

INDICE

Tabla de contenidos	Pagina
PROLOGO	8
JUSTIFICACIÓN	9
1.MARCO TEÓRICO	10
1.1 Conceptos básicos de Mecánica de Fluidos aplicados al diseño de tuberías	10
1.1.1 Definición	10
1.1.2 Concepto de partícula fluida	10
1.1.3 Definición de Fluido	11
1.1.3.1 Fluido newtoniano	12
1.1.3.2 Fluido no-newtoniano	12
1.1.3.2.1 Plásticos	13
1.1.3.2.2 Fluidos que siguen la Ley de la potencia	13
1.1.3.2.3 Fluidos Visco elásticos	13
1.1.3.2.4 Fluidos cuya viscosidad depende del tiempo	13
1.1.4 Número de Reynolds	14
1.1.4.1 Flujo laminar	15
1.1.4.2 Flujo turbulento	16
1.1.4.3 Flujo compresible	17
1.1.4.4 Flujo incompresible	19
1.1.5 Diagrama de Moody	21
1.1.5.1 Expresión matemática	21
1.1.6 Flujo en tubería	23
1.1.6.1 La ecuación de continuidad	23
1.1.6.2 El Principio de Bernoulli	24
1.1.6.3 Pérdidas continuas	25
1.1.6.4 Pérdidas localizadas	25
1.2 Conceptos básicos de Termodinámica aplicada al diseño de tuberías	26
1.2.1 Definición de Termodinámica	26
1.2.2 Leyes de la termodinámica	26
1.2.2.1 Primera ley de la termodinámica	26
1.2.2.2 Segunda ley de la termodinámica	27
1.2.2.3 Tercera ley de la termodinámica	28
1.2.2.4 Ley cero de la termodinámica	28
1.2.3 Termometría	29
1.2.3.1 Propiedades termométricas	29
1.2.3.2 Escalas de temperatura	30
1.2.4 Sistema y ambiente	30
1.2.5 Variables termodinámicas	31
1.2.6 Equilibrio térmico	31

1.2.7	Procesos termodinámicos	32
1.2.8	Rendimiento termodinámico o eficiencia	32
1.2.9	Dilatación térmica	33
1.3	Conceptos básicos de Ciencia de Materiales aplicada al diseño de tuberías	35
1.3.1	Definición Ciencia de materiales	35
1.3.2	Clasificación de los materiales	36
1.3.3	Diagrama de fase	37
1.3.4	Propiedades mecánicas	38
1.3.5	Tratamiento térmico	41
1.3.6	Aleación	43
1.3.6.1	Obtención	43
1.3.6.2	Clasificación	44
1.3.6.3	Propiedades	45
1.3.6.4	Aleaciones más comunes	46
1.3.7	Acero	46
1.3.7.1	Características mecánicas y tecnológicas del acero	47
1.3.7.2	Formación del acero.	49
1.3.7.3	Microconstituyente	50
1.3.7.4	Elementos aleantes del acero y mejoras obtenidas con la aleación	51
1.3.7.5	Impurezas en el acero	54
1.3.8	Desgaste	55
1.3.9	Normalización de las diferentes clases de acero	56
1.3.10	Tratamientos del acero	56
1.4	Conceptos básicos de Resistencia de Materiales, aplicados al diseño de Tuberías.	57
1.4.1	Definición de Resistencia de Materiales	57
1.4.2	Esfuerzo interno	58
1.4.3	Torsión mecánica	59
2	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE TUBERÍAS	
2.1	Conceptos y principios básicos para el diseño de tuberías	60
2.1.1	Normatividad	60
2.1.2	Materiales utilizados en tuberías	61
2.1.3	Introducción a las tuberías	62
2.1.4	Introducción a las bridas	64
2.1.4.1	Material de las bridas	66
2.1.4.2	Tipos de Bridas	66
2.1.4.3	Tipos de caras de las Bridas	69
2.1.5	Válvulas	71
2.1.5.1	Válvulas de Bola	74
2.1.5.2	Válvula de doble vía	74
2.1.5.3	Válvulas de Seguridad	75
2.1.5.4	Válvula de Globo	77
2.1.5.5	Válvula de Compuerta	77

2.1.5.6 Válvula de mariposa	79
2.1.5.7 Válvula de plug (macho)	79
2.1.5.8 Válvula de retención (check)	79
2.1.6 Conexiones para tuberías	81
2.1.6.1 Conexiones para tubería de diámetros mayores	81
2.1.6.2 Conexiones para tubería de diámetros menores	84
2.2 Introducción al diseño de tuberías	88
2.2.1 Definición y alcance de un proyecto	88
2.2.1.1 Etapas de un proyecto	88
2.2.1.2 Anteproyecto	88
2.2.1.3 Ejecución	90
2.2.2 Estructura funcional	91
2.2.2.1 Principales Áreas de Responsabilidad	92
2.2.2.1.1 Diseño de tuberías	92
2.2.2.1.2 Análisis de Esfuerzos	93
2.2.2.1.3 Ingeniería de Materiales	93
2.2.2.1.4 Control de Materiales	93
2.2.3 Consideraciones generales y criterios de diseño	94
2.2.3.1 Consideraciones básicas	94
2.2.3.2 Criterios de diseño básicos	95
2.2.3.3 Procedimiento de diseño de tuberías	100
2.2.4 Normas de diseño	101
2.2.5 Cargas de diseño para tuberías	102
2.2.6 Efectos de la expansión y/o contracción térmica	102
2.2.7 Esfuerzos Admisibles en Función de las Cargas	103
2.2.8 Presión de diseño	104
2.2.9 Temperatura de diseño	104
2.2.10 Espesor de pared (cedula)	105
3. FLEXIBILIDAD EN SISTEMAS DE TUBERÍAS	106
3.1 Consideraciones generales	106
3.1.1 Esfuerzos por Presión (Hoop)	106
3.1.2 Esfuerzos por cargas sostenidas (Gravedad)	107
3.2 Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías	112
3.2.1 Requerimientos de Flexibilidad en un Sistema de Tuberías	113
3.3 Fundamentos relacionados con el análisis de flexibilidad	114
3.3.1 Tubería Curva	114
3.4 Consideraciones en el diseño del sistema por flexibilidad	115
3.4.1 Numero de ciclos a ser considerados	116
3.4.2 Proceso General de Evaluación del Problema de Flexibilidad en las Tuberías	116
3.4.3 Análisis de Flexibilidad por Computadora	117
3.5 Consideraciones de arreglo para facilitar el apoyo y la sujeción	118
3.6 Diseño de soportes para tuberías	119
3.6.1 Recopilación de Información Básica	119
3.6.2 Guías generales sobre ubicación de soportes	120

3.6.3	Espaciamientos de soportes	120
3.6.4	Cálculos de movimientos térmicos en la tubería	121
3.6.5	Cálculos de cargas en los soportes	122
3.7	Selección de soportes	123
3.7.1	Soportes flexibles	123
3.7.1.1	Soportes flexibles de carga constante	123
3.7.1.2	Soportes flexibles de carga variable	123
3.7.2	Soportes rígidos	124
3.7.3	Colgantes	124
3.7.4	Restricciones	125
4.	PROYECCIÓN DEL ARREGLO DE TUBERÍAS	126
4.1	Tipos de dibujo	127
4.1.1	Terminología de dibujo	129
4.1.2	Tipos de línea para proyectar	134
4.2	Simbología usada en la proyección de tuberías	136
4.2.1	Símbolos Generales	137
4.2.2	Simbología de conexiones en proyección unifilar	138
4.2.3	Simbología para conexiones en proyección a doble línea	142
4.2.4	Válvulas	143
4.2.5	Cambios de dirección	147
4.2.6	Soportes	147
4.2.7	Conexiones en Isométrico	148
4.3	Abreviaturas usadas en la proyección del diseño de tuberías	150
4.4	Consideraciones sobre el arreglo general de tuberías	153
4.5.	Ejemplo de aplicación	155
4.5.1	Análisis básico y bocetos (sketches) preliminares	157
4.5.2	El Boceto para análisis de flexibilidad (Stress Sketch)	162
4.5.3	Edición del isométrico de tuberías	164
4.5.3.1	Numero de hojas	164
4.5.3.2	Isométricos aprobados a construcción	164
4.5.4	Maqueta electrónica	169
	CONCLUSIONES	173
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174

PROLOGO

Debido a la creciente demanda de recursos humanos en el área de ingeniería para construcción de plantas industriales, nuestro país se ve en la necesidad de importar tecnologías y mano de obra extranjera para desarrollar sus proyectos industriales.

Una de las prioridades que debe tener un país es el desarrollo de su propia tecnología, esta sentencia demuestra que, para los inicios de este nuevo siglo, México se ha encontrado con un grave problema que parece estar frenando la evolución de nuestro país: generar tecnología de vanguardia; Tecnología que pueda competir con los más grandes retos de ingeniería en el mundo y que pueda contribuir a la estabilidad política, social y económica que México requiere. Esta debería ser una de las premisas para la generación actual.

La llamada “Modernización de México” dio paso a la decadencia industrial del país. Actualmente PEMEX y CFE son las únicas empresas paraestatales con capacidad de desarrollar proyectos industriales de gran magnitud y de tener la opción de desarrollar, de manera limitada, su propia tecnología.

A partir del año 2000 el crecimiento industrial en nuestro país ha comenzado a evolucionar, ahora nos encontramos en la necesidad de generar tecnología propia, y una de las mejores formas de comenzar a fomentar esto es llevando a cabo proyectos de ingeniería y construcción.

Con base en lo antes mencionado he decidido realizar mi tesis como un pequeño compendio de principios y conceptos básicos para la metodología utilizada en el DISEÑO DE TUBERÍAS Y ARREGLO DE PLANTAS INDUSTRIALES, y hago énfasis en ello: PRINCIPIOS Y CONCEPTOS BÁSICOS, el diseño de plantas industriales requiere años de estudio y práctica, además, es conveniente especializarse dentro de una de las divisiones del área ya mencionada, debido al vasto campo de aplicación que se tiene.

El propósito de este trabajo es que sirva a las generaciones futuras como base para desarrollarse dentro de la ingeniería para diseño tuberías, una pequeña parte del gran universo que abarcan los proyectos industriales.

Sin más preludeos los invito a conocer mi trabajo y a que lo difundan para que no sea en vano el esfuerzo de un solo mexicano preocupado por el futuro de su patria, espero que les sea de utilidad.

JUSTIFICACIÓN

La ingeniería para el diseño de conductos industriales, desarrollada principalmente como una rama de la construcción en nuestro país, ahora llamada ingeniería de tuberías, la cual será descrita durante el desarrollo de este trabajo

Esta disciplina de ingeniería no se ha tomado en cuenta como una carrera en el ámbito profesional, sino que es un “Oficio para Profesionistas”.

En México no existe escuela alguna que haya desarrollado un programa de estudios dirigido a la preparación del personal calificado para ejercer este tipo de trabajo de ingeniería, toda la documentación existente se encuentra en idioma inglés, alemán, japonés, italiano o francés. Las normas aplicables al diseño y arreglo de plantas industriales mexicanas son obsoletas, y por lo tanto, no son competentes en un mercado global como el que se ha generado a partir de la década de los 80’s.

En el campo laboral, la capacitación que se imparte para el desarrollo de esta disciplina, se logra instruyendo a Ingenieros Mecánicos o Ingenieros Químicos en el conocimiento y aplicación de las normas y códigos internacionales tales como ASME/ANSI, API, DIN, JAP, entre otras.

Debido a su estrecha relación con la mecánica de fluidos, termodinámica, resistencia de materiales, ciencias de materiales, fenómenos de transporte y algunos otros campos de estudio, el perfil de Ingeniero Mecánico es el preferido para realizar este tipo de trabajos.

Al realizar una pequeña investigación sobre la documentación existente he encontrado que la documentación e información en español, necesaria para el desarrollo de esta “oficio – profesión”, es muy escasa, difícil de encontrar y difícil de comprender, esto debido a que en su mayoría se refiere a normas alemanas o americanas que, obviamente, no están traducidas por completo al español. Basándome en esto, he justificado el desarrollo de esta tesis.

Como ya fue mencionado, el objetivo principal de este documento es generar las bases en idioma español para el desarrollo de esta profesión, concentrando la información básica necesaria para el “Diseño Básico de Arreglos de Tuberías en Plantas Industriales” bajo las normas internacionales ASME/ANSI.

Persiguiendo fundamentar las bases para esta profesión en nuestro país, doy paso al desarrollo de esta tesis.

1.MARCO TEÓRICO

1.1 Conceptos básicos de Mecánica de Fluidos aplicados al diseño de tuberías

1.1.1 Definición

La mecánica de fluidos es la rama de la mecánica de medios continuos (que a su vez es una rama de la física) que estudia el movimiento de los fluidos (gases y líquidos) así como las fuerzas que los provocan. La característica fundamental que define a los fluidos es su incapacidad para resistir esfuerzos cortantes (lo que provoca que carezcan de forma definida). También estudia las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita. La hipótesis fundamental en la que se basa toda la mecánica de fluidos es la hipótesis del medio continuo.

Como en todas las ramas de la física, en la mecánica de fluidos se basa en hipótesis, a partir de las cuales se desarrollan todos los conceptos. En particular, en la mecánica de fluidos se asume que los fluidos cumplen con las siguientes leyes: la ley de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, y la primera y segunda ley de la termodinámica. Pero probablemente la hipótesis más importante de la mecánica de fluidos es la hipótesis del medio continuo.

La hipótesis del medio continuo es la hipótesis fundamental de la mecánica de fluidos y en general de toda la mecánica de medios continuos. En esta hipótesis se considera que el fluido es continuo a lo largo del espacio que ocupa, ignorando por tanto su estructura molecular y las discontinuidades asociadas a esta. Con esta hipótesis se puede considerar que las propiedades del fluido (densidad, temperatura, etc.) son funciones continuas.

1.1.2 Concepto de partícula fluida

Este concepto está muy ligado al del medio continuo y es sumamente importante en la mecánica de fluidos. Se llama partícula fluida a la masa elemental de fluido que en un instante determinado se encuentra en un punto del espacio. Dicha masa elemental ha de ser lo suficientemente grande como para contener un gran número de moléculas, y lo suficientemente pequeña como para poder considerar que en su interior no hay variaciones de las propiedades macroscópicas del fluido, de modo que en cada partícula fluida podamos asignar un valor a estas propiedades. Es importante tener en cuenta que la partícula fluida se mueve con la velocidad macroscópica del fluido, de modo que está siempre formada por las mismas moléculas. Así pues, un determinado punto del espacio en distintos instantes de tiempo estará ocupado por distintas partículas fluidas.

1.1.3 Definición de Fluido

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.

Características:

- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad.
- Dependiendo de su viscosidad fluyen a mayor o menor velocidad. Mientras más viscoso fluye con menor velocidad, mientras menos viscoso fluye con mayor velocidad.
- Su viscosidad es independiente de la densidad.

Clasificación:

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características que presentan en:

- Newtonianos
- No newtonianos

O también en:

- Líquidos
- Gases

El movimiento de los gases y los líquidos puede estudiarse en forma aproximada mediante las ecuaciones de la dinámica de fluidos bajo la hipótesis del medio continuo. Sin embargo, para que dicha hipótesis sea válida el recorrido libre promedio de las moléculas que constituyen dichos materiales debe ser mucho menor que una longitud característica del sistema físico en el que se encuentra el gas o el líquido en cuestión. De esta forma, las variables de estado del material, tales como la presión, la densidad y la velocidad podrán ser consideradas como funciones continuas del espacio y del tiempo, conduciendo naturalmente a la descripción del material como un medio continuo.

