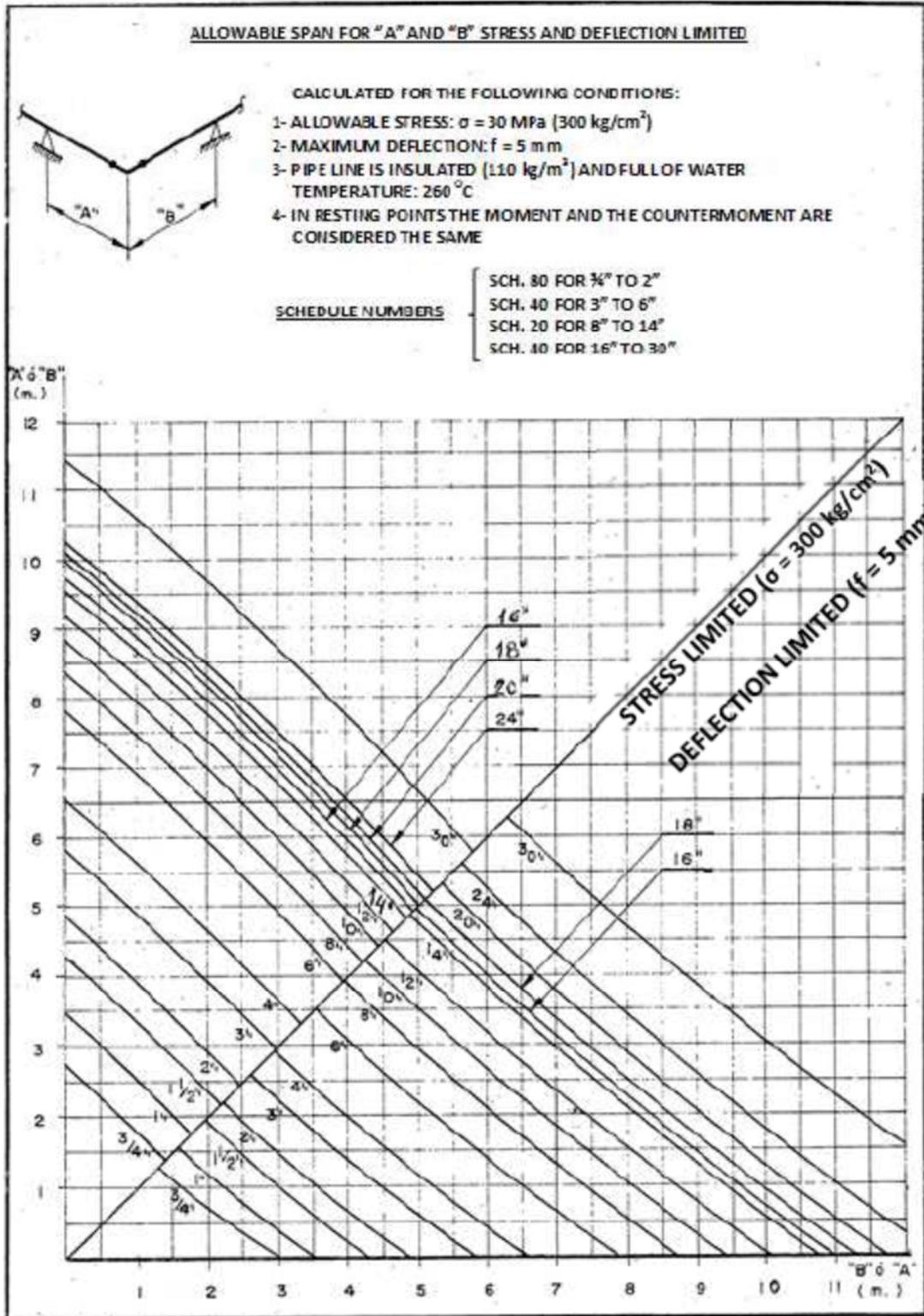
Nota: los cálculos del intervalo se basan en una deflexión máxima de 13 mm en el tramo medio entre los soportes.

1.2 Forma En "L"









2. Método Manual:

