



Programa Regional de Entrenamiento Geotérmico (PREG)

Diplomado de especialización en geotermia-2015

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Unidad de Postgrados

LaGeo



TESIS:

**DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LÍNEAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS
GEOTERMICOS.**

Tutor:

Ing. José Luís Henríquez.

Colaboradores:

Ing. Álvaro Flamenco.

Ing. Oscar Cideos.

Presentado por:

Arq. Raquel de los Ángeles González Sotelo.

I.	INDICE DE CONTENIDO	
II.	INDICE DE ILUSTRACIONES.	3
III.	INDICE DE TABLAS.	4
IV.	INDICE DE PLANOS.....	4
1.	RESUMEN.....	5
2.	INTRODUCCION.....	6
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4.	JUSTIFICACIÓN.....	7
5.	OBJETIVOS.	8
	Objetivo General:	8
	Objetivo Específico:.....	8
6.	MARCO TEORICO	9
6.1	Conceptos y principios básicos para el diseño de tuberías.	9
6.1.1	Conceptos de fluido y sus características.	9
6.1.2	Patrones de flujo en tuberías de sistemas bifásico:	9
6.2	Normativas aplicables para el diseño de tuberías:	12
6.2	Consideraciones para el diseño de tuberías:.....	13
6.2.1	Criterios para el diseño de tuberías:	17
6.2.2.	Diseño del Proceso:	18
6.2.3	Selección de Materiales:	19
6.2.4	Disposición preliminar:.....	19
6.2.5	Flexibilidad en un sistema de acarreo:	20
6.2.7	Cargas de diseño para tuberías:.....	24
6.2.8	Efectos de la expansión y/o contracción térmica:.....	24
6.2.9	Condiciones de Presión y temperatura de Diseño:	26
7.	DESARROLLO (METODOLOGÍA UTILIZADA).....	33
7.1	Condiciones de trabajo según Código ASME B.31.1	33
7.2	Condiciones de Diseño:.....	33
7.2.1	Recopilación de información de bases de diseño:	33
7.2.2	Establecimiento de los parámetros de diseño.....	37
7.2.3	Determinación del diámetro de tubería:	38
7.2.4	Calculo del patrón de flujo:	39

7.2.5	Selección de los materiales:	40
7.2.6	Diseño preliminar de la ruta del sistema:	43
7.2.7	Ubicación Preliminar y selección del tipo de soportes:.....	43
7.2.8	Análisis de esfuerzos de flexibilidad:	46
7.2.9	Esfuerzos límites de diseño	48
7.2.10	Metodología de análisis de flexibilidad según el código ASME B31.1	50
7.2.11	Análisis de esfuerzos del sistema de acarreo:	53
8.	RESULTADOS.	56
9.	CONCLUSIONES.	64
10.	RECOMENDACIONES.	65
11.	BIBLIOGRAFÍA.	66
12.	ANEXOS.....	67

II. INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1:	Flujo tipo burbuja	10
Ilustración 2:	Flujo intermitente tipo pistón	10
Ilustración 3:	Flujo estratificado suave.	10
Ilustración 4:	Flujo estratificado ondulante	11
Ilustración 5:	Flujo intermitente tipo Tapón.....	11
Ilustración 6:	Flujo anular.	12
Ilustración 7:	<i>Flujo disperso o tipo rocío</i>	12
Ilustración 8:	Sistema de acarreo en línea recta, no permite dilatación.	21
Ilustración 9:	Configuración de sistema de acarreo en Z, permite dilatación.	22
Ilustración 10:	Efecto al cambiar el tipo de apoyo empotrado por un apoyo que permite más movimiento.....	22
Ilustración 11:	Efecto al colocar un apoyo adicional empotrado al sistema..	23
Ilustración 12:	lazo de expansión (expansión loops).	25
Ilustración 13:	tipos de loops.....	26
Ilustración 14:	Soporte flexible de carga constante.	30
Ilustración 15:	Soporte flexible de carga variable.	30
Ilustración 16:	Montaje típico de soportes rígidos.	31
Ilustración 17:	Soporte con límites o stop.....	32
Ilustración 18:	Configuración inicial del programa AutoPipe V8.	51

Ilustración 19: Configuración para un segmento de tubería.	52
Ilustración 20: Configuración para soporte guía.	53
Ilustración 21: Esfuerzo punto B26, relación de esfuerzos =0.81.	59
Ilustración 22: Esfuerzos en arreglo de cabezal de pozo.	60

III. INDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Espacio sugerido entre soportes. ASME B31.	28
Tabla 2: Parámetros básicos para diseño de sistema de acarreo.	37
Tabla 3: Datos de entrada para el Programa EES.	38
Tabla 4: Datos de salida del programa EES.	39
Tabla 5: Descripción de los componentes del sistema.	54
Tabla 6: Característica de línea de 16".	54
Tabla 7: Característica de línea de 12".	55
Tabla 8: Vector sismo y casos utilizados en análisis.	55
Tabla 9: Esfuerzos según ASME B31.1 que se analizaran para el sistema.	56
Tabla 10: Resultados de los esfuerzos máximos en el punto B26.	59

IV. INDICE DE PLANOS.

Planos 1: Diagrama de flujo de Proceso.	35
Planos 2: Plataforma de pozos productores.	36
Planos 3: Diagrama de flujo de Proceso Propuesto.	41
Planos 4: Diagrama de Instrumentación y control.	42
Planos 5: Diseño preliminar de ruta del sistema de acarreo.	44
Planos 6: Perfiles Preliminares Sistema de Acarreo.:	45
Planos 7: Layout resultante del análisis de esfuerzo.	57

1. RESUMEN

El diseño de una línea de acarreo es un proceso sistemático y ordenado, en el cuál se hace necesario el conocimiento (criterios y normas), aplicación de técnicas, procedimientos los cuales conducen a definir las especificaciones técnicas de los materiales y parámetros para obtener un diseño optimizado desde el punto de vista técnico y económico.

Los diferentes sistemas de tuberías que forman parte de un campo geotérmico son los medios de transferencia de los fluidos geotérmicos desde las plataformas de los pozos productores hasta la estación de separación, sistemas de acarreo de agua y vapor hasta las turbinas de vapor y a los pozos de inyección. Dichos sistemas forman un rol integral en el acondicionamiento de los fluidos para optimizar la eficiencia de conversión de energía térmica en mecánica, lograr alta disponibilidad de la planta y flexibilidad para responder a cambios en el reservorio. Por lo tanto, los sistemas de tuberías son un componente clave de gran importancia para cualquier desarrollo geotérmico, por esta razón en el diseño se deben tomar en cuenta todos los factores para garantizar el éxito del proyecto.

Una de las disciplinas del diseño de acarreo de fluidos es el análisis de flexibilidad, se realiza en la etapa final de diseño y comprende análisis de combinación de esfuerzos, expansiones térmicas y deformaciones elásticas a las que se verá sometida el sistema de acarreo en condiciones de servicio. Con base a lo anterior, en el presente trabajo se desarrolla y propone una metodología para el diseño y análisis de flexibilidad en sistemas de tuberías de un campo geotérmico de líquido dominante, la cual apoya la toma de decisiones con criterios basados en las normas existentes tales como la ANSI/ASME B31.1, implícita en el programa informático AutoPipeV8, empleada para modelar el sistema de tuberías propuesto

Como resultado del modelo simulado, la relación de esfuerzos del sistema de acarreo, tomando en consideración los criterios del código, da menor a 1, es decir el diseño cumple con lo reglamentado por el código.

2. INTRODUCCION

Los sistemas de tuberías han sido utilizados desde la antigüedad para el acarreo de agua principalmente y en la actualidad por diversos sectores industriales para el transporte de sólidos, líquidos y gases.

Las aplicaciones más importantes de estos sistemas las encontramos en plantas generadoras de energía, las cuales utilizan los sistemas de tuberías para transportar vapor de agua, aire, gases de combustión, etc.; refinerías industriales de hidrocarburos, las cuales utilizan los sistemas de tuberías para el transporte de petróleo y sus derivados; industrias químicas, las cuales requieren transportar insumos químicos de alta peligrosidad; líneas de transporte de gas, plantas de refrigeración; transporte de sólidos y lodos, esta aplicación tiene importancia en la industria minera con el transporte y tratamiento de relaves; entre otros.

Debido a la diversidad de sus aplicaciones, las características de estos sistemas son muy variables y la selección del material de las tuberías es crucial para asegurar el correcto trabajo de los sistemas. Un completo diseño de sistemas de tuberías comprende cálculos hidráulicos o termodinámicos, dimensionamiento de tuberías, determinación de pérdidas, cálculo estructural de soportes, análisis térmico, deformaciones, análisis de estabilidad, entre otros.

En la industria de la geotermia para extraer el calor geotérmico en cantidades masivas y con potencial para generación de energía eléctrica, el transporte de los fluidos es esencial, y este consiste en vapor, agua, gas, o una mezcla de ellos en varias proporciones o como lo define la **ASTM E957-2003**; *Fluido geotérmico: agua en vapor o fase líquida o en una mezcla de estas fases que existe dentro de, o hayan sido emitidos desde un reservorio geotérmico, junto con un arrastre de sustancias disueltas.*

Para valorar la viabilidad económica del potencial energético que contiene un reservorio geotérmico es necesario analizar la información suministrada en los estudios geocientíficos, ya que a partir de estos datos y con las pruebas de productividad que se realizan en los potenciales pozos productores se puede contar con suficiente datos para proceder a los cálculos de acarreo de fluidos geotérmicos (fluido bifásico, vapor y salmuera). La ejecución exitosa de cualquier diseño de tuberías en geotermia requiere una serie de procesos bien estructurados, que se adaptan a los requisitos específicos del proyecto y a las necesidades del desarrollador geotérmico, siendo esta información (pruebas de producción) indirectamente fundamental para la simulación de esfuerzos en tuberías bajo los criterios de la norma ASME B31.1-2007 "Power Piping", además del uso de programas de simulación de los esfuerzos a los que estará sometida las líneas de transporte.

En este trabajo se presenta una metodología de diseño para sistemas de acarreo, la cual toma las consideraciones de diseños para líneas de acarreo de fluidos bifásico, vapor, salmuera, de manera tal que puedan adaptarse a diseños específicos, cumpliendo con las normativas existentes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, existen pocos documentos que defina una metodología a seguir para el diseño de sistemas de acarreo para plantas geotérmicas, hay algunos documentos técnicos que exponen las consideraciones de diseños; las normativas existentes expresan los criterios a seguir para el diseño, pero no existe una metodología que exponga los pasos necesarios para el diseño de un sistema de acarreo de fluido, además que la mayoría de la bibliografía existente está en idioma inglés.

Es por esto que se hace necesario contar con una metodología, que dé un soporte en el diseño de sistemas de transporte de fluidos, que tenga en consideración las normativas de diseño (ASME) y que tome en cuenta los parámetros de los códigos de diseño y construcción.

Se pretende que este documento sirva de guía a profesionales que se quieran desarrollar en el área de diseño de tuberías, para un mejor entendimiento de los diferentes componentes que se diseña en un sistema de acarreo de fluidos.

4. JUSTIFICACIÓN.

El diseñador de un sistema de acarreo de fluidos geotérmicos, se enfrenta a una serie de desafíos e incertidumbres al iniciar un proceso de diseño tales como: incertidumbre en la producción de los pozos, características de fluidos, permeabilidad de los pozos de inyección, requerimientos de operación y mantenimiento de los equipos, incrustación por sílice, opciones de expansión futuras del campo, cambios inesperados en el reservorio, problemas geotécnicos y restricciones socio-ambientales

Estas variables crean una configuración de diseño y retos únicos. El propósito de este trabajo es proponer una metodología de diseño de tuberías utilizando prácticas estandarizadas para abordar estos desafíos específicos de los campos geotérmicos para obtener diseños de manera más eficiente y que sean efectivos.

Este trabajo presentará una metodología tomando en cuenta las consideraciones necesarias para el diseño de tuberías en campos geotérmicos, específicamente se ejemplificará la metodología propuesta con el diseño de una línea de tubería de fluido bifásico, la cual se supondrá que se conectará a una línea principal existente donde están interconectados 2 pozos de esa misma plataforma.

5. OBJETIVOS.

Objetivo General:

- Combinar las habilidades y conocimientos en programas de dibujo industrial con programas de análisis y simulación de esfuerzos, en el desarrollo de una metodología útil que permita la optimización del diseño de sistemas para acarreo de fluidos geotérmicos (fluido bifásico, vapor y salmuera).

Objetivo Específico:

- Emplear programas de cálculos, dibujo y modelaje para el diseño integral de un sistema de acarreo.
- Desarrollar una metodología para el diseño estructural de una línea de transporte de fluidos bifásico en campo geotérmico de líquido dominante.
- Exponer las normas, criterios y soluciones básicas para el diseño de tuberías.

6. MARCO TEORICO

En este capítulo se definirán los conceptos teóricos para dar a conocer la teoría sobre la metodología que se desarrollara. Inicialmente se explicarán las etapas del diseño de sistema de acarreo que comúnmente se realizan. Asimismo, se encontrará la definición de las cargas a las que está sometido un sistema de tuberías, los efectos de las dilataciones o contracciones en la integridad del sistema y los criterios de diseño a tomar en cuenta.

6.1 Conceptos y principios básicos para el diseño de tuberías.

6.1.1 *Conceptos de fluido y sus características*¹.

Un fluido es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una fuerza o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta (Diego A. Samaro, 2009) , Posee las siguientes características:

- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son comprensibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad.
- Su viscosidad es independiente de la densidad.²

Los fluidos los podemos clasificar en:

- Newtonianos
- No newtonianos

O bien en:

- Líquido
- Gas

En este trabajo se hablará de fluidos geotérmicos que estos pueden ser:

- una mezcla de dos fases (agua y vapor),
- vapor
- salmuera o agua de condensado.

6.1.2 *Patrones de flujo en tuberías de sistemas bifásico*³:

Las interacciones entre la fase líquida y gaseosa en el flujo bifásico están influenciadas por sus propiedades físicas, caudales de flujo y por el tamaño, rugosidad y orientación de la tubería ya que estos causan varios tipos de patrones de flujo.

¹ (Diego A. Samaro, 2009)

² (Standard handbook for mechanical engineers., 2007)

³ Flujo de Fluidos. Carla Lopez. Curso facilidades de superficie. Facultad de Ingeniería-Universidad de Zulia.

Los tipos de regímenes de flujo se definen a continuación:

1. **Flujo tipo burbuja:** El líquido ocupa el volumen de la sección transversal y el flujo de vapor forma burbujas a lo largo del tope de la tubería. Las velocidades del vapor y el líquido son aproximadamente iguales. Si las burbujas tienden a dispersarse a través del líquido, esto se llama algunas veces flujo tipo espuma. En el flujo ascendente las burbujas retienen su identidad en un rango más amplio de condiciones. En el flujo descendente el comportamiento se desplaza en la dirección de flujo tipo pistón.

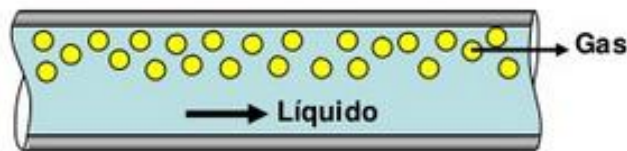


Ilustración 1: Flujo tipo burbuja

2. **Flujo intermitente tipo pistón:** Al aumentar el vapor, las burbujas se unen y se forman secciones alternadas de vapor y líquido a lo largo del tope de la tubería, con una fase líquida continua remanente en el fondo. En una orientación ascendente, el comportamiento es desplazado en la dirección de flujo tipo burbuja y si el flujo es descendente se favorece el flujo estratificado.

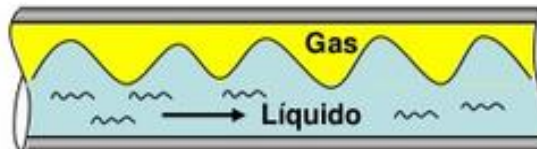


Ilustración 2: Flujo intermitente tipo pistón (Flujo de fluidos.Facilidades de superficie)

3. **Flujo estratificado suave:** Como el flujo de vapor continúa incrementando, los tapones de vapor tienden a una fase continua. El vapor fluye a lo largo del tope de la tubería y el líquido circula por el fondo. La interface entre estas fases es relativamente suave y la fracción ocupada por cada fase permanece constante. En flujo ascendente, el flujo estratificado es favorecido, siempre y cuando la inclinación no sea demasiado pronunciada.

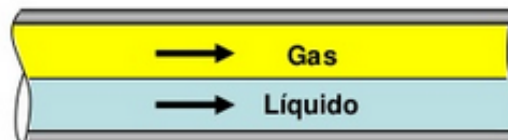


Ilustración 3: Flujo estratificado suave. (Flujo de fluidos.Facilidades de superficie)

4. **Flujo estratificado ondulante:** el vapor se mueve apreciablemente más rápido que el líquido y la fricción resultante en la interface forma olas de líquido. La amplitud de las olas se incrementa con el aumento del flujo de vapor. El flujo ondulante puede ocurrir hacia arriba, pero en un rango de condiciones más restringido que en una tubería horizontal. Hacia abajo, las olas son más moderadas para un determinado flujo de vapor y en la transición a flujo tipo tapón, si es que ocurre, tiene lugar a caudales más altos que en la tubería horizontal.

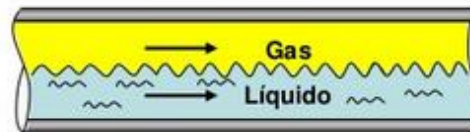


Ilustración 4: Flujo estratificado ondulante (Flujo de fluidos.Facilidades de superficie)

5. **Flujo intermitente tipo tapón:** cuando el flujo de vapor alcanza cierto valor crítico, las crestas de las olas de líquido tocan el tope de la tubería y forman tapones espumosos. La velocidad de esos tapones es mayor que la velocidad promedio del líquido. En la estructura del tapón de vapor, el líquido es presionado de manera que el vapor ocupe la mayor parte del área de flujo en ese punto. En flujo ascendente, el flujo tipo tapón comienza a caudales de vapor más bajos que en las tuberías horizontales. En flujo descendente, se necesitan caudales de vapor más altos que en tuberías horizontales para establecer el flujo tipo tapón y el comportamiento se desplaza hacia el flujo anular. ya que el flujo tipo tapón puede producir pulsaciones y vibraciones en codos, válvulas y otras restricciones de flujo, debe ser evitado en lo posible.



Ilustración 5: Flujo intermitente tipo Tapón. (Flujo de fluidos.Facilidades de superficie).

6. **Flujo anular:** El líquido fluye como una película anular de espesor variable a lo largo de la pared, mientras que el vapor fluye como un núcleo a alta velocidad en el centro. Hay una gran cantidad de deslizamientos entre las fases. Parte de líquido es extraído fuera de la película por el vapor y llevado al centro como gotas arrastradas. La película anular en la pared, es más espesa en el fondo que en el tope de la tubería y esta diferencia decrece al distanciarse de las condiciones de flujo de tipo tapón. Aguas debajo de los codos, la mayor parte del líquido se moverá hacia el lado de la pared externa.

El flujo anular, los efectos de caída de presión y momento sobrepasan los de la gravedad, por lo tanto la orientación de la tubería y la dirección de flujo tienen menos influencia que en los regímenes anteriores. El flujo anular es un régimen muy estable, por esta razón y debido a que la transferencia de masa vapor-líquido es favorecida, este régimen de flujo es ventajoso en sistema de transporte de fluido bifásico..

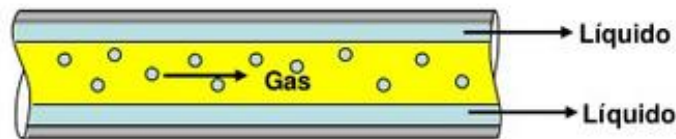


Ilustración 6: Flujo anular. (Flujo de fluidos. Facilidades de superficie)

- 7. Flujo tipo disperso o flujo tipo rocío:** Cuando la velocidad del vapor en flujo anular se hace lo suficientemente alta, toda la película de líquido se separa de la pared y es llevada por el vapor como gotas arrastradas. Este régimen de flujo es casi completamente independiente de la orientación de la tubería o de la dirección del flujo.

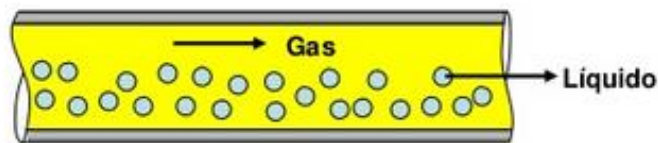


Ilustración 7: Flujo disperso o tipo rocío. (Flujo de fluidos. Facilidades de superficie)

Es de gran importancia el dimensionamiento correcto de la tubería para evitar el flujo tipo tapón y que el patrón de flujo en la tubería será flujo anular.

6.2 Normativas aplicables para el diseño de tuberías:

Las normas más utilizadas en el diseño de tuberías son las elaboradas por las principales asociaciones de ingeniería: ANSI/ASME.

ANSI: American National Standards Institute es la entidad estadounidense encargada de regular las normas y estándares en América y de ella dependen las normas y códigos de ASME.

ASME: American Society of Mechanical Engineers, es la asociación de ingenieros mecánicos que regulan los estándares y códigos de ingeniería que apliquen para América en cualquier rama del diseño mecánico, ya sea para fabricación y/o construcción.

Las normas ANSI y las ASME actualmente son las mismas. En el campo del diseño de tuberías las normas ANSI/ASME que interesan especialmente son:

ANSI B31.1 Para diseño de tuberías a presión empleadas en centrales térmicas e instalaciones de producción de vapor y/o energía.

ANSI B31.3 Para diseño de tuberías a presión empleadas en plantas petroquímicas.

El código ASME B31 especifica cinco condiciones de trabajo a tomar en cuenta antes de diseñar un sistema de acarreo.

- La primera condición es la presión del sistema, tanto interna como externa.
- La segunda condición es la temperatura de trabajo, la temperatura de diseño es la temperatura máxima de la tubería durante su ciclo de trabajo.
- La tercera condición son las influencias ambientales, tanto las caídas de temperatura significativas que influyan en la presión de trabajo del sistema (caídas de presión por debajo de la presión atmosférica), como la expansión del fluido que incremente significativamente la presión interna del sistema.
- La cuarta condición son los efectos dinámicos (impacto, vientos, terremotos y vibraciones).
- La última condición son las cargas de expansión y contracción térmica.

Los criterios antes mencionados están ampliamente desarrollados en el código de diseño.

6.3 Consideraciones para el diseño de tuberías:

El diseño de un sistema de sistema de acarreo de fluidos consta de dos etapas generales: (Decision- making on pipe stress analysis enabled by knowledge-based systems., Marz 2007)

Etapas 1 en la cual se realiza:

- La definición de las características principales del sistema de acarreo de fluidos a diseñar.
- El cálculo hidráulico para el dimensionamiento de la tubería.
- El cálculo térmico.
- El Análisis de efectos transitorios.
- La selección de las características de la tubería.
- La selección de equipos principales del sistema de acarreo de fluidos (bombas, válvulas, uniones, filtros, válvulas de alivio, válvulas, trampas de vapor, etc).

En esta primera etapa se define las características necesarias para asegurar la funcionalidad del sistema de tuberías. Al finalizar esta etapa, se obtiene lo siguiente:

- Material de tuberías.
- Diámetro interior de tuberías del sistema.
- Espesor de tubería, esta propiedad está directamente relacionada con la presión nominal de diseño de la tubería.
- Espesor de aislante necesario para asegurar la temperatura interior del fluido.

- *Layout* preliminar. Esto no es definitivo ya que los análisis llevados a cabo en la segunda etapa pueden variar este resultado preliminar.
- Accesorios de recorrido del sistema (codos, tees, reducciones, yees, etc.). Estos accesorios definen el recorrido de la tubería que está estrechamente vinculado con el *layout* del sistema.
- Accesorios de suministro (válvulas –de todo tipo–, filtros, trampas de vapor, entre otros). Estos accesorios aseguran que el fluido a transportar sea entregado de manera correcta y con las condiciones establecidas por el usuario en los puntos definidos por el mismo.
- Accesorios auxiliares (trampas de alivio, válvulas anticipadoras de onda, entre otros). Estos accesorios alivian las tensiones ocasionadas por los efectos transitorios como el golpe de ariete.

En la Etapa 2 se realiza el análisis de flexibilidad del sistema:

Esta etapa contempla un análisis de las cargas internas y externas del sistema considerando las condiciones estructurales necesarias para posicionar el sistema en cierto espacio definido es decir el análisis de flexibilidad del sistema. De forma global, los resultados, al finalizar esta etapa del diseño, son:

- *Layout* definitivo del sistema de tuberías. Al finalizar esta etapa, no siempre, se realizan modificaciones al *layout* original.
- Número de apoyos para que el sistema de tuberías no colapse por su propio peso.
- Distanciamiento entre apoyos para que el sistema de tuberías no colapse por estabilidad.
- Número de elementos auxiliares para aliviar y dar mayor flexibilidad al sistema de tuberías y evitar que este colapse por los esfuerzos generados por deformaciones durante operación.
- Número de apoyos adicionales y relocalización de apoyos existentes, de ser necesario el análisis de cargas externas ocasionales.

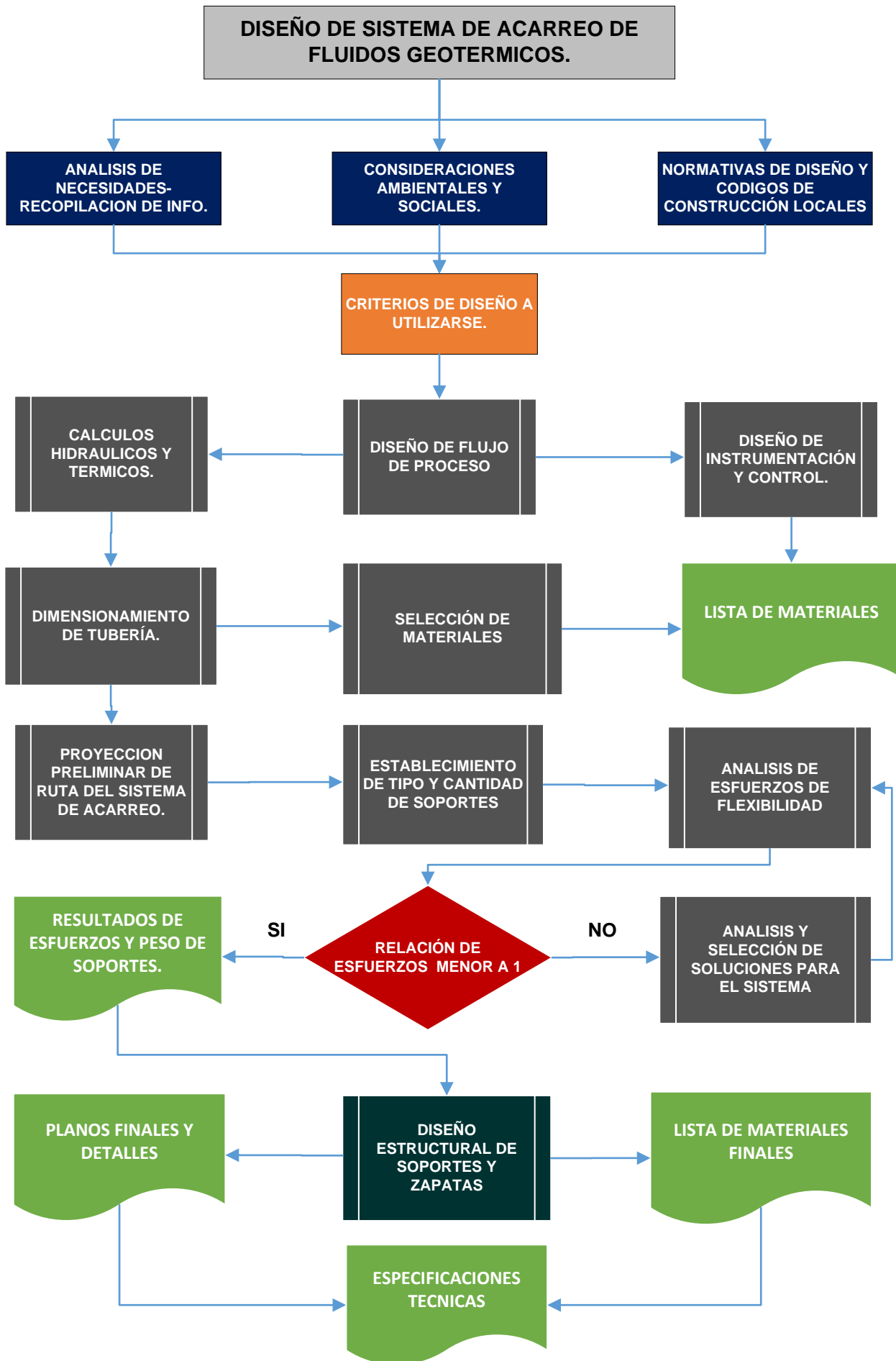
La ejecución exitosa de cualquier diseño de tuberías requiere una serie de pasos bien estructurados, que se adaptan a los requisitos específicos del proyecto y a las necesidades del diseñador (“Piping Design Considerations for Geothermal Steamfields”).

Estos procesos pueden variar entre los diferentes diseñadores o empresas de diseño; sin embargo, los pasos que se enumeran a continuación son los más comúnmente utilizados:

1. Recopilación de información de bases de diseño (consultar a interesados sobre los alcances del proyecto), información de los equipos a conectar, plano general del área a diseñar.
2. Establecimiento de los parámetros de diseño. Estas incluyen presión, temperatura, velocidad del viento, información sísmica, tipo de fluido a transportar en el sistema de acarreo, gradientes térmicos etc.

3. Determinación del diámetro de tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso (velocidad, presión, temperatura del fluido, entre otros parámetros).
4. Selección de los materiales de la tubería de acuerdo a las condiciones del fluido a transportar y del medio en que se instalará.
5. Selección de los tipos de accesorios para interconexión entre la tubería y desde esta a los equipos. Entre éstos están: clase de brida, válvulas y demás accesorios.
6. Cálculo del espesor mínimo de pared para las temperaturas y presiones de diseños, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por las condiciones del fluido.
7. Selección de la ruta óptima por donde se proyecta la instalación de la línea de acarreo de fluido, respetando las bases de diseño y criterios estandarizados.
8. Establecimiento de tipo y cantidad de soportes para el sistema de tuberías.
9. Análisis de esfuerzos de flexibilidad, verificando que los esfuerzos producidos en la tubería estén dentro de los valores admisibles.
 - a. Si el sistema no posee flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas a las que se está sometiendo se tendrán que realizar ajustes como: reubicación de soportes, modificación del tipo de soporte en puntos específicos, utilización de soportes flexibles, modificación del recorrido de la línea, utilización de juntas de expansión, etc..
10. Elaboración de planos detallados para construcción de obra civil y mecánica para montaje de sistema de acarreo.
11. Elaboración de listado de materiales para su construcción.
12. Elaboración de especificaciones técnicas para montaje.

DIAGRAMA DE PROCESO DE DISEÑO DE SISTEMA DE ACARREO



6.3.1 Criterios para el diseño de tuberías:

Los criterios básicos con los que siempre se debe de diseñar son:

- **Seguridad:** al diseñar se debe de tener en cuenta que al cumplir con los códigos y estándares de la industria no solo se prevé fallas en los equipos, pérdidas de producción, también se está asegurando de que no haya daños a personas por el mal diseño o por la falla del sistema diseñado.
- **Ergonomía:** referida a la facilidad para la operación de los elementos de las tuberías, hay que dejar espacios para facilitar el mantenimiento a equipos o para remover tuberías en caso de ser necesario.
- **Economía:** El diseño además de los criterios técnicos a considerar tiene que realizarse de manera que resulte lo más económico posible.

El diseño de un sistema de acarreo inicia con una necesidad, en el caso de los campos geotérmicos una necesidad de llevar el fluido geotérmico desde la plataforma de separación hasta la planta, o de la estación de separación a los pozos re inyectores.

Una vez se ha planteado la necesidad, es de suma importancia el involucramiento de los interesados para el establecimiento de los criterios de diseño y consecuentemente en el éxito del diseño de tuberías. El desarrollador geotérmico, personal de operación, mantenimiento y el diseñador mismo discuten los criterios de diseño que se aplicarán durante todo el proyecto, tales como la selección del diámetro de las tuberías, consideraciones para la disposición o arreglo del sistema, metodología de aislamiento, códigos y normas de diseño aplicables y consideraciones de diseño sísmico. (“Piping Design Considerations for Geothermal Steamfields”.)

Esta sección también incluye la recopilación de información necesaria para el diseño como:

- Planos topográficos donde se indique los límites y la situación legal de los terrenos por donde pasará la tubería; de ser una tubería donde ya hay un sistema de acarreo instalado se requerirán los planos de las tuberías y equipos instalados, esto para analizar donde se podrá pasar la tubería y si hay soportes que se pueden aprovechar para la instalación de la nueva línea.
- Resultados de las pruebas de producción del pozo estos datos son de gran importancia ya que nos dan los valores de la cantidad de fluido bifásico que se manejará, así mismo de vapor y salmuera; además nos da los valores de entrada (presión, temperatura, masa del fluido, etc.) para el cálculo de los diámetros de tubería.
- Pruebas químicas del fluido, es de suma importancia para la elección de los materiales del sistema de acarreo, además nos permite conocer la temperatura

mínima a la que podemos manejar el fluido sin tener problemas de precipitación de sílice (en el caso de líneas de inyección).⁴

6.3.2. Diseño del Proceso:

El diseño de proceso es la etapa inicial y primordial del diseño, muestra de la manera más básica donde inicia el sistema de acarreo, a que equipos llega y donde finaliza a través de un diagrama de procesos, tales diagramas muestran las relaciones existentes entre los diversos componentes.

Diagrama de Flujo de Proceso

El Diagrama de Flujo de Proceso es una representación esquemática del proceso, sus condiciones de operación normal y su control básico.

El diagrama incluye el balance de masa e información para el diseño y especificación de equipos, además sirve de guía para desarrollar el Diagrama de Tubería e Instrumentación y control.

Información a contener

Balance de masa:

Las características de las líneas de acarreo, se resumen en una tabla ubicada en la zona inferior del plano.

La tabla contiene parte de los datos de proceso generados por el diseñador de procesos:

- Número de la línea
- Descripción de la línea (fluido bifásico, vapor, salmuera)
- Flujo másico y/o flujo volumétrico
- Temperatura de operación
- Presión de operación
- Densidad o gravedad específica
- Viscosidad absoluta
- Estado físico.

Los datos de la tabla pueden variar de acuerdo al tipo de proceso. Es criterio del diseñador, añadir o eliminar datos a fin de suministrar la información más relevante para el proceso que se está diseñando.

⁴ (Sistema de acarreo, Modulo VII plantas geotermicas, Diplomado de especialización en energía geotermica., 2015)

Equipos del proceso:

Cada equipo debe tener los siguientes datos: código de identificación, nombre del equipo y características de operación normal.

Líneas de proceso

a. Cada línea de proceso desde y hacia los equipos se identifica con un número dentro de un rombo para referirlo a los balances de masa y energía.

b. La identificación de las corrientes de proceso en los DFP (diagrama de flujo de proceso) debe realizarse siguiendo los criterios siguientes:

- Numerar las líneas principales y los ramales.
- Numerar una sola de las corrientes paralelas o trenes idénticos.
- Asignar los números a las líneas de proceso en orden creciente de acuerdo al recorrido del flujo principal a través de la unidad de proceso.
- Cambiar la numeración de la línea cuando hay cambios de condiciones: presión, temperatura o flujo, en la misma.
- Identificar cada una de las líneas de proceso inmediatas a cada uno de los equipos; a manera de facilitar la especificación de los mismos.

c. En el Diagrama de Flujo de Proceso no se debe mostrar el diámetro, numeración y material de las líneas.

6.3.3 Selección de Materiales:

La selección de los materiales y accesorios para el sistema de acarreo se deberá realizar en bases a las condiciones del fluido/gas a transportar (según la temperatura de diseño del fluido) y a las propiedades químicas del mismo.

Es importante la contratación a tiempo de suministro de equipos y materiales, especialmente aquellos elementos del diseño del proceso que requieren tiempos de suministro relativamente largos (por ejemplo, recipientes a presión, válvulas, tuberías y accesorios de gran tamaño).

Se debe tener cuidado en esto, ya que si el diseño del proceso no está debidamente apoyado por información de campo o mediciones se puede generar errores en el suministro o costoso reproceso del diseño, no siempre la lista final de materiales va a coincidir con la preliminar.

Hay que tomar en cuenta además de las condiciones del fluido que transportará la tubería, las condiciones ambientales del lugar.

6.3.4 Disposición preliminar:

Después de que el diámetro y el material de la tubería han sido seleccionados y de que el espesor requerido de pared de los tubos y la clase de las bridas se han establecidos, el

diseñador tendrá que elaborar una disposición económica de tuberías para el nuevo sistema. Además de disponer la ubicación de la soportería y los tipos de soportes.

En la disposición y arreglo de sistemas de tubería, deberán tomarse en consideración los siguientes requerimientos:

- Topografía a lo largo de la trayectoria del sistema de acarreo, esto para poder visualizar la mejor ruta evitando el movimiento de tierra excesiva.
- Facilidad de operación: este es un parámetro muy importante, se tiene que tener en cuenta la facilidad para el equipo de operación de hacer sus maniobras, de acceder a las válvulas y equipos.
- Accesibilidad para mantenimiento: hay que dejar los espacios suficientes que permitan desinstalar los equipos, válvulas, tuberías en caso de mantenimiento a los mismos.
- Economía: la disposición de la tubería se debe de hacer tomando siempre en cuenta el factor económico además del técnico.
- Requerimientos especiales de proceso.
- Ampliaciones futuras: en la disposición de la tubería es importante tomar en cuenta este parámetro, ya que los campos geotérmicos están en constante cambios ya sea para el aumento de la producción o para la limpieza de los pozos existentes o modificaciones en tuberías, se debe pensar en esto para que el diseño no interfiera o no se convierta en un problema para las condiciones mencionadas.
- Apariencia: Además de los criterios técnicos y económicos la apariencia es significativa para que la tubería no genere un impacto visual con el resto del medio en el que se ubica.
- Maximizar el uso de soportes existentes: si ya hay un sistema hay que tratar de utilizar los soportes que ya existe, siempre y cuando cumplan con los requerimientos de cargas calculadas.
- Separaciones para expansión térmica.

Además de establecerse la disposición y el arreglo general de las tuberías y las condiciones globales de diseño, deben definirse los tipos de arreglos de soportes. El sistema de tubería deberá ser en lo posible, auto soportante y consistente con los requerimientos de flexibilidad.

6.3.5 Flexibilidad en un sistema de acarreo:

La flexibilidad es una propiedad de un sistema de tuberías que se define por la capacidad de admitir deformaciones originadas por dilataciones o contracciones térmicas sin poner en compromiso la integridad del sistema. Esta propiedad se ve influenciada por los siguientes factores:

Cambios de dirección:

Si el número de cambios de dirección es mayor, el sistema tiene mayor capacidad de absorber las deformaciones. Esto se debe a que las deformaciones predominantes en un sistema de tuberías son en la dirección axial de los tubos. Cuando un sistema comprende un tramo recto de tubería empotrado en sus extremos, como se muestra en la **Ilustración 8**, no existe dilatación permitida. De lo contrario, cuando un sistema de tuberías contiene uno o más cambios de dirección, como en la Ilustración 9, la dilatación permitida se define por la sumatoria de las deformaciones de cada elemento del sistema. De esta forma, mientras el número de cambios de dirección sea mayor, el sistema tendrá mayor capacidad de admitir deformaciones.

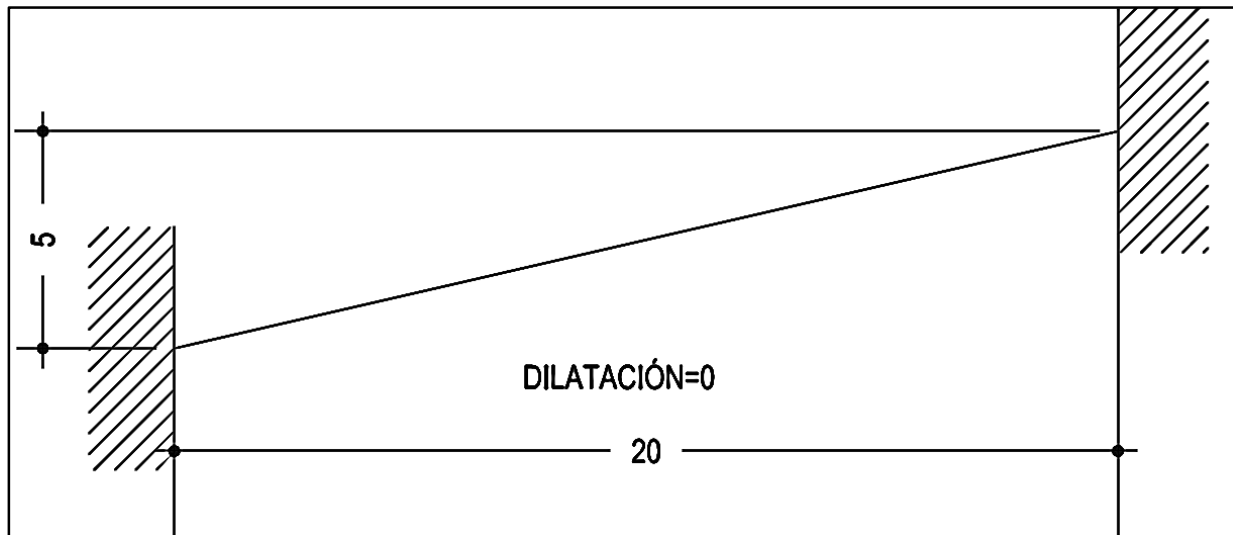


Ilustración 8: Sistema de acarreo en línea recta, no permite dilatación.

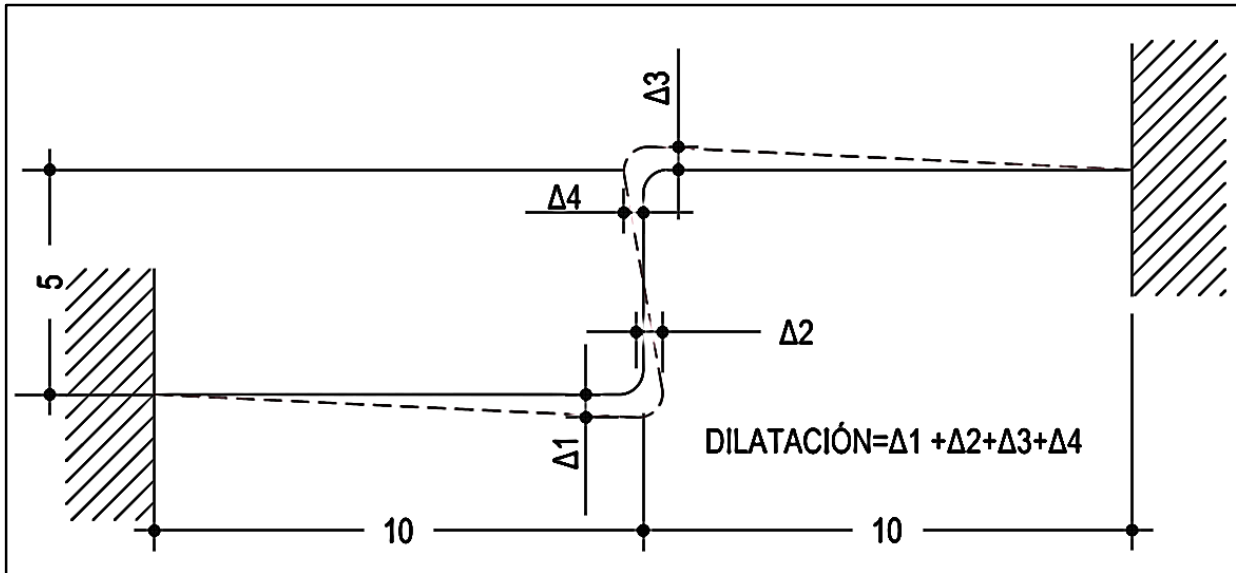


Ilustración 9: Configuración de sistema de acarreo en Z, permite dilatación.

Tipos de soportes: estos tienen la función principal de dar estabilidad al sistema. Sin embargo, también aumentan restricciones geométricas. En la ilustración 10, se puede observar que al cambiar el tipo de soporte empotrado por uno con dos grados de libertad se le permite dilatación y el tramo vertical ya no está sometido a flexión.

Por esta razón es importante el análisis del tipo de soporte a seleccionar ya que con ellos podemos darle flexibilidad o restricciones al sistema.

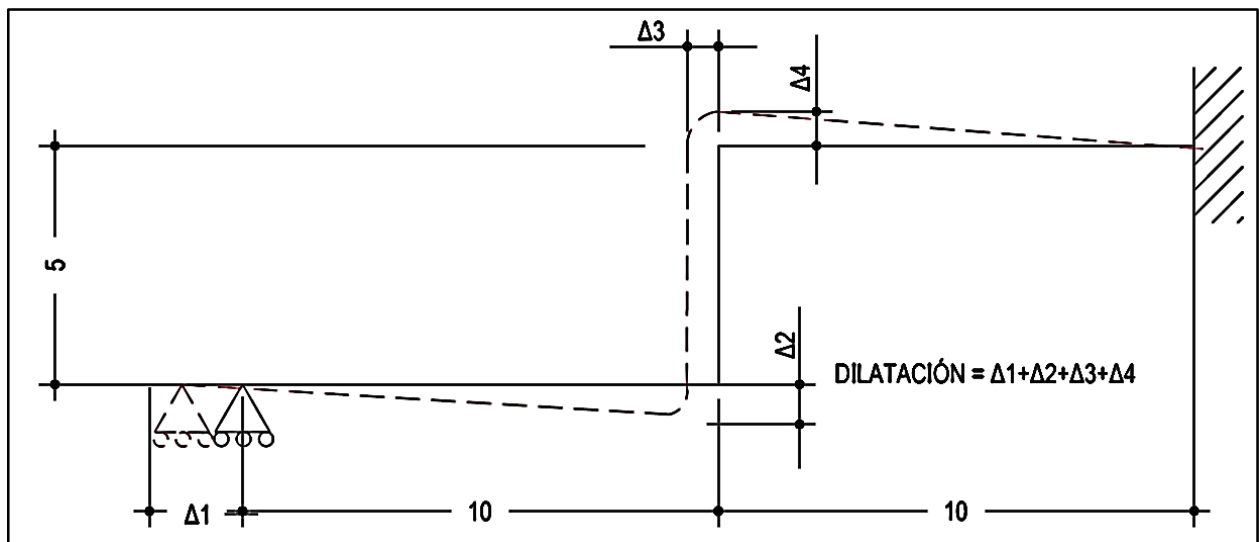


Ilustración 10: Efecto al cambiar el tipo de apoyo empotrado por un apoyo que permite más movimiento.

Número de soportes, si bien el número de soportes se selecciona a partir de un análisis de estabilidad, este factor también influye en la flexibilidad del sistema. En la siguiente ilustración, se observa el efecto que tiene colocar un soporte empotrado adicional al sistema, lo afecta negativamente; reduce la dilatación permisible y permite que un tramo de tubería no admita deformación axial

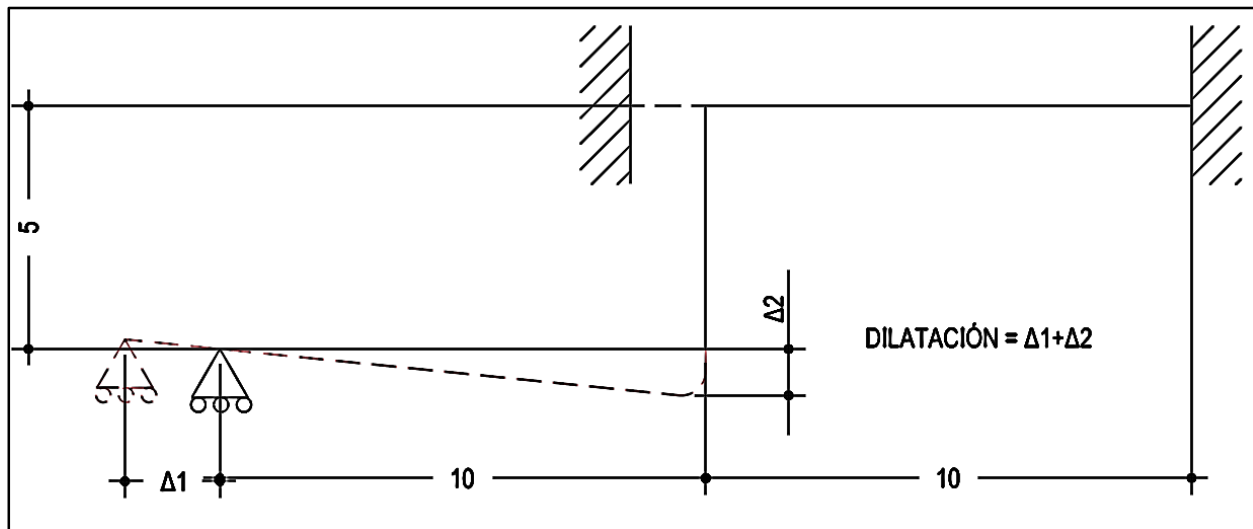


Ilustración 11: Efecto al colocar un apoyo adicional empotrado al sistema.

6.3.6 Análisis de flexibilidad en sistemas de tuberías:

Para determinar los efectos de expansión y esfuerzos en un sistema de tuberías, es necesario conocer:

- código aplicable al sistema; en este caso se utilizara el ASME B31.1.
- Las condiciones de presión y temperatura de diseño.
- Las especificaciones del material.
- El diámetro de tubería y el espesor de pared de cada componente del sistema.
- El esquema del sistema incluyendo dimensiones y movimientos térmicos en cualquier punto.
- Limitaciones de reacciones finales en los puntos, tales como las establecidas por los fabricantes de equipos.

El análisis de flexibilidad de tuberías consiste en determinar si una línea posee la suficiente capacidad para absorber las cargas operativas que inciden sobre ella tales como el propio peso de la tubería, la expansión térmica, las fuerzas producidas por la presión del fluido, vibraciones, terremotos y otras. Uno de los factores que pueden aumentar o disminuir la flexibilidad de una tubería es su configuración geométrica.

El problema básico del análisis de flexibilidad es determinar la magnitud de estos esfuerzos en la tubería y controlar que las reacciones en los puntos de interconexión con equipos estén dentro de valores aceptables.

Análisis de Flexibilidad por Computadora

AutoPIPE es un programa informático ingeniería asistida independiente (CAE) para cálculo de tensiones de tuberías, análisis, diseño brida soporte de la tubería, y equipo de análisis de la boquilla de carga en condiciones de carga estáticas y dinámicas.

Además de los 30 códigos de tuberías, AutoPIPE incorpora ASME B 31.1, código en el que se basa el diseño propuesto en este trabajo, esto proporciona un análisis exhaustivo de todo el sistema. Calcula las tensiones de código de tuberías, las cargas y las deformaciones en condiciones de carga dinámicas y estáticas, analiza los sistemas de cualquier complejidad; con características especiales como análisis de tuberías, fluidos, tuberías FRP (*Fiber Reinforced Plastic*) /GRP(*Glass Reinforced Plastic*) e interacción tubería / estructura.

En este trabajo se utilizará la AutoPipe V8, para el análisis de flexibilidad de la tubería a diseñar.

6.3.7 Cargas de diseño para tuberías:

Un sistema de tuberías es una estructura irregular sometida a varios tipos de esfuerzos, algunos de estos desde la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos durante la operación e inclusive en situaciones que no son normales, todo lo anterior debe ser previsto en el diseño, a continuación las cargas típicas a considerarse:

1. Cargas por la presión de diseño: Es la carga debido a la presión más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.
2. Cargas por peso, estas pueden ser:
 - peso muerto (Incluye el peso de la tubería, accesorios, aislamiento ect.).
 - Cargas vivas (El fluido que transporta la tubería).
 - Efectos locales (reacciones de soportes)
3. Cargas dinámicas:
 - Cargas por efecto del viento.
 - Cargas sísmicas.
 - Cargas por impactos u ondas de presión; tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descargas de fluidos.
 - Vibraciones excesivas inducidas por las pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones en máquinas o del viento.

6.3.8 Efectos de la expansión y/o contracción térmica:

Por la expansión o contracción provocada por la dilatación térmica de la tubería, se originaran cargas que producirán esfuerzos, estas cargas son:

Cargas térmicas y de fricción: inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería.

Si las dilataciones o contracciones de los elementos de un sistema de tuberías son restringidas, se generan esfuerzos, por ello, los detalles constructivos del sistema a diseñar o analizar deben ser tomados en consideración. (the piping guide, 1973)

El diseñador debe buscar que las cargas térmicas sean uniformemente distribuidas a lo largo del sistema evaluado y esto se logra aliviando las cargas generadas por las deformaciones térmicas y/o modificando las restricciones del sistema, una forma de hacerlo es utilizando lazos de expansión (expansion loops) y juntas de expansión (expansion joint).

Lazos de expansión (*expansion loops*) (Vidaurre, 2014)

Los lazos de expansión se utilizan mayormente cuando las deformaciones axiales son grandes, esto sucede normalmente en plantas térmicas, plantas generadoras de energía o sistemas con utilización de vapor, el esfuerzo generado por una deformación axial no depende de la longitud de la tubería, sino de la temperatura de trabajo del sistema y el material de la tubería.

Los lazos de expansión utilizan el principio de deformación transversal de la tubería, la longitud del lazo está dado por:

$$L = W + 2H$$

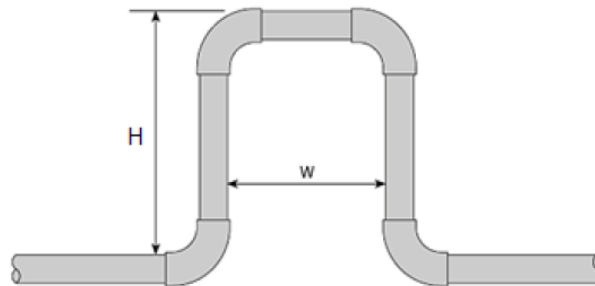


Ilustración 12: lazo de expansión (*expansion loops*). (Vidaurre, 2014)

Cuando el lazo de expansión fabricado es demasiado alto, se puede construir lazos de expansión tridimensionales.

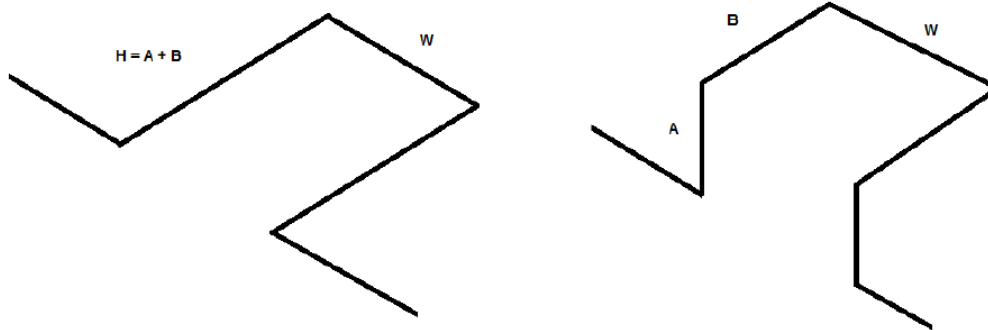


Ilustración 13: tipos de loops. (Kannappan, 2008)

Juntas de expansión (*expansion joint*)

Las juntas de expansión son accesorios, que de la misma forma que los lazos de expansión, absorben la dilatación axial de la tubería. El principio de funcionamiento que utilizan estos accesorios es absorber la energía de deformación mediante elementos altamente elásticos, es decir, transforma la energía de deformación en energía elástica.

Este accesorio es de alto costo; sin embargo, tiene mayor capacidad para absorber esfuerzos producidos por dilatación elástica.

Cargas por gradiente térmico severo o diferencias en las características de expansión: ocasionado generalmente por la utilización de diferentes materiales en una misma línea.

6.3.9 Condiciones de Presión y temperatura de Diseño:

Presión de diseño: La presión de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente, que se espere en operación normal.

La condición más severa de presión y temperatura coincidente, es aquella condición que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación ("rating") más alta de los componentes del sistema de tuberías.

Se debe excluir la pérdida involuntaria de presión, externa o interna, que cause máxima diferencia de presión.

Temperatura de diseño:

Es la temperatura que representa la condición más severa de temperatura a la que estará sometida la tubería. Los requisitos para determinar la temperatura del metal de diseño para tuberías son como sigue:

Para componentes de tubería con aislamiento externo, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido contenido.

Para componentes de tubería sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperaturas de 32°F (0°C) y mayores, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido reducida.

Espesor de Pared (cedula): El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa está en función de:

- a. El esfuerzo permisible para el material del tubo
- b. Presión de diseño
- c. Diámetro de diseño del tubo
- d. Diámetro de la corrosión y/o erosión

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia al colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

6.3.10 Diseño de soporte de tuberías:

La selección y el diseño de soportes para tuberías es una parte importante en el diseño de un sistema de acarreo de fluido. Es necesario tomar en cuenta desde las primeras etapas del proyecto: el efecto de cargas en soportes concentradas en estructuras, cargas sobre equipos conectados debido al peso de la tubería y tolerancias de los soportes respecto a tuberías y estructuras.

La selección del tipo de soporte apropiado es determinada por la configuración de la tubería y las condiciones de operación.

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

Los puntos de fijación más prudentes en la tubería son:

- Sobre tubería propiamente y no sobre componentes tales como: válvulas, accesorios o juntas de expansión.
- Sobre tramos rectos de tuberías en lugar de sobre codos de radios agudos, juntas angulares o conexiones de ramales prefabricados, puesto que en estos sitios se encuentra la tubería ya sometida a esfuerzos altamente localizados, a los cuales se agregarían los efectos locales de la fijación.
- Sobre tramos de tuberías que no requieran remoción frecuente para limpieza o mantenimiento.
- Tan cerca como sea posible de concentraciones grandes de carga, tales como: tramos verticales, ramales de tubería, válvulas pesadas, separadores, etc.

La localización de los soportes depende del tamaño de la tubería, configuración de la misma, localización de las válvulas y accesorios y de la estructura disponible para el soporte de tuberías.

En un tendido de tubería horizontal, en campo abierto, el espaciamiento de soportes depende únicamente de la resistencia del tubo. Dentro de los límites de una unidad de proceso, por otra parte, el espaciamiento de soportes está determinado mayormente por el espaciamiento de columnas convenientemente ubicadas.

El máximo espacio sugerido entre soportes, se basa sobre un esfuerzo de torsión y cortante combinado de 1500 Psi (10.34 MPa), cuando la tubería está llena de agua y se permite una deflexión entre soportes de 1/10" (2.54 mm). Estos no se aplican cuando existen pesos concentrados tales como presencia de válvulas y otros accesorios pesados o cuando ocurran cambios de dirección en el sistema de tuberías.

En caso que se presenten cargas concentradas, los soportes deberían estar puestos tan cerca como sea posible a la carga, con la intención de mantener el esfuerzo flexionante al mínimo.

En la práctica, un soporte debería ser colocado inmediatamente después de cualquier cambio de dirección en la tubería.

El código ASME B31.1 establece dimensiones máximas sugeridas de acuerdo al diámetro nominal de la tubería en la siguiente tabla se muestran estas:

Tabla 1: Espacio sugerido entre soportes. ASME B31.1.

Nominal Pipe Size (NPS)	Suggested Maximum Span			
	Water Service		steam, gas or air service	
	ft	m	ft	m
1	7	2.1	9	2.7
2	10	3.0	13	4.0
3	12	3.7	15	4.6
4	14	4.3	17	5.2
6	17	5.2	21	6.4
8	19	5.8	24	7.3
12	23	7.0	30	9.1
16	27	8.2	35	10.7
20	30	9.1	39	11.9
24	32	9.8	42	12.8

Según el grado de restricción que generan los soportes, se pueden clasificar en:

Soportes flexibles

Los soportes flexibles se colocan en las zonas de apoyo para aliviar las cargas debido al peso de tuberías, aislantes, fluido y accesorios, este alivio se produce generando esfuerzos en sentido contrario a la deformación.

Este tipo de solución tiene dos principales funciones:

1. Aliviar las deformaciones causadas por efectos térmicos, cargas externas o cargas ocasionales (sismos, desastres naturales, etc.)
2. Brindar soporte a los sistemas de tuberías, es decir, puntos de apoyo.

Este tipo de soportes funciona gracias al principio de deformación elástica (de forma parecida que las juntas de expansión) y está construido con resortes internos. Estos pueden ser de **carga constante** o **carga variable**. Los soportes flexibles se subdividen en dos tipos:

- **Soportes flexibles de carga constante:** proveen una fuerza constante de apoyo, aunque el mismo esté al máximo rango de la expansión y contracción vertical. Esto es logrado con el uso de un resorte helicoidal trabajando en conjunto con un codo de palanca, de tal manera que la fuerza del resorte, multiplicada por la distancia del brazo pivote se iguale siempre a la carga de la tubería multiplicada por la distancia a la palanca pivote.

Debido a que su efecto de soporte es constante, éstos son usados donde se experimenten grandes desplazamientos de tubería como por ejemplo en los cabezales de pozo donde, generalmente, los desplazamiento pudieran ser desde 25 hasta los 125 mm; adicionalmente se usan donde se desea prevenir transferencia de cargas de peso a equipos conectados o a soportes adyacentes. En consecuencia, generalmente se usan para soportar sistemas de tuberías críticas.⁵

⁵ M. Rentería Vidaurre "Diseño de metodología para el análisis de flexibilidad en sistemas de tubería" tesis para optar al título. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima 2014.

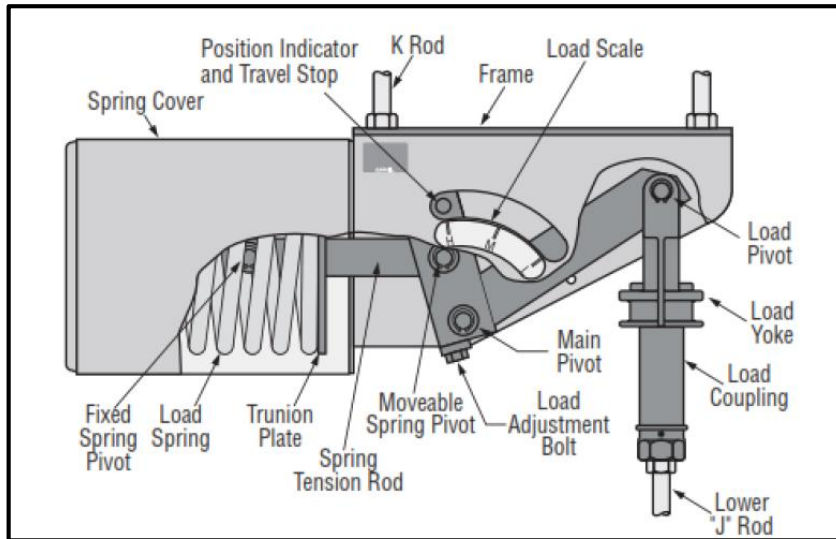


Ilustración 14: Soporte flexible de carga constante. (Vidaurre, 2014)

- **Soportes flexibles de carga variable:** son usados para tuberías sujetas a movimientos verticales donde los soportes flexibles de carga constante no son requeridos. La característica inherente de un soporte de carga variable es que la fuerza soportadora varía con la deflexión del resorte y con la escala del mismo, por lo tanto, la expansión vertical de la tubería causa una correspondiente tracción o compresión en el resorte y causará un cambio en el efecto de sustentación actual del soporte.