Al dividir la longitud del recorrido libre promedio de las moléculas por la longitud característica del sistema, se obtiene un número adimensional denominado número de Knudsen. Calculando el número de Knudsen es fácil saber cuándo puede describirse el comportamiento de líquidos y gases mediante las ecuaciones de la dinámica de los fluidos.

1.1.3.1 Fluido newtoniano

Un fluido newtoniano es un fluido con viscosidad en que las tensiones tangenciales de rozamiento son directamente proporcionales a la divergencia de la velocidad.

Un buen número de fluidos comunes se comportan como fluidos newtonianos bajo condiciones normales de presión y temperatura: el aire, el agua, la gasolina y algunos aceites minerales.

1.1.3.2 Fluido no-newtoniano

Un fluido no newtoniano es aquél cuya viscosidad varía con la tensión cortante que se le aplica. Como resultado, un fluido no-newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.

Aunque el concepto de viscosidad se usa habitualmente para caracterizar un material, puede resultar inadecuado para describir el comportamiento mecánico de algunas sustancias, en concreto, los fluidos no newtonianos. Estos fluidos se pueden caracterizar mejor mediante otras propiedades reológicas, propiedades que tienen que ver con la relación entre el esfuerzo y los tensores de tensiones bajo diferentes condiciones de flujo, tales como condiciones de esfuerzo cortante oscilatorio.

Un ejemplo barato y no tóxico de fluido no newtoniano puede hacerse fácilmente añadiendo almidón de maíz en una taza de agua. Se añade el almidón en pequeñas proporciones y se revuelve lentamente. Cuando la suspensión se acerca a la concentración crítica es cuando las propiedades de este fluido no newtoniano se hacen evidentes.

La aplicación de una fuerza con la cucharilla hace que el fluido se comporte de forma más parecida a un sólido que a un líquido. Si se deja en reposo recupera su comportamiento como líquido.

Dentro de los principales tipos de fluidos no newtonianos se incluyen los siguientes:

1.1.3.2.1 Plásticos

- Plástico perfecto.- La aplicación de una deformación no conlleva un esfuerzo de resistencia en sentido contrario: Metales dúctiles una vez superado el límite elástico
- Plástico de Bingham.- Relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de deformación una vez se ha superado un determinado valor del esfuerzo cortante.

- Limite seudo plástico.- Fluidos que se comportan como seudo plásticos a partir de un determinado valor del esfuerzo cortante.
- Limite dilatante.- Fluidos que se comportan como dilatantes a partir de un determinado valor del esfuerzo cortante. Barro, algunos coloides.

1.2.3.2 Fluidos que siguen la Ley de la Potencia

- Seudo plástico.- La viscosidad aparente se reduce con el gradiente del esfuerzo cortante: Algunos coloides, arcilla, leche, gelatina, sangre.
- Dilatante.- La viscosidad aparente se incrementa con el gradiente del esfuerzo cortante: Soluciones concentradas de azúcar en agua, suspensiones de almidón de maíz o de arroz.

1.2.3.2.3 Fluidos Visco elásticos

- Material de Maxwell.- Combinación lineal "serie" de efectos elásticos y viscosos: Metales, Materiales compuestos.
- Fluido Oldroyd-B.- Combinación lineal de comportamiento como fluido Newtoniano y como material de Maxwell: Betún, Masa
- Material de Kelvin.- Combinación lineal "paralela" de efectos elásticos y viscosos: panadera, nailon,
- Plástico.- Estos materiales siempre vuelven a un estado de reposo predefinido: Plastilina

1.2.3.2.4 Fluidos cuya viscosidad depende del tiempo

- Reopéctico.- La viscosidad aparente se incrementa con la duración del esfuerzo aplicado: Algunos lubricantes
- Tizotrópico.- La viscosidad aparente decrece con la duración de esfuerzo aplicado: Algunas variedades de mieles, ketchup, algunas pinturas antigoteo.

1.1.4 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

Como todo número adimensional, el número de Reynolds es un cociente, una comparación. Para este caso es la relación entre los términos convectivos y los términos viscosos de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos.