Los soportes flexibles de carga variable son para uso general, sobre sistemas de tuberías no críticas y donde el movimiento vertical es de pequeña magnitud con respecto a la criticidad del sistema. Se considera práctico limitar la variación de la fuerza sustentadora a un 25% para sistemas críticos sobre tuberías horizontales.

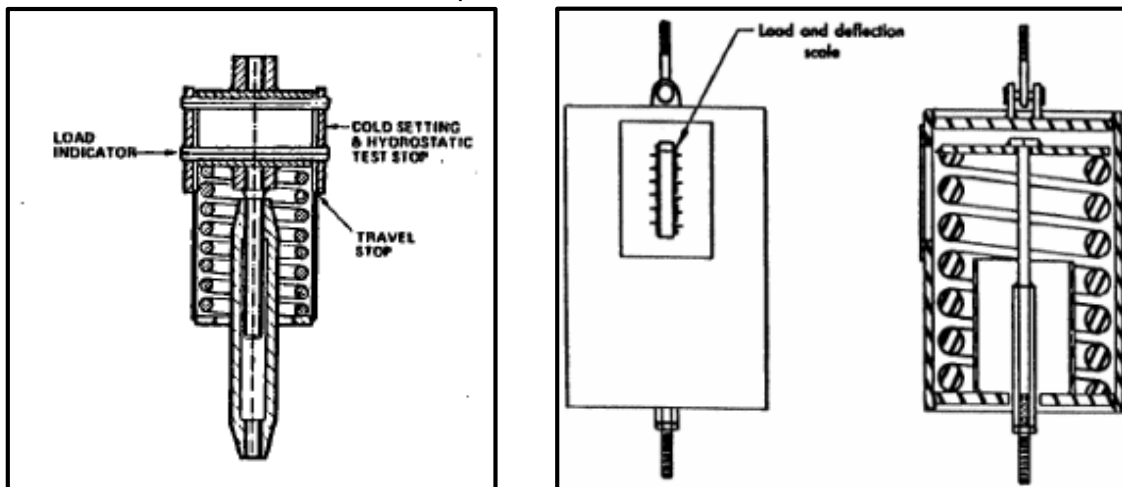


Ilustración 15: Soporte flexible de carga variable. (Hyundai engineering Co.ltd)

Soportes rígidos:

Los soportes rígidos son normalmente usados en puntos donde no ocurren movimientos verticales de la tubería.

Las consideraciones de diseño para un soporte rígido son: la temperatura de la tubería, para seleccionar el material de la abrazadera y la carga para seleccionar los componentes adecuados para el peso de la tubería implicada.

Para sistemas de tuberías de baja temperatura de operación, donde la expansión vertical no es considerada, los componentes de ensamblaje del soporte son seleccionados y diseñados sobre el cálculo básico de resistencia de materiales o cargas aproximadas.

La instalación indiscriminada de un soporte rígido sobre un sistema de tubería, podría alterar los esfuerzos y reacciones en la tubería de manera severa, cambiando el diseño del sistema a uno en el cual se exceden los límites de un buen diseño. Es por ello que se deben revisar los valores generados por la instalación de estos soportes durante el cálculo de los esfuerzos y reacciones, para que no sobrepasen los permisibles recomendados por los códigos ANSI/ASME para el diseño de tuberías.

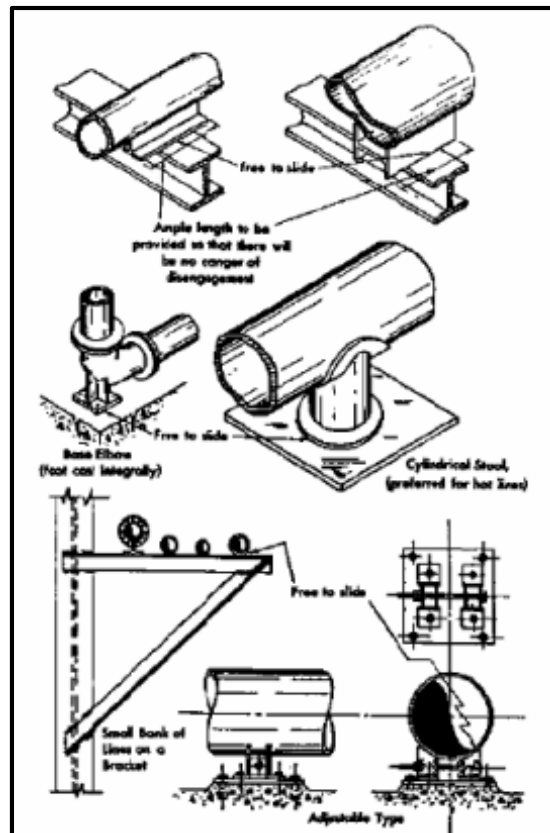


Ilustración 16: Montaje típico de soportes rígidos.

Soportes restrictivos:

Son usados para restringir o limitar el movimiento debido a la expansión térmica, las restricciones se clasifican en:

Anclajes: se utiliza para fijar completamente la tubería en ciertos puntos.

Limite o Stop (deslizantes, guías y pivotes): garantizan la rotación pero previenen el movimiento de traslación en al menos una dirección a lo largo del eje deseado, si el movimiento es restringido en ambas direcciones a lo largo del eje se usa el termino double stop.

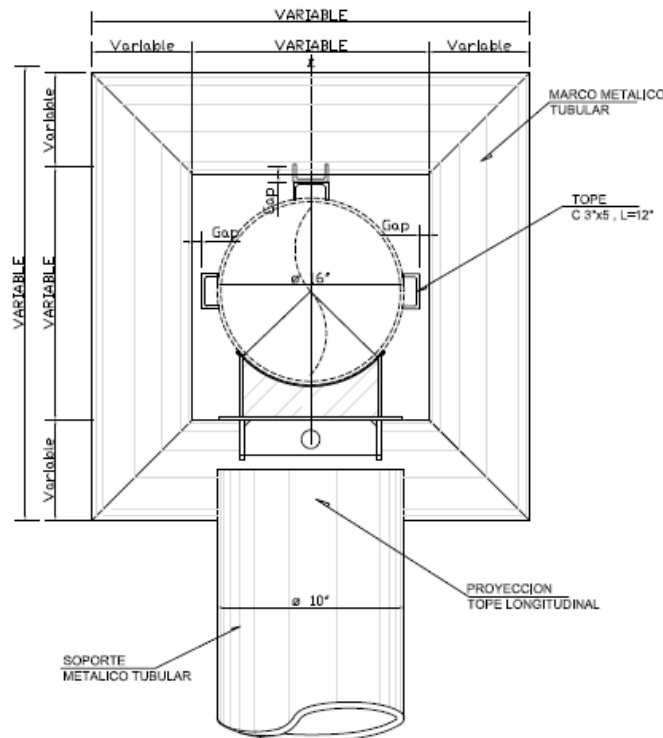


Ilustración 17: Soporte con límites o stop.

6.3.11 Disposición final y lista de materiales:

Una vez realizado el análisis y el diseño haya pasado la relación de esfuerzos, se dispondrá el arreglo final de la tubería en el que se incluirán todos los accesorios y especificaciones, para esto es necesario el layout del diseño estructural resultante, en base a este se realizaran los planos mecánicos a detalles.

Los cálculos resultantes del análisis de flexibilidad realizado a la tubería son entregados al diseñador estructural para el dimensionamiento de los soportes, bases y patines.

Los planos mecánicos y estructurales son base para la realización de las especificaciones técnicas, éstas describen al detalle cómo debe realizarse la fabricación y montaje de la tubería.

6.3.12 Fabricación e instalación:

Al tener los planos realizados con el mínimo detalle y las especificaciones técnicas, se inicia la fabricación e instalación de la tubería, para esto el código tiene consideraciones que tienen que ser tomadas en cuenta.⁶

7. DESARROLLO (METODOLOGÍA UTILIZADA).

Para la ejemplificación de la metodología que se utilizara en este trabajo se diseñara una tubería para fluido bifásico (agua y vapor) a una línea principal de fluido bifásico de 36" de diámetro, a esta línea están conectados 2 pozos en la misma plataforma.

7.1 Condiciones de trabajo según Código ASME B.31.1

El código ASME B31.1 especifica cinco condiciones de trabajo a tomar en cuenta antes de diseñar un sistema de acarreo.

1. La **presión** del sistema, tanto interna como externa.
2. La **temperatura** de trabajo, la temperatura de diseño es la temperatura máxima de la tubería durante su ciclo de trabajo.
3. La tercera condición son las **influencias ambientales**, tanto las caídas de temperatura significativas que influyan en la presión de trabajo del sistema (caídas de presión por debajo de la presión atmosférica), como la expansión del fluido que incremente significativamente la presión interna del sistema.
4. La cuarta condición son los **efectos dinámicos** (impacto, vientos, terremotos y vibraciones).
5. La quinta y última condición son las **cargas de expansión y contracción térmica**.

7.2 Condiciones de Diseño:

Las condiciones de diseño son los datos base que sirven para realizar el diagrama de flujo del proceso, los cálculos hidráulicos y térmicos, selección de materiales, trazado preliminar, análisis de flexibilidad y el trazado final de la tubería.

Para la realización de este diseño se realizaron las actividades detalladas a continuación:

7.2.1 Recopilación de información de bases de diseño:

Se necesita conectar un pozo nuevo a una línea principal de fluido bifásico existente, a la cual están conectados 2 pozos ubicados en la misma plataforma.

⁶ Para mayor información acerca de este acápite, consultar la norma ASME B31.1.

No se cuentan aún con datos de la prueba de producción se trabajará con los supuestos de reservorio, una vez se realicen las pruebas de producción se deberá verificar los datos con los que se diseñó el sistema.

El diagrama de flujo de proceso existente y plano actual de la plataforma se pueden observar en el **Plano 1**: Diagrama de flujo de proceso existente y **Plano 2**: Plataforma de pozos productores 1.



DISEÑO:
 Firma: ARG. RAQUEL GONZALEZ.
 REVISADO:
 Firma: ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ.
 Firma: ING. ALVARO FLAMENCO.
 APROBADO:
 Firma: ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ



Este dibujo es propiedad intelectual, y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.
 Este dibujo no puede ser escalado.
 Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.
 Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a ora, Raquel González.

REVISIONES:

REVISO:	FECHA:	DESCRIPCION:

REVISO: FECHA: DESCRIPCION:

- LEYENDA:
- — — LINEA EXISTENTE
 - — — LINEA NUEVA
 - — — LIMITES
 - POZO
 - PILA
 - BOMBA
 - VALVULA

TESIS:
 DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO:
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO EXISTENTE.

ESCALA: SIN ESCALA PROYECTO: TESIS

HOJA: 1 DE: 7 NUMERO: 1

OT: FECHA: NOVIEMBRE 2015

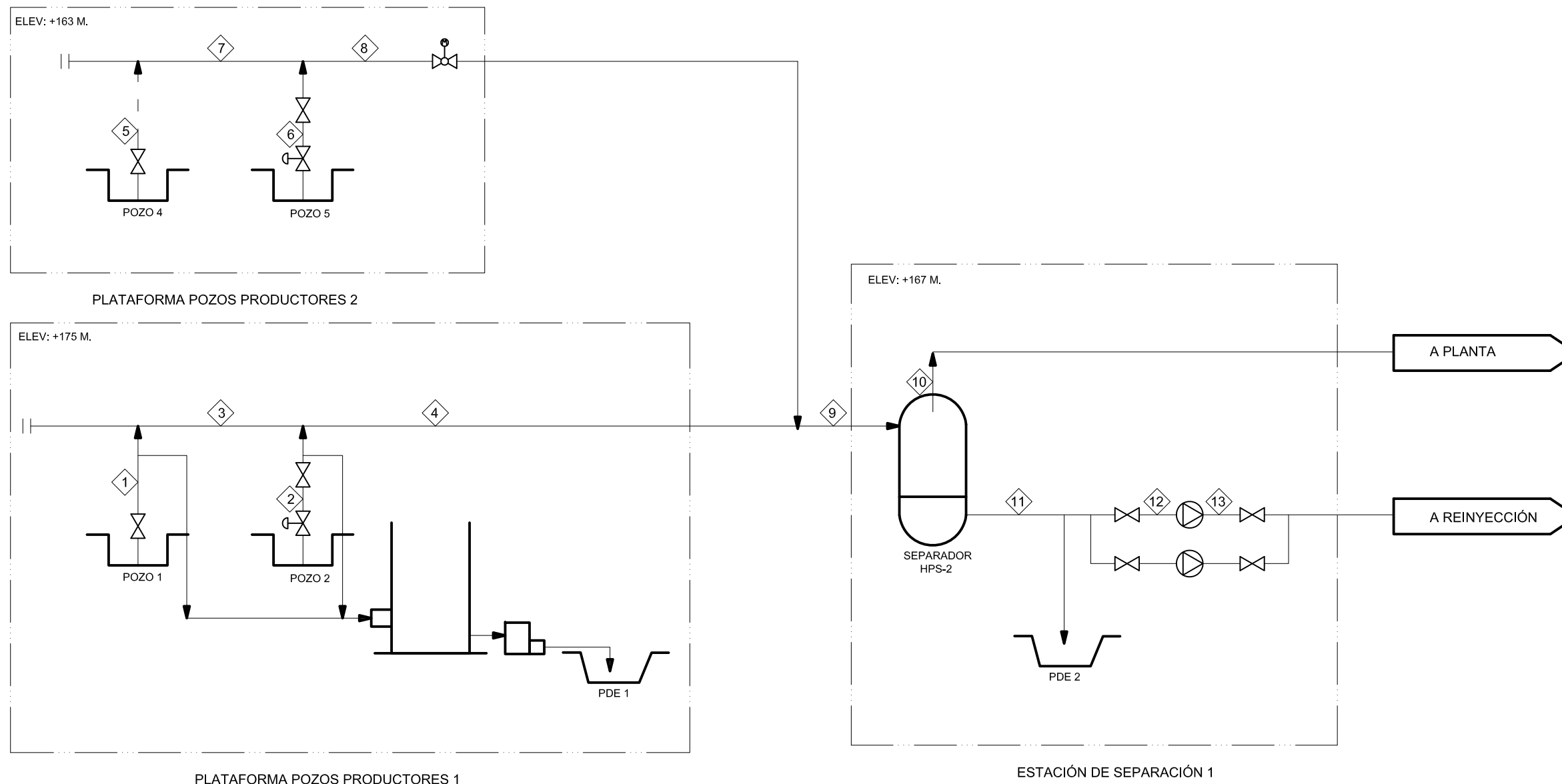
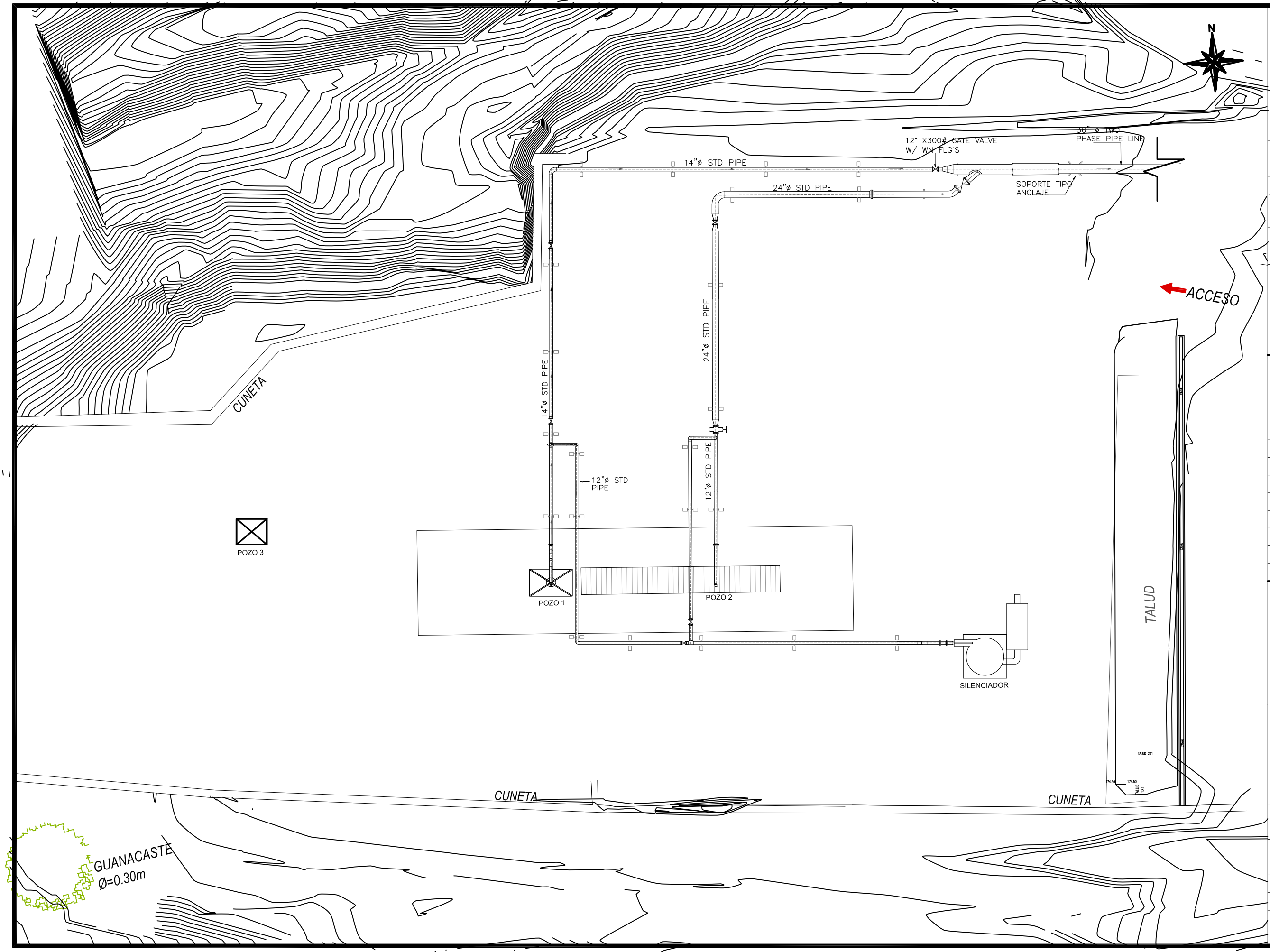


DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO EXISTENTE

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Parametros	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tipo de Fluido	-	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	V	S	S	S
Diametro nominal	pulgada	12	24	14	36	16	24	10	24	36	36	20	12	12
Longitud de tubería	metros	21	75	63	390	63	46	9	335	213	39	84	13	13
Flujo Total	ton / hora	101	158	101	259	74	378	74	452	711	180	531	531	531
Entalpía	KJ/kg	1050	1500	1050	1324	1615	1009	1615	1108	1187	2751	656	656	656
Temperatura	°C	160	163	159	159	163	162	162	160	158	154	154	154	155
Presión aguas arribas	bar a	6.27	7.18	6.14	5.96	6.83	6.52	6.64	6.44	5.97	5.35	5.46	5.46	18.79
Presión aguas abajo	bar a	6.14	5.96	5.96	5.97	6.64	6.44	6.44	5.97	5.65	5.33	5.26	5.26	18.54



DISEÑO:
 Firma: ARO, RAQUEL GONZALEZ
 REVISADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ
 Firma:
 APROBADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ



Este dibujo es propiedad intelectual y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.
 Este dibujo no puede ser escalado.
 Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.
 Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a arq. Raquel González.

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

REVISO: FECHA: DESCRIPCION:

LEYENDA:

TESIS:
 DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELADJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO:
 PLANO DE CONJUNTO PLATAFORMA POZOS PRODUCTORES.

ESCALA: SIN ESCALA	PROYECTO: TESIS
HOJA: 2 DE: 7	NUMERO: 5
OT:	FECHA: NOVIEMBRE 2015

En los planos anteriores podemos observar lo siguiente:

- La línea principal a la que están conectados los pozos 1 y 2, tiene un diámetro de 36”.
- El pozo 1 se conecta a la tubería principal directamente a través de un reductor, su trayectoria es una L.
- El pozo 2 Se conecta en ángulo de 45° por el costado de la tubería, el diámetro de esta línea es de 24”.
- En el plano de la plataforma se puede observar que al norte de la plataforma hay una restricción debido a la topografía, ya que se encuentra un cauce de gran magnitud, esto hay que tomarlo en cuenta para el trazado preliminar de la tubería.

7.2.2 Establecimiento de los parámetros de diseño.

Se debe conocer el tipo de fluido a transportar, el alcance del trabajo es diseño de sistemas de acarreo de fluidos geotérmico y se desarrollara una línea de tubería bifásica es decir que tendremos circulando en la tubería agua geotérmica y vapor.

Los parámetros básicos de diseño se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2: *Parámetros básicos para diseño de sistema de acarreo.*

Parámetros	tipo de fluido	Presión	Temperatura	Flujo Másico
Unidades	-	Bar a	°C	ton/hora
Valor	bifásico	6.92	162	146

Velocidad de viento:

Se supondrá una velocidad de viento promedio de 30 m / s, 10m por encima del suelo.

Para la estructura a diseñar no se consideraran cargas de viento ya que estará a 3 metros del nivel del suelo.

Diseño sísmico:

Los requisitos para el diseño sísmico fueron tomados del Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua (RCN 2007). Debido a que nuestros países de Centroamérica están afectados constantemente por sismos y ocasionalmente por terremotos, para este diseño se usara un factor de 0.3 veces la fuerza de la gravedad o 0.3g.

7.2.3 Determinación del diámetro de tubería:

Para la determinación del diámetro de la tubería se usó el programa EES (Engineering Equations Solver).

En el programa se introdujeron como datos de entrada los que se presentan en la tabla 4:

Tabla 3: Datos de entrada para el Programa EES.

Parámetros	tipo de fluido	Presión	Temperatura	Flujo Másico	Calidad	velocidad	longitud
Unidades	-	Bar a	°C	kg/s	-	m/s	m
Valor	bifásico	6.92	162	40.56	0.3	25	116

Se calculó el diámetro de la tubería y las caídas de presión, utilizando el patrón de cálculo del programa EES (ver código en anexos). que permite calcular el diámetro de la tubería de acuerdo al caudal que debe manejar cada tramo de tubería y procede simultáneamente a calcular la caída de Presión utilizando principalmente la ecuación de Colebrook para tubería de vapor, considerando la caída de presión en tubería de transporte de fluido bifásico como el 20% más que en la tubería de transporte de vapor.

El dimensionamiento de la tubería se realizó en función de la velocidad del fluido, se utilizó una velocidad de diseño de 25 m/s.

Para esto se utilizó la ecuación para calcular el caudal.

$$Q = v * A$$

Donde:

Q Caudal

v Velocidad

A Área

La ecuación del Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Donde:

ρ densidad del fluido

v_s Velocidad del fluido

μ Viscosidad del fluido

Los datos obtenidos de los calculos realizados en el programa a continuación

Tabla 4: Datos de salida del programa EES.

Parámetros	Caudal	Diámetro	Densidad	caída de presión
Unidades	kg/s	pulgada	°C	Bar a
Valor	3.38	16	162	0.68

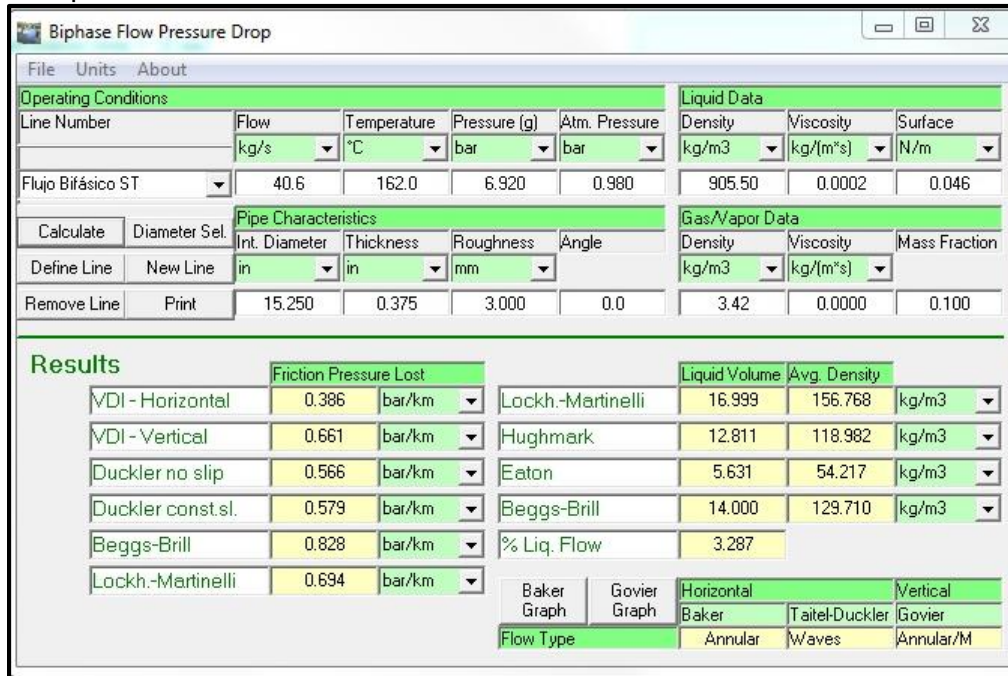
Con el dimensionamiento de la tubería obtenido en base a los cálculos realizados en el programa EES, se realizó el diagrama de flujo de proceso en el que se plasma graficamente el objetivo del diseño, la conexión del pozo 3 a la línea principal del flujo bifasico. **Ver plano 3: Plano de Diagrama de flujo de Proceso Propuesto.**

Ademas se realizó el diagrama de instrumentación y control, **ver Plano 4**, en el cual se diseña el arbol del cabezal del pozo, en este se especifica el tipo de valvula, diametro y clase de la misma, ademas de los equipos para mediciones de presión y temperatura. Ver plano 4: Diagrama de instrumentación y control.

En los **planos 3 y 4** ademas de los diagramas de flujo de proceso y diagrama de instrumentación y control respectivamente se encuentran las tablas de balance de masa y energía del sistema.

7.2.4 Cálculo del patrón de flujo:

Para la ubicación del patrón de flujo de la tubería, se utilizó el programa Biphase Flow Pressure Drop.



The screenshot shows the 'Biphase Flow Pressure Drop' software interface. It is divided into several sections:

- Operating Conditions:**

Line Number	Flow	Temperature	Pressure (g)	Atm. Pressure	Density	Viscosity	Surface
	kg/s	°C	bar	bar	kg/m ³	kg/(m ² s)	N/m
Flujo Bifásico ST	40.6	162.0	6.920	0.980	905.50	0.0002	0.046
- Pipe Characteristics:**

Int. Diameter	Thickness	Roughness	Angle	Density	Viscosity	Mass Fraction
in	in	mm		kg/m ³	kg/(m ² s)	
15.250	0.375	3.000	0.0	3.42	0.0000	0.100
- Gas/Vapor Data:**

Density	Viscosity	Mass Fraction
kg/m ³	kg/(m ² s)	
3.42	0.0000	0.100
- Results:**

	Friction Pressure Lost			Liquid Volume	Avg. Density	
VDI - Horizontal	0.386	bar/km	Lockh.-Martinelli	16.999	156.768	kg/m ³
VDI - Vertical	0.661	bar/km	Hughmark	12.811	118.982	kg/m ³
Duckler no slip	0.566	bar/km	Eaton	5.631	54.217	kg/m ³
Duckler const.sl.	0.579	bar/km	Beggs-Brill	14.000	129.710	kg/m ³
Beggs-Brill	0.828	bar/km	% Liq. Flow	3.287		
Lockh.-Martinelli	0.694	bar/km				
- Flow Type:**

Baker Graph	Govier Graph	Horizontal	Vertical
		Baker	Taitel-Duckler
		Annular	Waves
			Govier
			Annular/M

Ilustración 18: variables de entrada para determinar el patrón de fluio del fluido.

Para el cálculo de los parámetros que se ingresaron en el programa para determinar el patrón de flujo, los cálculos se realizaron en el programa EES y se utilizó la fórmula por Lockhart-Martinelli, correspondiente a una corrección de la caída de presión para flujo bifásico.

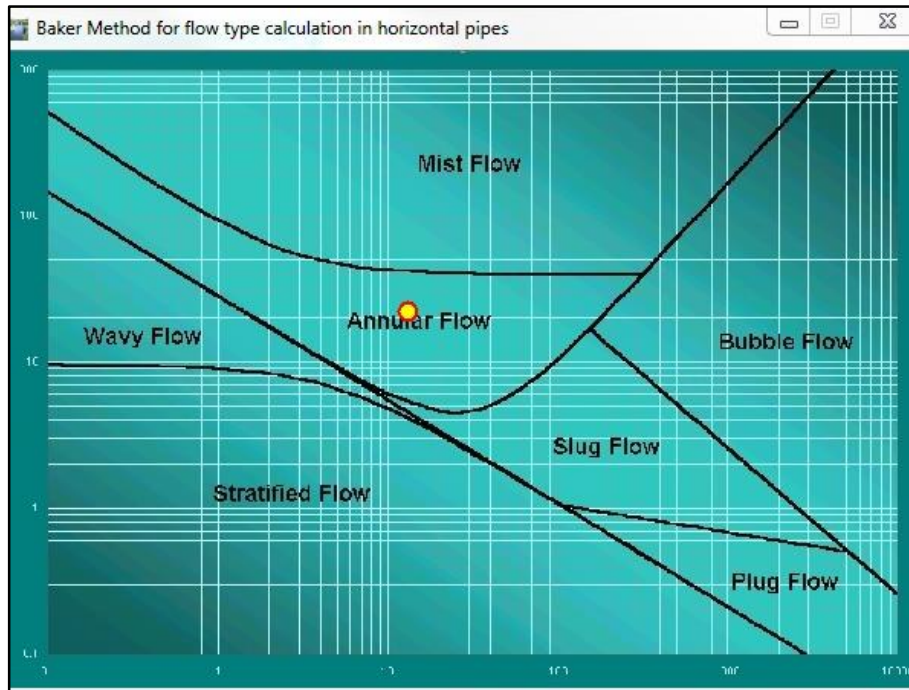


Ilustración 19: Grafica resultante del programa Biphase Flow Pressure Drop.

Como se muestra en la ilustración 19, el cálculo dio como resultado un flujo anular, es decir que el fluido tendrá un comportamiento estable.

7.2.5 Selección de los materiales:

Una vez obtenido el diámetro de la tubería se elige según el código por el que se rige este trabajo, el material para tuberías de vapor: A53 grado B sch STD.

Los accesorios a utilizarse en el cabezal del pozo se usaran válvulas clase 600, las válvulas de instrumentación serán clase 300.

Con el diagrama de instrumentación y control se puede realizar la lista preliminar de materiales, en las que se incluyan las válvulas y equipos ya que son las que requieren de tiempo para su adquisición.

Aunque pueda haber discrepancias entre las cantidades de materiales preliminares con la lista final, es mejor adquirir los equipos con tiempo, así mientras se va realizando los análisis y diseños restantes, se avanza con el proceso de compra, que para algunos equipos pueden llegar a ser de meses hasta que se encuentren en las bodegas donde se requiere.



DISEÑO:

Firma:
ARQ. RAQUEL GONZALEZ.

REVISADO:

Firma:
ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ.
Firma:
ING. ALVARO FLAMENCO.

APROBADO:

Firma:
ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ



Este dibujo es propiedad intelectual, y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.
Este dibujo no puede ser escalado.
Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.
Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a arq. Raquel González.

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

REVISOR: FECHA: DESCRIPCION:

LEYENDA:

— — — LINEA EXISTENTE

————— LINEA NUEVA

— · · · — · · · LIMITES

POZO

PILA

BOMBA

VALVULA

TESIS:

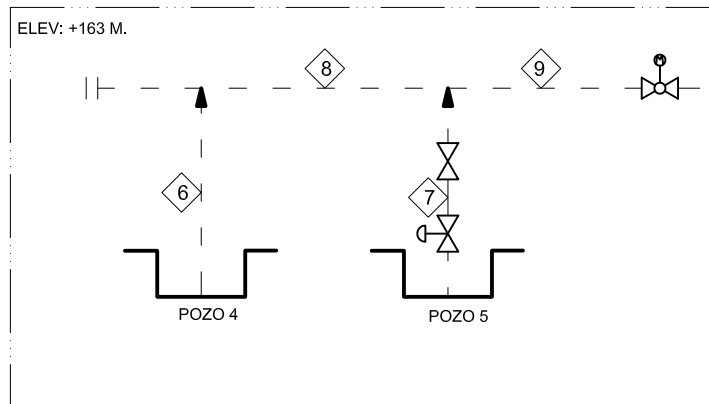
DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PROPUESTO.

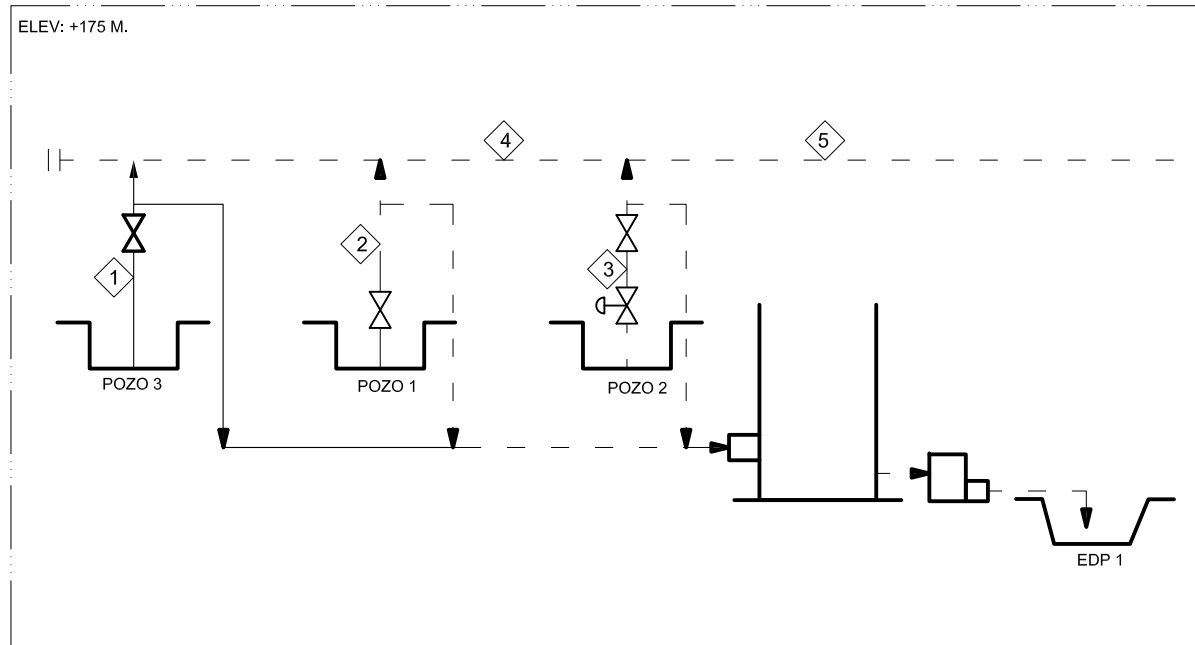
ESCALA: SIN ESCALA PROYECTO: TESIS

HOJA: 3 DE: 7 NUMERO: 3

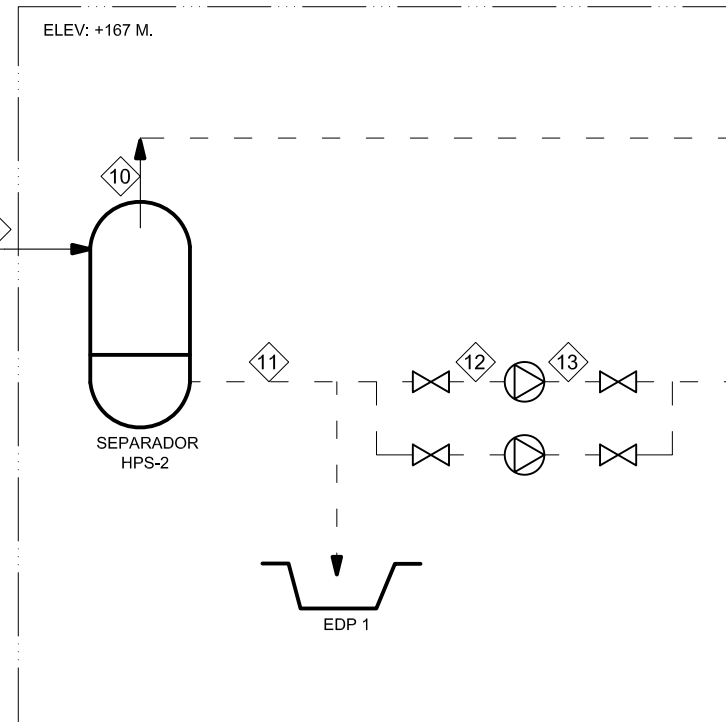
OT: FECHA: NOVIEMBRE 2015



PLATAFORMA POZOS PRODUCTORES 2



PLATAFORMA POZOS PRODUCTORES 1



ESTACIÓN DE SEPARACIÓN 1

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Parametros	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tipo de Fluido	-	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	V	V	S	S	S	S
Diametro nominal	pulgada	16	14	24	36	42	16	24	10	30	42	42	24	16	12	20
Longitud de tubería	metros	75	63	75	390	198	63	46	9	355	173	403	97	13	13	4
Flujo Total	ton / hora	146	103	160	410	844	80	355	80	435	236	236	608	304	304	608
Entalpía	KJ/kg	1500	1050	1500	1386	1248	1420	1050	1420	1118	2754	2753	663	663	663	663
Temperatura	°C	162	161	164	160	159	164	163	163	162	157	156	155	153	157	157
Presión aguas arribas	bar a	6.92	6.41	7.36	6.24	6.16	6.86	6.64	6.71	6.56	5.69	5.65	5.75	5.15	17.18	17.09
Presión aguas abajo	bar a	6.24	6.24	6.24	6.16	5.86	6.71	6.56	6.56	6.16	5.65	5.55	5.15	5.13	17.09	17.08



DISEÑO:

Firma:
ARQ. RAQUEL GONZALEZ.

REVISADO:

Firma:
ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ.

Firma:
ING. ALVARO FLAMENCO.

APROBADO:

Firma:
ING. JOSE LUIS HENRIQUEZ



Este dibujo es propiedad intelectual, y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.

Este dibujo no puede ser escalado.

Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.

Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a arq. Raquel González.

REVISIONES:

REVISO:	FECHA:	DESCRIPCION:

LEYENDA:

- — — LINEA EXISTENTE
- · · · — · · · LIMITES
- LINEA NUEVA

- INDICADOR DE PRESIÓN
- TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN
- INDICADOR DE FLUJO
- TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO

PROYECTO:

DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO:

DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.

ESCALA: SIN ESCALA

PROYECTO: TESIS

HOJA: 4

DE: 7

NUMERO: 4

OT:

FECHA:

NOVIEMBRE 2015

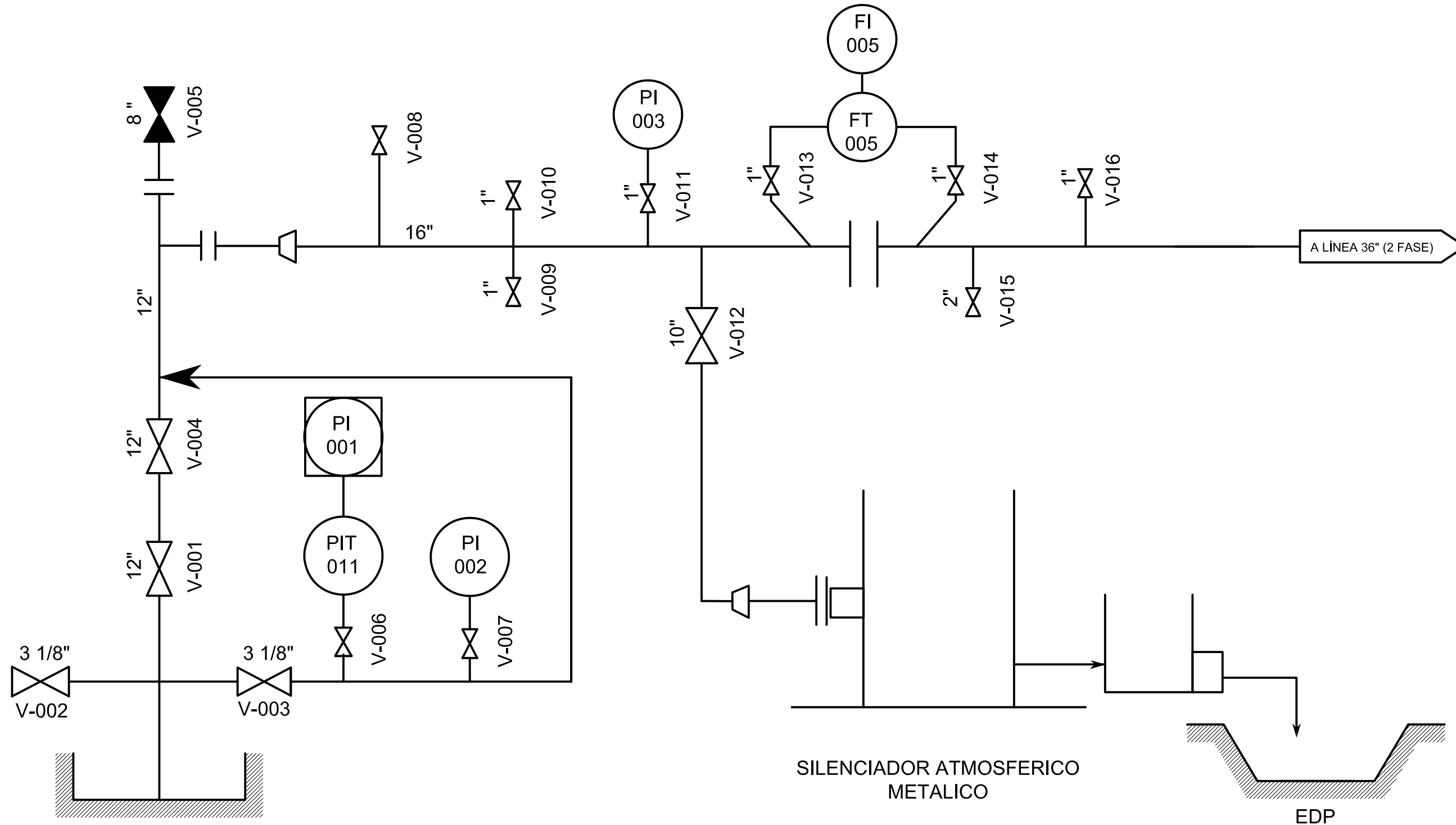


DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.

7.2.6 Diseño preliminar de la ruta del sistema:

De acuerdo al **plano 2**: Plano de plataforma actual, se procede a la elaboración de la ruta preliminar para el sistema de tubería, para esto se tomó en cuenta lo siguiente:

- Las restricciones topográficas que se encuentran en la plataforma.
- Las dos líneas existentes.
- La ergonomía de los operadores y personal de mantenimiento.

Tomando estas consideraciones se selecciona la ruta preliminar propuesta en el **Plano 5**: Diseño preliminar de ruta de sistema de acarreo.

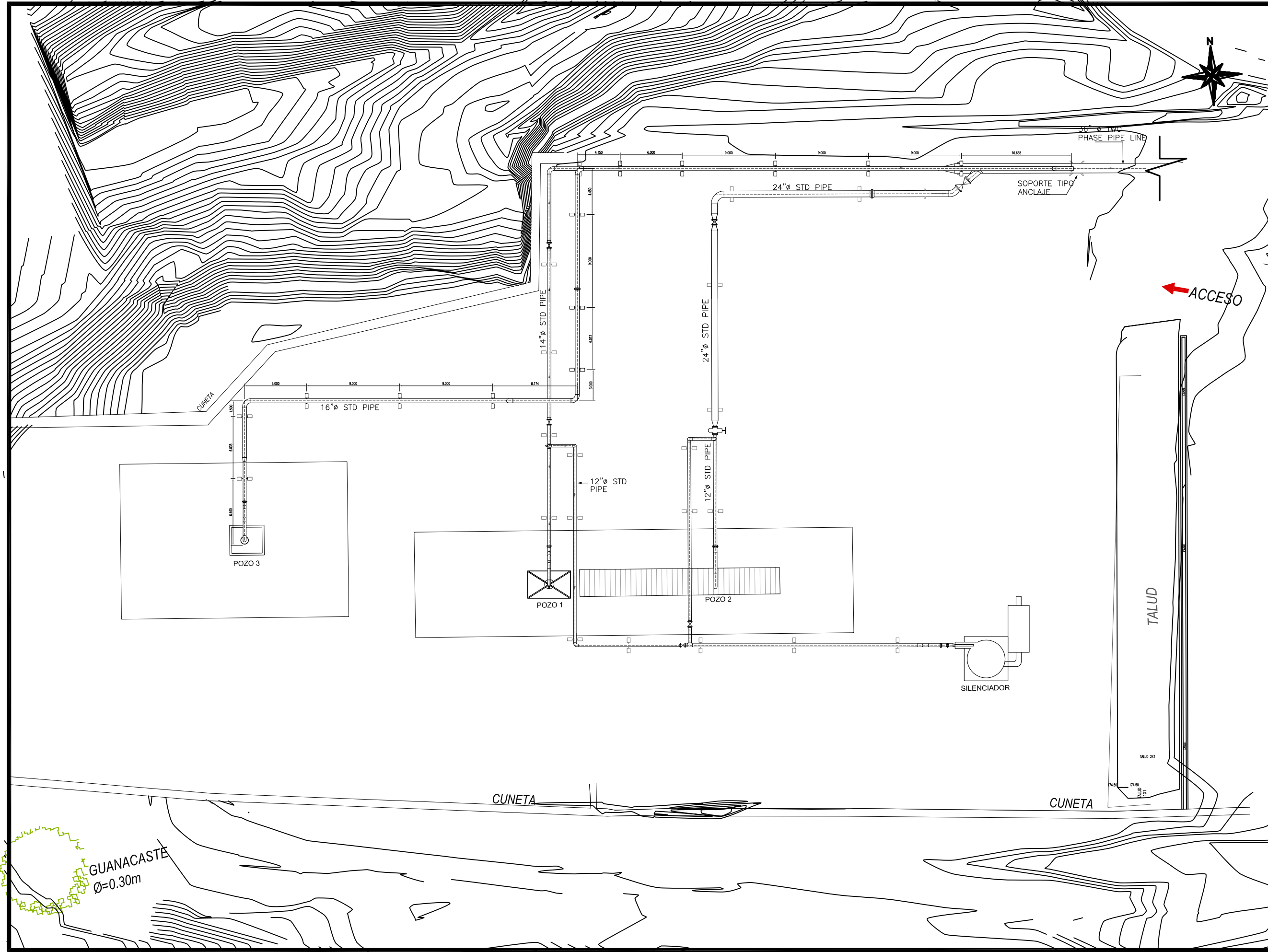
Se saldrá hacia el norte con la tubería y se doblará hacia el este, antes de llegar a la tubería del pozo 1, subirá y pasará encima de la tubería del pozo 1, luego doblará al norte, manteniendo la altura de 3 metros, luego seguirá al hasta conectarse a la línea principal de 36" en ángulo de 45° por la parte de arriba de la tubería. **Ver Plano 6**: Diseño preliminar de tubería perfiles.

Con el objetivo de que armonice con las tuberías que actualmente existen el diseño se realizó similar al de los pozos adyacentes, pero se recomienda tomar en cuenta que puede que sea necesario hacer algún mantenimiento a alguno de los tres pozos o se perfora un pozo nuevo y al llegar la torre de perforación, se tendrán que sacar de producción los pozos adyacentes e invertir horas hombre para el desmontaje de la tubería, por esta razón últimamente se están diseñando las tuberías en las plataformas subterráneas, para que no interfiera en ninguna obra futura.

7.2.7 Ubicación Preliminar y selección del tipo de soportes:

Con el diseño preliminar se realizó la ubicación preliminar de los soporte, para la ubicación preliminar se considera todos los soportes como deslizantes o guías excepto el primer soporte que se propone de carga constante.

La distancia de los soportes se ubica de acuerdo a **la tabla 1**, del acápite **6.2.10 Diseño de soporte de tuberías**. se muestran las distancias máximas sugeridas en base al diámetro de la tubería tanto para agua, como para vapor; podemos observar que las distancias para la tubería de agua es menor que la de vapor, esto se debe al peso que es mayor en la tubería de agua. El diseño propuesto en esta tesis es un flujo bifásico, por lo que es recomendado usar un porcentaje entre la tubería de agua y vapor.



DISEÑO:
 Firma: ARO, BAQUEL GONZALEZ.
 REVISADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ.
 Firma: ING. ALVARO FLAMENCO.
 APROBADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ.



Este dibujo es propiedad intelectual y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.
 Este dibujo no puede ser escalado.
 Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.
 Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a org. Raquel González.

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

REVISO: FECHA: DESCRIPCION:

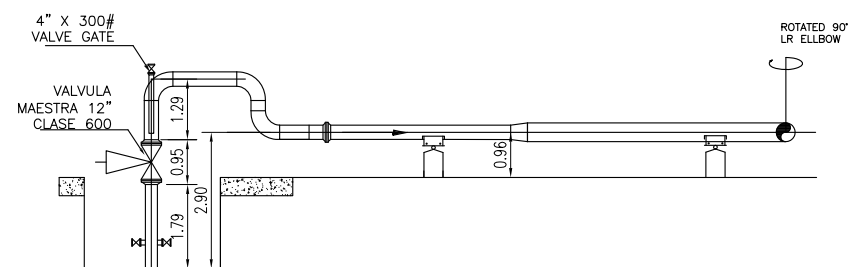
LEYENDA:

TESIS: DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELADJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

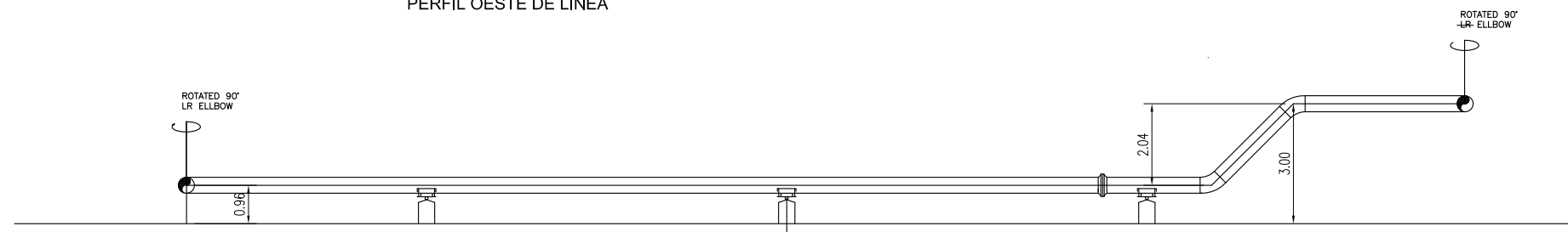
CONTENIDO: DISEÑO PRELIMINAR RUTA DE SISTEMA DE ACARREO.

ESCALA: SIN ESCALA	PROYECTO: TESIS
HOJA: 5 DE: 7	NUMERO: 5
OT:	FECHA: NOVIEMBRE 2015

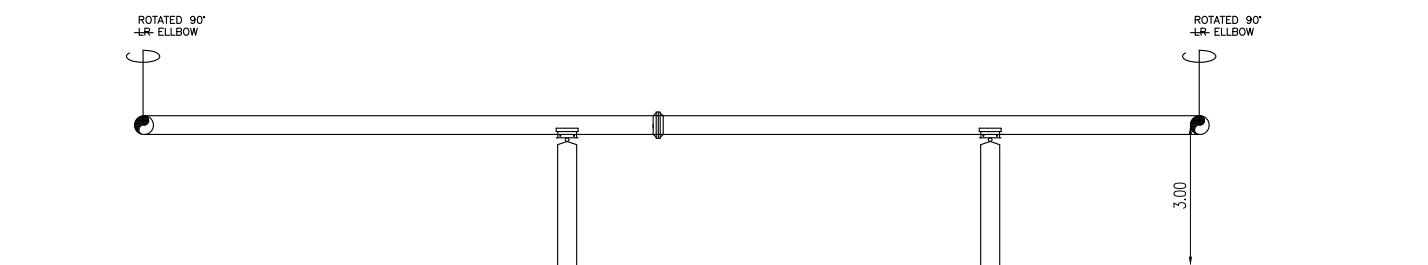
GUANACASTE
 Ø=0.30m



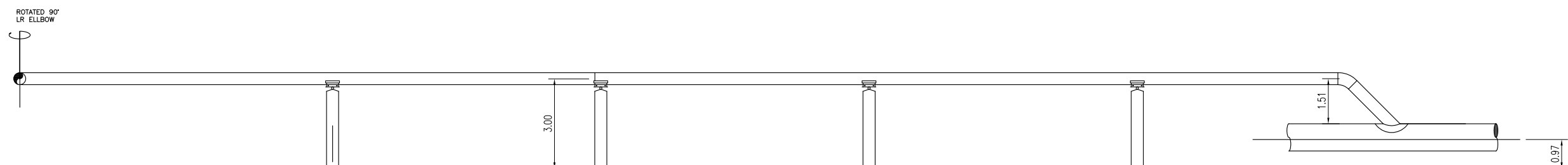
PERFIL OESTE DE LÍNEA



PERFIL NORTE DE LÍNEA



PERFIL ESTE DE LÍNEA



PERFIL NORTE 2 DE LÍNEA

DISEÑO:

Firma:
ARQ. RAQUEL GONZALEZ.

REVISADO:

Firma:
ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ.
Firma:

APROBADO:

Firma:
ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ.



Este dibujo es propiedad intelectual y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.

Este dibujo no puede ser escalado.

Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.

Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a arq. Raquel González.

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

REVISO: FECHA: DESCRIPCION:

LEYENDA:

TESIS:
DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LÍNEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO:
PERFILES PRELIMINARES DE LA SISTEMA DE ACARREO.

ESCALA: SIN ESCALA

PROYECTO: TESIS

HOJA: 6

DE: 7

NUMERO: 6

OT:

FECHA:
NOVIEMBRE 2015

7.2.8 Análisis de esfuerzos de flexibilidad:

Los esfuerzos a tomar en cuenta para el análisis de flexibilidad están basados en el código ASME B31.1 y se describen a continuación:

Esfuerzos sostenidos o primarios (ASME B31.1, 2007)

Son aquellos esfuerzos longitudinales que se producen por cargas sostenidas (peso de la tubería, peso del aislamiento, peso del fluido, fuerzas concentradas y distribuidas, momentos aplicados y presión interna). Se trata de esfuerzos no autolimitantes de forma que su acción es suficiente para causar deformación plástica o rotura inminente del material. El control de estos esfuerzos es sencillo mediante un buen soportado del sistema. Los esfuerzos sostenidos, que deberán compararse con el esfuerzo máximo admisible del material, se calculan de la siguiente forma:

$$S_L = \frac{P * D_o}{(1000)4 * t} + \frac{0.75i * M_A}{Z} \leq 1.0 S_h$$

Donde:

S_L Suma de esfuerzos longitudinales debido a la presión, peso y otras cargas sostenidas.

P Presión interna de la tubería.

D_o Diámetro externo de la tubería.

t_n Espesor de la tubería.

i Factor de intensificación de esfuerzos; $0.75i \geq 1$.

M_A Es el momento flector debido a las cargas sostenidas.

S_h Máximo esfuerzo admisible a la máxima temperatura del material.

Z Módulo de sección de la tubería.

La ecuación anterior tiene dos elementos, el primero determina el esfuerzo debido a la presión interna de la tubería y el segundo determina el esfuerzo debido al momento generado por el peso de la tubería, aislante y otros accesorios.

El primer término:

$$S_1 = \frac{F}{A} = \frac{P(D_o - 2t_n)^2}{D_o^2 - (D_o - 2t_n)^2} = \frac{P(D_o^2 - 4D_o t_n + 4t_n^2)}{4D_o t_n}$$

En tuberías la relación D_o , es mayor a 10, haciendo que t_n se pueda obviar en el análisis por lo tanto la ecuación queda:

$$S_1 = \frac{PD_0}{4t_n}$$

Esfuerzo debido a cargas ocasionales (ASME B31.1, 2007)

Las cargas ocasionales son las que aparecen, mayormente, debido a factores ambientales. Los efectos de cargas ocasionales que actúan sobre el sistema de *piping* deben evaluarse según la expresión:

$$\frac{PD_0}{4t_n} + \frac{0.75iM_A}{Z} + \frac{0.75iM_B}{Z} \leq kS_h$$

Donde:

k Es 1.15 cuando las cargas actúan por no más de 8 horas/vez y no más de 800 horas/año.

M_B Es el momento resultante debido a las cargas ocasionales.

Cargas por desplazamientos (ASME B31.1, 2007)

Este tipo de cargas se originan a partir de expansiones térmicas restringidas geoméricamente, se calculan utilizando las siguientes expresiones:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4S_t^2} \leq S_A$$

Donde

S_E Esfuerzo de flexibilidad.

S_b Esfuerzo flector resultante.

S_t Esfuerzo de torsión.

$$S_t = \frac{M_t}{2Z}$$

Donde:

M_t Momento torsor

Los esfuerzos flectores y de torsión tienen formas de cálculo dependientes de la trayectoria de las tuberías. Las tuberías del sistema pueden cambiar su sentido o bifurcar su camino con la utilización de codos y tees respectivamente.

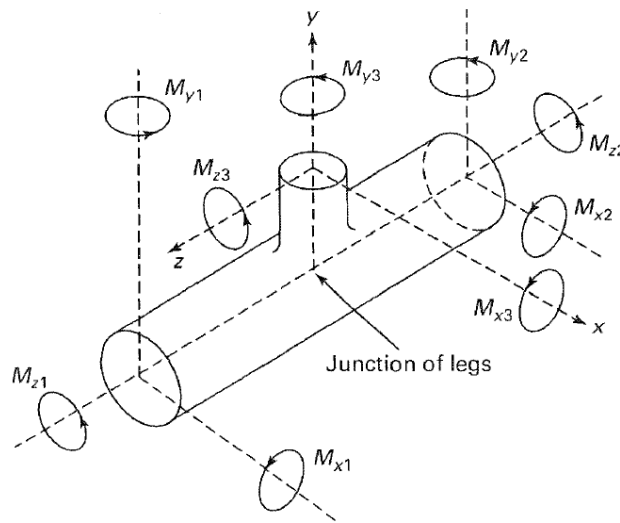


Ilustración 16: Momentos en tee (ASME B31.1, 2007)

$$S_b = \sqrt{\frac{(iM_i)^2 + (iM_o)^2}{Z}}$$

Donde:

- i_i Factor de intensificación *in-plane*.
- i_o Factor de intensificación *out-plane*.
- M_i Momento flector *in-plane*
- M_o Momento flector *out-plane*

7.2.9 Esfuerzos límites de diseño

El código limita los esfuerzos de diseño según el tipo de carga a evaluar. Los siguientes tipos de esfuerzos ocasionan esfuerzos de deformación en las tuberías; pero, la importancia de uno u otro no es la misma. Es responsabilidad del diseñador determinar las criticidad de alguna de los esfuerzos a evaluar, para ello se debe tener conocimiento del origen de este tipo de cargas.

1. Esfuerzos sostenidos (Sustained Stresses) ⁷

La suma de esfuerzos sostenidos debido a la presión de trabajo y peso de tuberías, aislantes y accesorios no debe exceder el máximo esfuerzo permisible del material a la máxima temperatura de trabajo.

2. Esfuerzos debido a cargas ocasionales (ASME B31.1, 2007)

La suma de estos esfuerzos ocasionales no debe exceder 1.15 veces el máximo esfuerzo permisible del material a la máxima temperatura de trabajo.

3. Esfuerzos por desplazamientos permisibles (ASME B31.1, 2007)

Este tipo de esfuerzo es ocasionado por la expansión y contracciones térmicas del sistema de tuberías. El esfuerzo admisible para este tipo de esfuerzo se calcula de la siguiente manera:

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

Cuando el esfuerzo admisible a la máxima temperatura es mayor a la suma de esfuerzos longitudinales, el esfuerzo admisible para los esfuerzos por desplazamientos de calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$S_A = f(1.25 S_C + 1.25 S_h - S_L)$$

Donde:

S_A Es el esfuerzo causado por deformaciones.

f Factor de esfuerzo cíclicos por el total de esfuerzos equivalentes, el valor mínimo de f es 0.15.

S_C Esfuerzo permisible a la mínima temperatura durante el ciclo de trabajo de la tubería.

S_h Esfuerzo permisible a la máxima temperatura durante el ciclo de trabajo de la tubería.

En resumen los sistemas de acarreos de tuberías deben ser lo suficientemente flexibles para evitar esfuerzos mayores que los permisibles y cargas excesivas derivadas de la expansión térmica, se deben de evitar fallas por fatiga.

$$S_E \leq S_A$$

⁷ (ASME B31.1, 2007)

7.2.10 Metodología de análisis de flexibilidad según el código ASME B31.1

Los conceptos previos han sido expuestos para poder entender la metodología para el análisis de flexibilidad que propone el código ASME B31.1. Este se esquematiza en el diagrama

La metodología inicia con una pre evaluación del sistema, si la pre evaluación da resultados positivos, el sistema tiene flexibilidad suficiente como para funcionar correctamente, si por el contrario los resultados son negativos se procede a calcular el esfuerzo límite (**acápito 7.2.9**) y el esfuerzo de flexibilidad (**acápito 7.2.8**). Finalmente, se verifica el esfuerzo calculado, si este supera el límite de diseño, se debe proceder a hacer cambios en la configuración del sistema y calcular nuevamente el esfuerzo de flexibilidad pero, si el esfuerzo de flexibilidad es menor al esfuerzo de diseño, el sistema tiene suficiente flexibilidad.

Las consideraciones que se asumen en el código para el análisis de flexibilidad son:

- La ubicación, número y tipo de soportes del sistema.
- El cálculo de esfuerzos de flexibilidad se realiza en los codos y tees.

El código no brinda información o criterios de selección de soluciones ante la falta de flexibilidad del sistema, por lo que esto se ha realizado en base a lo expuesto en el marco teórico y la experiencia de los diseñadores mecánicos.

Las consideraciones para el análisis de flexibilidad a tomar en cuenta son:

- La presión de diseño del sistema, en este caso es de 6.92 bares absolutos.
- La temperatura de diseño: 162° C.
- El diámetro de la tubería: para el cabezal del pozo es de 12" de diámetro y se amplía a 16" de diámetro.
- El material de la tubería: ASTM A 53 Grado B, con una tolerancia del 12.5% de fabricación. Los codos, tees y reductores A234 WPB. Las bridas A181 Grado 1, ANSI 300, ANSI 600 Y ANSI 900.
- El factor de corrosión según el código ASME B31.G, se debe contemplar para el diseño un factor de corrosión del 10% del espesor de la tubería, en este caso se usara 3 mm.

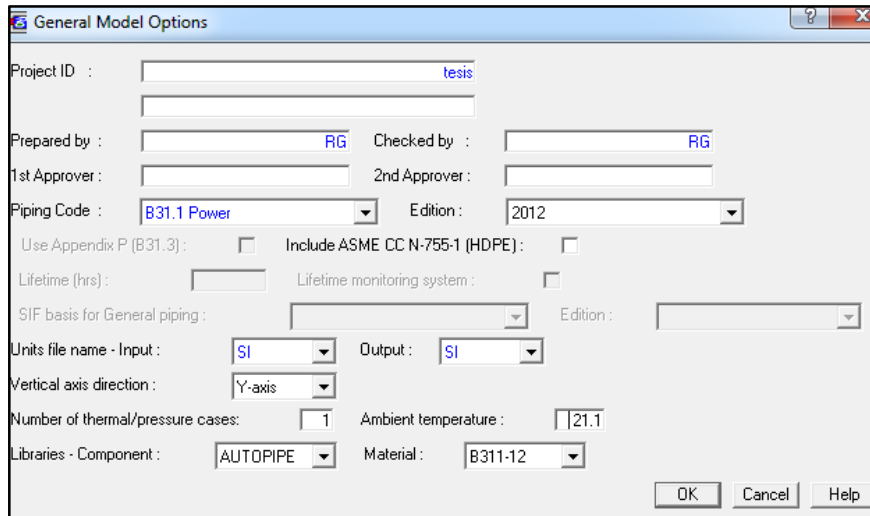
El análisis de flexibilidad que se realizara al sistema de acarreo propuesto será con el programa *AutoPipe V8*.

Antes de realizar el análisis de los esfuerzos en el sistema que se está diseñando, se ingresaron las coordenadas x, y, z de la línea, así como los accesorios, soportes que se propusieron inicialmente.

Para minimizar las cargas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Controlar el movimiento resultante de la línea por medio de artefactos límite o restricciones variables.
- Controlar el movimiento resultante de la línea por amortiguamiento; por ejemplo disipación de energía.
- Oposición a la deflexión o rotación por medio de uniones rígidas.
- Modificación de la frecuencia natural de la línea o la estructura de soportes.

Para iniciar el dibujo de la tubería en el programa se configura para que reconozca el código con el que debe de realizar el análisis de los esfuerzos, los datos iniciales que hay que introducir en el programa son el código que se va a utilizar, para que el programa realice el análisis de los diferentes esfuerzos basados en este y las unidades de entrada y salida de los datos, como se muestra en la imagen 1.



General Model Options

Project ID :

Prepared by : Checked by :

1st Approver : 2nd Approver :

Piping Code : Edition :

Use Appendix P (B31.3) : Include ASME CC N-755-1 (HDPE) :

Lifetime (hrs) : Lifetime monitoring system :

SIF basis for General piping : Edition :

Units file name - Input : Output :

Vertical axis direction :

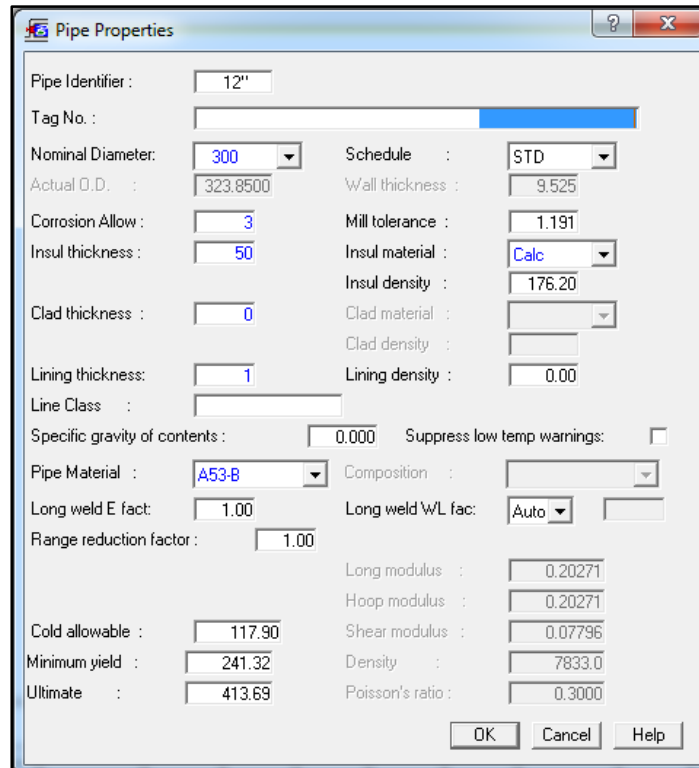
Number of thermal/pressure cases: Ambient temperature :

Libraries - Component : Material :

OK Cancel Help

Ilustración 20: Configuración inicial del programa AutoPipe V8.

Luego se fue introduciendo cada segmento de tubería con las especificaciones de su diámetro nominal, cedula (*Schedule*), también el factor de corrosión que según el código es 3 mm, el grosor de aislamiento de silicato de calcio generalmente se usa 2" por las presentaciones del mercado y también el material de la tubería.



Pipe Identifier :	12"		
Tag No. :			
Nominal Diameter:	300	Schedule :	STD
Actual O.D. :	323.8500	Wall thickness :	9.525
Corrosion Allow :	3	Mill tolerance :	1.191
Insul thickness :	50	Insul material :	Calc
		Insul density :	176.20
Clad thickness :	0	Clad material :	
		Clad density :	
Lining thickness:	1	Lining density :	0.00
Line Class :			
Specific gravity of contents :	0.000	Suppress low temp warnings:	<input type="checkbox"/>
Pipe Material :	A53-B	Composition :	
Long weld E fact:	1.00	Long weld WL fac:	Auto
Range reduction factor :	1.00		
		Long modulus :	0.20271
		Hoop modulus :	0.20271
		Shear modulus :	0.07796
Cold allowable :	117.90	Density :	7833.0
Minimum yield :	241.32	Poisson's ratio :	0.3000
Ultimate :	413.69		

OK Cancel Help

Ilustración 21: Configuración para un segmento de tubería.

Al igual que los segmentos de tubería se ingresan las especificaciones de las válvulas, bridas, reductores, codos, tees y demás accesorios que posea el sistema de acarreo.

El programa también nos permite especificar el tipo de soporte a colocar y el grado de restricción y la dirección de esta restricción.

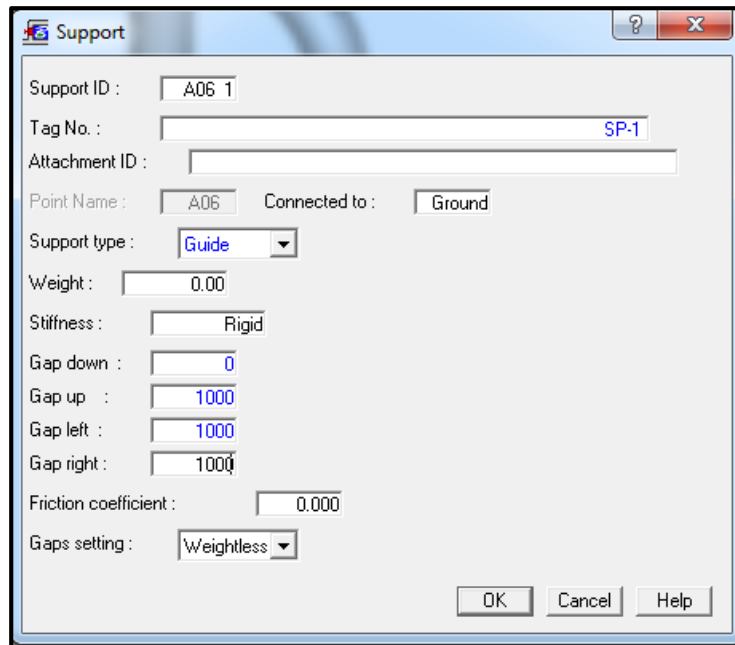


Ilustración 22: Configuración para soporte guía.

En la ilustración 22, se muestra la configuración de un soporte con restricciones solamente bajo la tubería, pero dependiendo del caso puede configurar para que tenga restricciones arriba, abajo, a la derecha o a la izquierda, según lo requiera el diseño.

Una vez que se tiene dibujada la tubería en su totalidad, se procede a configurar el programa para los esfuerzos a los que estará sometido.

7.2.11 Análisis de esfuerzos del sistema de acarreo:

El Sistema que se requiere analizar consiste en la línea de flujo bifásico (LP3-1-16") que se conecta a una línea principal existente también de flujo bifásico (LPP-1-36"). Se debe cumplir con el código ASME B31.1-2007 "Power Piping".

En la tabla 6, se describen los componentes del sistema de acarreo propuesto, con sus debidas especificaciones, los codos de 90° son de radio largo, en la tabla se especifica la cedula y clase de cada elemento.

Tabla 5: Descripción de los componentes del sistema.

Descripción	Unidad	Diámetro	Cedula(SCH)/clase
Tubería, ERW ,B36.10M,A53-B	Pulgada	16"	STD
Codo 90°,LR,BW,B16.9,CS,A234-WPB	Unidad	16"	STD
Codo 45°,LR,BW,B16.9,CS,A234-WPB	Unidad	16"	STD
Reductor concentrico,BW,B16.9,CS,A234-WPB	Unidad	16"x12"	STD
Brida,WN,RTJ,STD,B16.5,CS,A105	Unidad	16"	CL300
Brida,SOW,RF,STD,B16.5,CS,A105	Unidad	16"	CL300
Tubería, ERW ,B36.10M,A53-B	Unidad	12"	STD
Brida,WN,RTJ,STD,B16.5,CS,A105	Unidad	12"	CL 600
TEE ,BW,B16.9,CS,A234-WPB	Unidad	12"	STD
Reductor concentrico,BW,B16.9,CS,A234-WPB	Unidad	12" x 8"	STD
Válvula maestra, <i>Gate</i>	Unidad	12"	CL600
Válvula <i>Gate</i>	Unidad	12"	CL300
Válvula <i>Gate</i>	Unidad	8"	CL300

Consideraciones para el análisis:

En la tabla 6 y 7 respectivamente se muestran las características de las líneas que forman parte del diseño de sistema de acarreo.

Tabla 6: Característica de línea de 16".

Línea LP3-1-16"		
Parámetro	Unidad de medida	valor
Diámetro Nominal	pulgada	16"
Diámetro externo	pulgada	16"
Espesor de pared	mm	9.53
Tolerancia a la corrosión	mm	3
espesor del aislante	mm	50
temperatura de diseño	°C	162
Presión de diseño	Bar a	6.92

Tabla 7: Característica de línea de 12" (ASTM A53, 2003).

Línea LP3-1-12"		
Parámetro	Unidad de medida	valor
Diámetro Nominal	pulgada	12"
Diámetro externo	pulgada	12.75"
Espesor de pared	mm	9.53
Tolerancia a la corrosión	mm	3
espesor del aislante	mm	50
temperatura de diseño	°C	162
Presión de diseño	Bar a	6.92

A continuación se presenta en la tabla 8, el vector sismo utilizado en el análisis y los casos a simular.

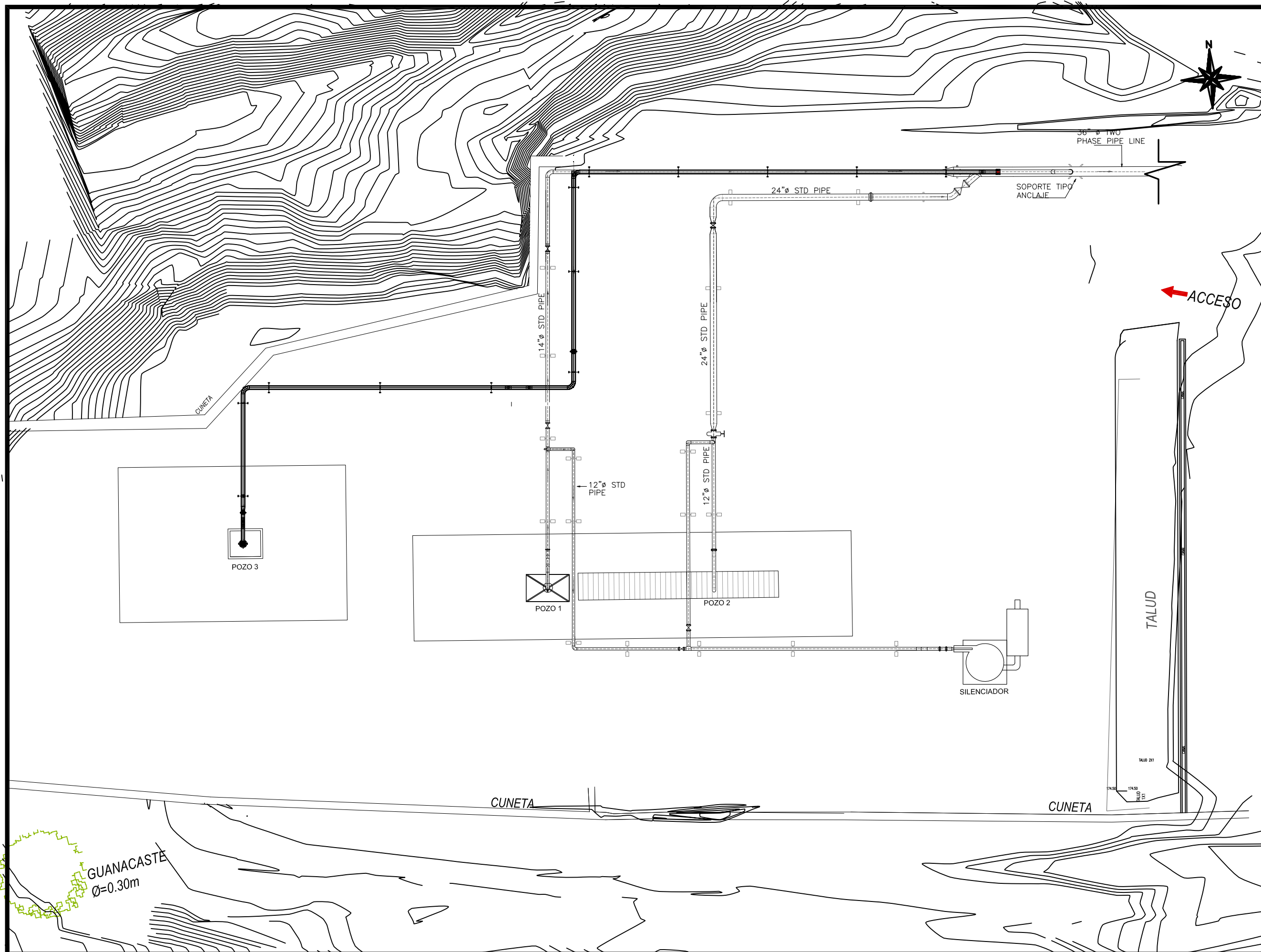
Tabla 8: Vector sismo y casos utilizados en análisis.

Caso	X(g)	Y(g)	Z(g)
E1	0.3	0.0	0.0
E2	0.0	0.0	0.3
E3	-0.3	0.0	0.0
E4	0.0	0.0	-0.3
E5	0.3	0.0	0.0
E6	0.0	0.0	0.3
E7	-0.3	0.0	0.0
E8	0.0	0.0	-0.3

El coeficiente de fricción utilizado es de 0.3.

Análisis realizado al sistema de acarreo:

Según las bases y criterios de diseño del sistema de acarreo el análisis de flexibilidad debe contemplar la combinación de esfuerzos presentados en la tabla 9.



DISEÑO:
 Firma: ARO, RAQUEL GONZALEZ

REVISADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ
 Firma: ING. ALVARO FLAMENCO

APROBADO:
 Firma: ING. JOSÉ LUIS HENRIQUEZ



Este dibujo es propiedad intelectual y no puede ser reproducido en parte o total sin su consentimiento.
 Este dibujo no puede ser escatado.
 Todas las dimensiones deben ser comprobadas en el sitio donde aplique, antes de comenzar el trabajo.
 Cualquier discrepancia en este dibujo debe reportarse a arq. Raquel González.

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

REVISO: FECHA: DESCRIPCION:

NOTA:
 AL IMPORTAR EL LAYOUT DESDE EL PRGGRAMA AUTO PIPE NO DEFINE LOS SOPORTES, ES DECIR SOLO MUESTRA UN TIPO DE SOPORTE, PARA REALIZAR EL PLANO DEFINITIVO HAY QUE TOMAR EN CUENTA EL TIPO DE SOPORTE .

TESIS:
 DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELAJE DE LINEA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

CONTENIDO:
 DISEÑO SEGUN RESULTADOS DE ANALISIS DE ESFUERZOS.

ESCALA: SIN ESCALA	PROYECTO: TESIS
HOJA: 7 DE: 7	NUMERO: 7
OT:	FECHA: NOVIEMBRE 2015

Tabla 9: Esfuerzos según ASME B31.1 que se analizarán para el sistema.

Tipo de Esfuerzo	Combinación cargas	Cargas consideradas
Esfuerzos Sostenido	DW+P	Se considera la Presión de trabajo y el peso de la tubería y accesorios
Esfuerzos sostenidos + cargas ocasionales	DW+P+Cco	Se considera los esfuerzos sostenidos y las cargas ocasionales como terremotos.
Esfuerzos por desplazamiento permisible.	T	Ocasionado por el estrés térmico de la tubería.

8. RESULTADOS.

Mediante el análisis realizado con el programa AutoPipeV8, se obtuvieron los esfuerzos para los distintos tipos de cargas que se requieren analizar según el código ASMEB31.1.

Para Obtener los resultado que se presentan a continuación, se realizaron varias corridas del programa y se analizaron los puntos donde los esfuerzos resultantes eran mayores a 1, se realizaron cambios en las distancias de los soportes, y se cambiaron los tipos de soportes varias veces en dependencia de la carga en la que fallaba el diseño, dándole más flexibilidad a los soportes o haciéndolos más restrictivos cuando se ameritaba.

Tabla 10: Resultado de los esfuerzos máximos del sistema.

Esfuerzo sostenido	
Punto	B17
Esfuerzo (N/mm ²)	16.62
Valor Norma(N/mm ²)	117.9
Relación	0.14
Esfuerzo por desplazamiento	
Punto	B26
Esfuerzo (N/mm ²)	143.27
Valor Norma(N/mm ²)	176.85
Relación	0.81
Esfuerzo por cargas ocasionales	
Punto	B 19
Esfuerzo (N/mm ²)	70.07
Valor Norma(N/mm ²)	141.48
Relación	0.5

Como se puede ver en el plano 6: Resultado de esfuerzos en sistema de acarreo y en la tabla 11, el esfuerzo máximo resultante de las combinaciones realizadas por el programa se presenta en el punto B26, este punto es el punto de unión a la línea principal de 36”.

En la tabla 12, se muestran la relación de esfuerzos máximos resultantes en el punto B26, podemos observar que la relación con el esfuerzo sostenido y cargas ocasionales son menores.

Tabla 10: resultados de análisis de esfuerzos máximos en el sistema.

Esfuerzo sostenido	
Punto	B17
Esfuerzo (N/mm ²)	16.62
Valor Norma(N/mm ²)	117.9
Relación	0.14
Esfuerzo por desplazamiento	
Punto	B26
Esfuerzo (N/mm ²)	143.27
Valor Norma(N/mm ²)	176.85
Relación	0.81
Esfuerzo por cargas ocasionales	
Punto	B 19
Esfuerzo (N/mm ²)	70.07
Valor Norma(N/mm ²)	141.48
Relación	0.5

Tabla 111: Resultados de los esfuerzos máximos en el punto B26.

Esfuerzo sostenido	
Punto	B26
Esfuerzo (N/mm ²)	11.17
Valor Norma(N/mm ²)	117.9
Relación	0.09
Esfuerzo por desplazamiento	
Punto	B26
Esfuerzo (N/mm ²)	143.27
Valor Norma(N/mm ²)	176.85
Relación	0.81
Esfuerzo por cargas ocasionales	
Punto	B 26
Esfuerzo (N/mm ²)	58.2
Valor Norma(N/mm ²)	141.48
Relación	0.41

Relación de Esfuerzos

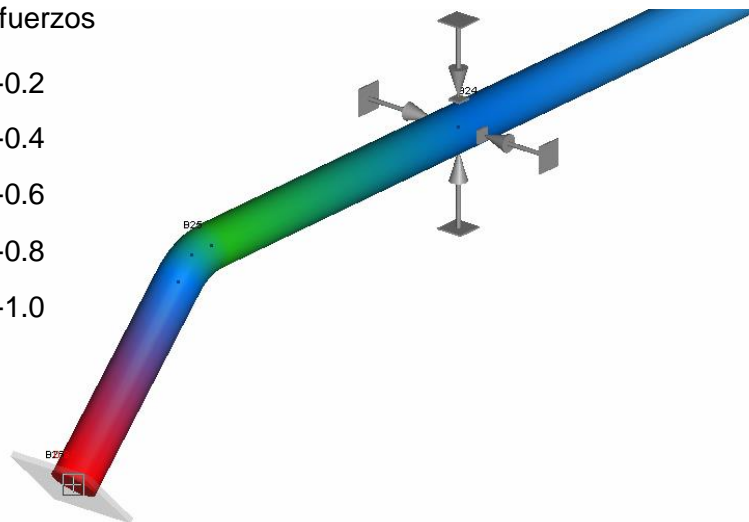


Ilustración 23: Esfuerzo punto B26, relación de esfuerzos =0.81.

Relación de Esfuerzos

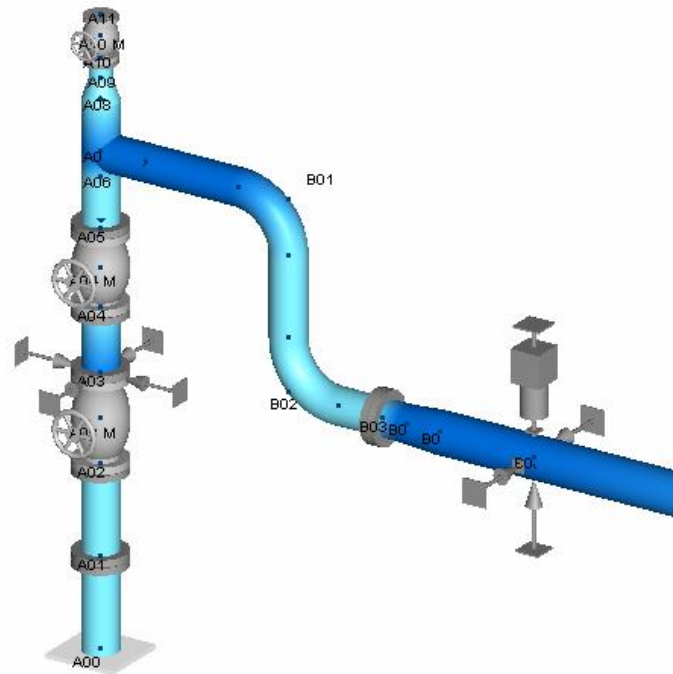
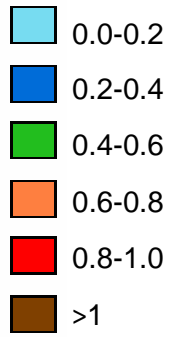


Ilustración 24: Esfuerzos en arreglo de cabezal de pozo.

Relación de Esfuerzos

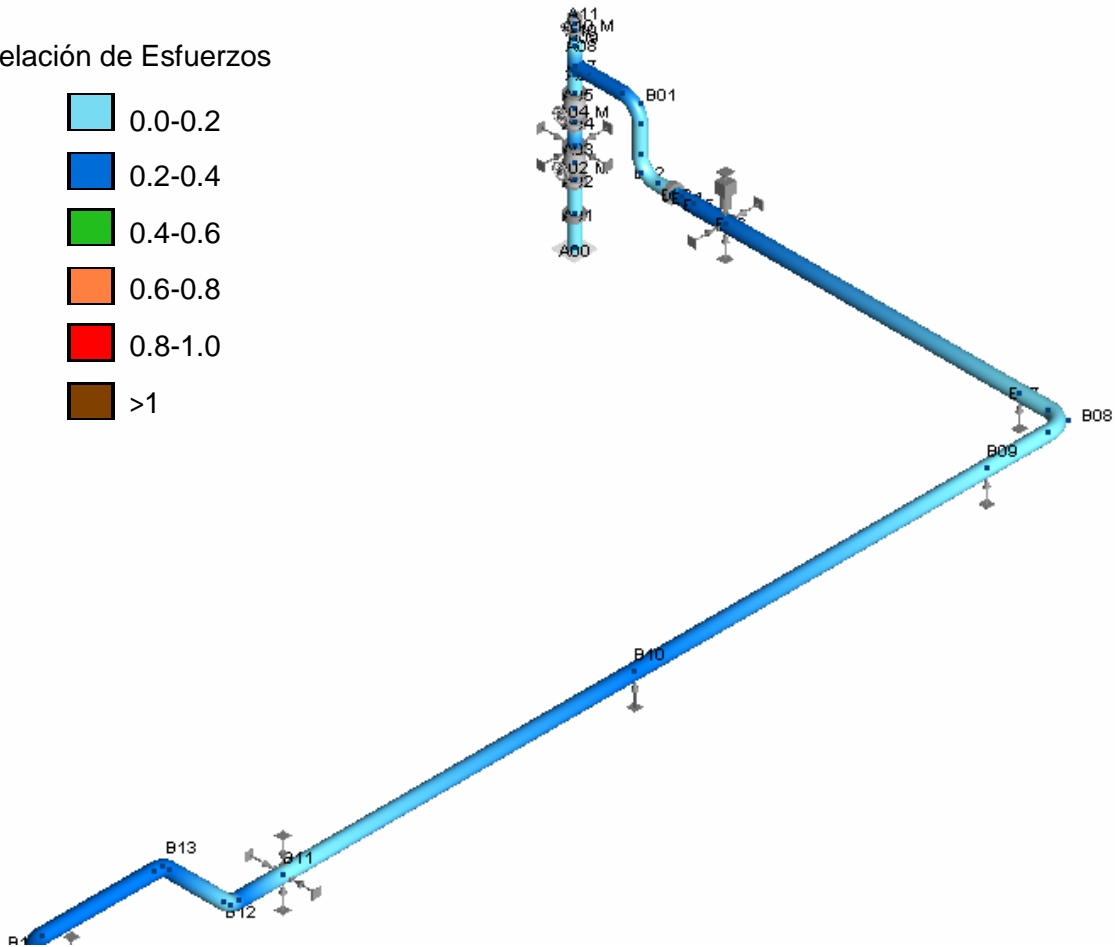


Ilustración 25: Resultado de análisis de esfuerzos en el sistema del punto A.0 al B.13

La relación de análisis de los esfuerzos desde el punto A.0 al punto B.13 da entre los rangos 0.0 a 0.4.

Relación de Esfuerzos

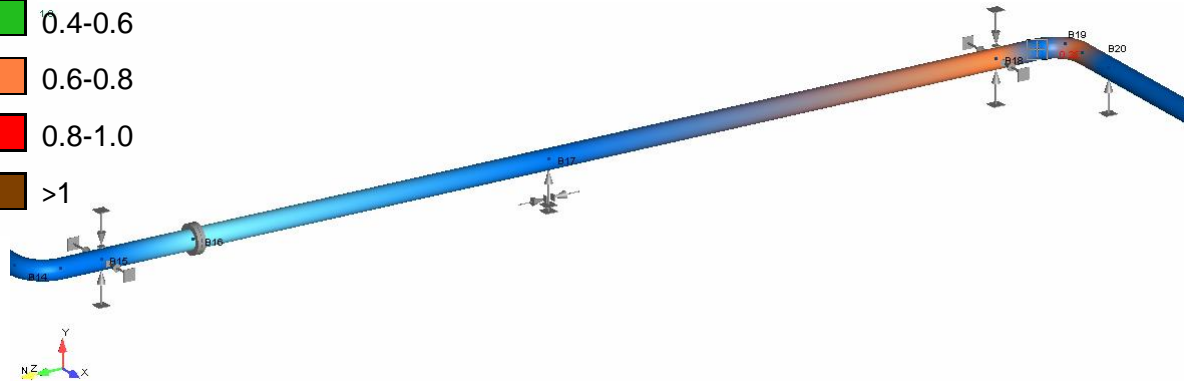


Ilustración 26: Relación de análisis de esfuerzos punto B.13 a punto B.19.

La relación de análisis de los esfuerzos desde el punto B.13 al punto B19 da entre los rangos 0.0 a 0.62.

El mayor valor se observa en el punto B18, y es por el esfuerzo por desplazamiento.

Tabla 12: Relación de esfuerzos en punto B18.

Esfuerzo sostenido	
Punto	B18
Esfuerzo (N/mm ²)	8.74
Valor Norma(N/mm ²)	117.9
Relación	0.07
Esfuerzo por desplazamiento	
Punto	B18
Esfuerzo (N/mm ²)	109.27
Valor Norma(N/mm ²)	176.85
Relación	0.62
Esfuerzo por cargas ocasionales	
Punto	B 18
Esfuerzo (N/mm ²)	26.64
Valor Norma(N/mm ²)	141.48
Relación	0.19

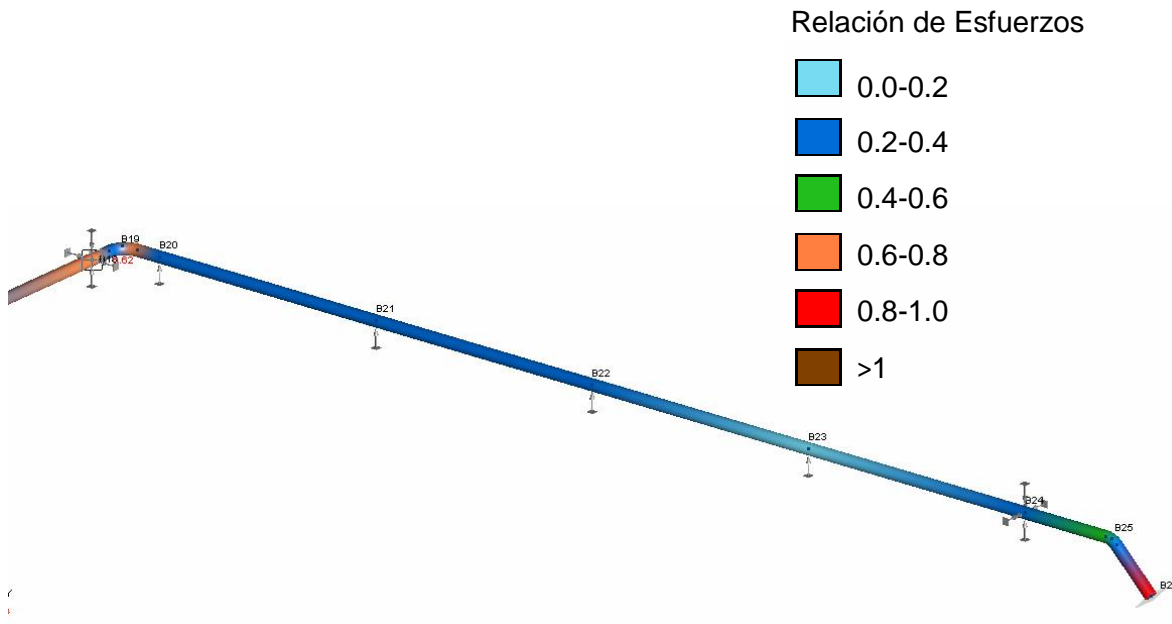


Ilustración 27: Relación de análisis de esfuerzos punto B.19 a B.26.

En el tramo de tubería B.19 a B.26 la relación de análisis de los esfuerzos desde el punto da entre los rangos 0.0 a 0.81. El punto de mayor stress es el punto B26, ver tabla 10, donde se muestran los valores de los resultados.

Como se observa en las ilustraciones de resultado del análisis de flexibilidad todos los puntos del sistema de acarreo dan valores menores a 1, esto quiere decir que el diseño cumple con los requisitos del código en cuanto análisis de esfuerzos.

Una vez que el diseño cumplió con lo especificado por el código ASME B31.1, se importó del programa AutoPipe V8 a AutoCad el diseño mecánico, para realizar los planos definitivos.

El resultado de los esfuerzos calculados por el programa, se entrega al diseñador estructural y civil para el diseño de los patines, soportes, resortes, bases y zapatas del sistema.

Una vez esté listo el diseño estructural civil, los planos mecánicos y de detalles se procede a la elaboración de las especificaciones técnicas para la fabricación y montaje de la tubería.

9. CONCLUSIONES.

- La metodología propuesta y utilizada en el diseño inicia con lo básico; primero definir el proceso y luego realiza el diseño del detalle: materiales, rutas, accesorios, soportes, que son validados o modificados en el análisis estructural.
- Para el diseño de un sistema de acarreo es importante tener en cuenta el entorno donde se proyectará la tubería, la topografía, las especificaciones de los equipos a los que se conectará la tubería y las tuberías (de haberlas) existentes.
- La relación de esfuerzos en el sistema de acarreo diseñado, no supera los valores permisibles establecidos en el código ASME B31.1.
- El análisis de flexibilidad es de gran importancia en el diseño de sistemas de acarreo de fluidos; nos permite analizar el comportamiento del sistema ante los diferentes esfuerzos a los que estará sometido y con esto garantizar diseños eficientes.
- Los esfuerzos sostenidos son provocados por el peso de la tubería, el del fluido y la presión a la que está sometido el sistema de acarreo, de resultar alguna falla en este tipo de esfuerzos al analizar un sistema, se podría solucionar colocando más soportes.
- Los esfuerzos por expansión térmica son provocados por los desplazamientos, contracciones o dilataciones en la tubería debido a los cambios de temperatura, una manera de solucionarlos es proveerle mayor flexibilidad al sistema.
- El abuso en la colocación de soportes además de comprometer el factor económico, puede restarle flexibilidad al sistema, por lo que hay que lograr un equilibrio en la colocación de estos para el alivio de los esfuerzos sostenidos sin afectar la flexibilidad del sistema.
- Los programas de cálculos y simulación de esfuerzo como EES y AutoPipe respectivamente, son de gran utilidad para el diseño de sistemas de acarreo, estos minimizan el tiempo, lo que se traduce en diseños más económicos.
- Para el desarrollo de un diseño de sistemas de acarreo es de vital importancia la comunicación con las áreas involucradas en cualquier parte del diseño, operación y mantenimiento del mismo.

10. RECOMENDACIONES.

- En el diseño propuesto se realizó el análisis en una condición de operación, es necesario el análisis de otras condiciones de operación, ya que hay varios pozos conectados a una línea principal y es preciso conocer el comportamiento del sistema de acarreo.
- El diseño estructural de las bases, soportes y anclajes debe realizarse en estrecha comunicación con el diseñador mecánico.
- El diseño de las tuberías debería de considerar futuros trabajos de mantenimiento o perforaciones nuevas en las plataformas.
- Debe de realizarse el análisis del soporte existente en la línea de 36", con la integración de la nueva línea, esto para verificar que este no falle al introducir el nuevo sistema.
- Se debe de realizar un análisis de las cargas resultantes en los soportes una vez concluido el análisis de esfuerzos, verificando las dimensiones de estos sea razonable y sea viable económicamente.
- Se recomienda el uso de programas de modelaje para sistemas de acarreo, ya que simplifican los cálculos de los esfuerzos y nos brindan un panorama acertado de cómo se comportará la tubería ante los diferentes tipos de cargas.

11. BIBLIOGRAFÍA.

- **The American Society of Mechanical Engineers (ASME). 2007.** *ASME B31.1 Power Piping.* New York: 2007.
- **American Society for Testing and Materials. 2012.** *ASTM A53/A53M - 12 Especificación Normalizada para Tubos de Acero Negro, Inmersos en Caliente, Galvanizados, Soldados y Sin Costura.* s.l.: ASTM Standards, 2012.
- **ASME/ANSI. 2001.** *ASME/ANSI B16.9 Factory-made wrought Steel Buttwelding Fitting.* New York: ASME/ANSI, 2001.
- **Marks., L. S.** *Standard handbook for mechanical engineers.* New York, : McGraw-Hill., 2007.
- **Diego A. Samaro, Mihir Sen.** *Mecánica de Fluidos.* 2009.
- **Hyundai engineering Co.ltd.** *Piping desing handbook.*
- **David R.Sherwood, Dennis J. Whistance.** *the piping guide.* 1973.
- **Roy A. Parisher, Robert A. Rhea.** *Pipe drafting and design –2nd ed.*
- **Kannappan, S. 2008.** *Introduction to pipe stress analysis.* s.l. : ABI Enterprise.Inc., 2008.
- **Gómez-Gordo, Esteban Melchor. 2007.** *Proyecto de fin de carrera: Análisis de Flexibilidad en sistemas de tuberías.* s.l.: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, 2007.
- **Vidaurre, M.Rentería. 2014.** *Diseño de metodología para el analisis de flexibilidad en sistemas de tuberías.* Tesis para optar al título Ing. Mecanico.s.l.:Pontificia Universidad Católica del Perú., Lima 2014.
- **Umanzor C., Hall A., Rosaria N. and Buchanan R.** *“Piping Design Considerations for Geothermal Steamfields”.* World Geothermal Congress, Melbourne, 2015.
- **Matias Alvarado, Miguel A. Rodriguez-Toral. Marz 2007.** *“Decision- making on pipe stress analysis enabled by knowledge-based systems”.* London : springer-Verlag , Marz 2007.
- **José Luis Henríquez, Alvaro Flamenco.”** *Sistema de acarrees, Modulo VII plantas geotermicas”,*Diplomado de especialización en energía geotermica. 2015. San Salvador.
- **López, Carla.** *Flujo de fluidos.Facilidades de superficie.* s.l. : Facultad de ingeniería.Universidad de Zulia.

12. ANEXOS.

Resultado de análisis de esfuerzos en Programa Auto Pipe.

TESIS 2
10/29/2015 TESIS2
12:50 AM
PAGE 163

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.19 RESULT

RESULT SUMMARY

Maximum displacements (mm)

Maximum X : -77.68 Point : B08 F Load Comb.: GP1T1E3{1}
Maximum Y : 60.86 Point : A11 Load Comb.: GP1T1E2{1}
Maximum Z : -134.63 Point : B22 Load Comb.: GP1T1E4{1}
Max. total: 142.35 Point : B21 Load Comb.: GP1T1E4{1}

Maximum rotations (deg)

Maximum X : -0.29 Point : B02 F Load Comb.: GP1T1E6{2}
Maximum Y : 1.09 Point : B19 N Load Comb.: GP1T1E4{1}
Maximum Z : -0.21 Point : B25 F Load Comb.: GP1T1E6{2}
Max. total: 1.09 Point : B19 N Load Comb.: GP1T1E4{1}

Maximum restraint forces (N)

Maximum X : -154764 Point : B18 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Maximum Y : -46398 Point : A00 Load Comb.: GP1T1E8{2}
Maximum Z : 57623 Point : B17 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Max. total: 161663 Point : B18 Load Comb.: GP1T1E6{2}

Maximum restraint moments (N.m)

Maximum X : 15639 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E4{1}
Maximum Y : 20153 Point : B26 Load Comb.: Static Seismic 2{1}

Maximum Z : -185862 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Max. total: 186592 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E6{2}

TESIS 2
10/29/2015 TESIS2
12:50 AM
PAGE 164

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.19 RESULT

RESULT SUMMARY

Maximum pipe forces (N)

Maximum X : 153929 Point : B23 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Maximum Y : 46398 Point : A00 Load Comb.: GP1T1E8{2}
Maximum Z : -59315 Point : B17 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Max. total: 154431 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E6{2}

Maximum pipe moments (N.m)

Maximum X : 30651 Point : A03 Load Comb.: GP1T1E4{1}
Maximum Y : -136767 Point : B18 Load Comb.: GP1T1E7{2}
Maximum Z : -185862 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E6{2}
Max. total: 186592 Point : B26 Load Comb.: GP1T1E6{2}

TESIS 2
10/29/2015 TESIS2
12:50 AM
PAGE 165

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.19 RESULT

RESULT SUMMARY

Maximum sustained stress

Point : B17
Stress N/mm2 : 16.62
Allowable N/mm2 : 117.90
Ratio : 0.14
Load combination : GR + Max P{1}

Maximum displacement stress

Point : B19 F
Stress N/mm2 : 191.59
Allowable N/mm2 : 286.48
Ratio : 0.67
Load combination : Max Range

Maximum occasional stress

Point : B19 N [85%]
Stress N/mm2 : 70.07
Allowable N/mm2 : 141.48
Ratio : 0.50
Load combination : Sus. + E4{1}

TESIS 2
10/29/2015 TESIS2
12:50 AM
PAGE 166

BENTLEY
AutoPIPE Advanced 9.6.0.19 RESULT

RESULT SUMMARY

Maximum sustained stress ratio

Point : B17
Stress N/mm2 : 16.62
Allowable N/mm2 : 117.90
Ratio : 0.14
Load combination : GR + Max P{1}

Maximum displacement stress ratio

Point : B26
Stress N/mm2 : 143.27
Allowable N/mm2 : 176.85
Ratio : 0.81
Load combination : Max Range

Maximum occasional stress ratio

Point : B19 N [85%]
Stress N/mm2 : 70.07
Allowable N/mm2 : 141.48
Ratio : 0.50
Load combination : Sus. + E4{1}

Patrón de cálculo usado en programa EES para cálculo de diámetro de tubería y caídas de presión.

PROGRAMA EES

"Funcion para la caida de Presión"

{Ecuacion de Colebroock}

Function DP (L,D,M,T,Dens,e,Visc)

IF (M>0.0) THEN

x1=1

g= 9.81

Dens := density(steam,x=x1,T=T)

V := M/(Dens*3.141516*(D)^2/4)

Re:= Dens*V*D/Visc

f := 1.325/(ln((e/1000)/(3.7*D)+5.74/RE^0.9))^2

Hf := f*(L/D)*(V^2)/(2*g)

DP := Hf*9.81*Dens/1e5 {Output DP en Bares}

DPbifasico=DP*1.2

ELSE

DP :=0.0

ENDIF

End

Function V (D,M,Dens)

IF (M>0.0) THEN

V := M/(Dens*3.141516*(D)^2/4)

ELSE

V:= 0.0

ENDIF

End

{Parametros generales de tuberia}

Vdiseño=25 "(velocidad de diseño)"

Vdiseño = caudal/(3.141516*(D)^2/4)

caudal=M/Dens

Dpulg=(D*1000)/25.4

Fittings = 0.15

e = 0.1

L=75 "(Longitud)"

{Propiedades del fluido}

P1=6.24 "(Presion de Diseño bar)"

x1=1

x=0.3 "(calidad del flujo) "
de vapor"

"x=0 para tuberías de agua y x=1 para tuberías de vapor"

T=T_sat(Water,P=P1)

Dens = density(steam,x=x,T=T)

Visc = viscosity(steam,x=x1,T=T)

M=39.5 "(flujo masico kg/s)"

{Calculos de caida de presion}

{Linea de Vapor}

M1=M

L1=L*(1+Fittings)

D1= D

DP1=100* DP (L1,D1,M1,T,Dens,e,Visc)

V1 = V (D1,M1,Dens)