Por ejemplo un flujo con un número de Reynolds alrededor de 100.000 (típico en el movimiento de una aeronave pequeña, salvo en zonas próximas a la capa límite) expresa que las fuerzas viscosas son 100.000 veces menores que las fuerzas convectivas, y por lo tanto aquellas pueden ser ignoradas. Un ejemplo del caso contrario sería un cojinete axial lubricado con un fluido y sometido a una cierta carga. En este caso el número de Reynolds es mucho menor que 1 indicando que ahora las fuerzas dominantes son las viscosas y por lo tanto las convectivas pueden despreciarse.

Además el número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. Así por ejemplo en conductos si el número de Reynolds es menor de 2200 el flujo será laminar y si es mayor de 2200 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Suponiendo que se vertiera colorante en un fluido en movimiento, obtendríamos estos resultados:

- Para valores $Re \leq 2000$ el flujo se mantiene estacionario y el colorante se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan solo basándose en esfuerzos tangenciales, por eso a este flujo se le llama flujo laminar.
- Para valores de $2000 \leq Re \leq 4000$ la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de $Re \geq 4000$ después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

Este número recibe su nombre en honor de Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo describió en 1883. Viene dado por siguiente fórmula:

$$\text{Re} = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad \text{o} \quad \text{Re} = \frac{v_s D}{\mu}$$

Donde:

ρ : densidad del fluido

v_s : velocidad característica del fluido

D : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

μ : viscosidad dinámica del fluido

ν : viscosidad cinemática del fluido $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

1.1.4.1 Flujo laminar

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse si la corriente tiene lugar entre dos planos paralelos, o en capas cilíndricas coaxiales como, por ejemplo la glicerina en un tubo de sección circular. Las capas no se mezclan entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular.

La pérdida de energía es proporcional a la velocidad media. El perfil de velocidades tiene forma de una parábola, donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y la velocidad es igual a cero en la pared del tubo.

Se da en fluidos con velocidades bajas o viscosidades altas, cuando se cumple que el número de Reynolds es inferior a 2200.

Se caracteriza porque el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de laminas o capas más o menos paralelas entre sí, las cuales se deslizan suavemente unas sobre otras, sin que exista mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas (ver Fig. 3.1).

Ley de Newton de la viscosidad: esta ley establece la relación existente entre el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación angular. La acción de la viscosidad puede amortiguar cualquier tendencia turbulenta que pueda ocurrir en el flujo laminar. En situaciones que involucren combinaciones de baja viscosidad, alta velocidad o grandes caudales, el flujo laminar no es estable, lo que hace que se transforme en flujo turbulento (ver Fig. 3.2).

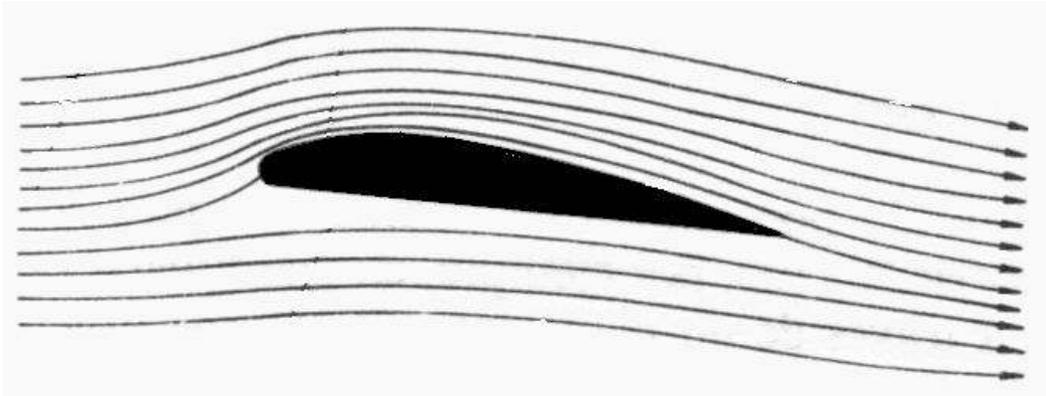


Fig. 3.1 Flujo laminar de un fluido perfecto en torno al perfil de un objeto.

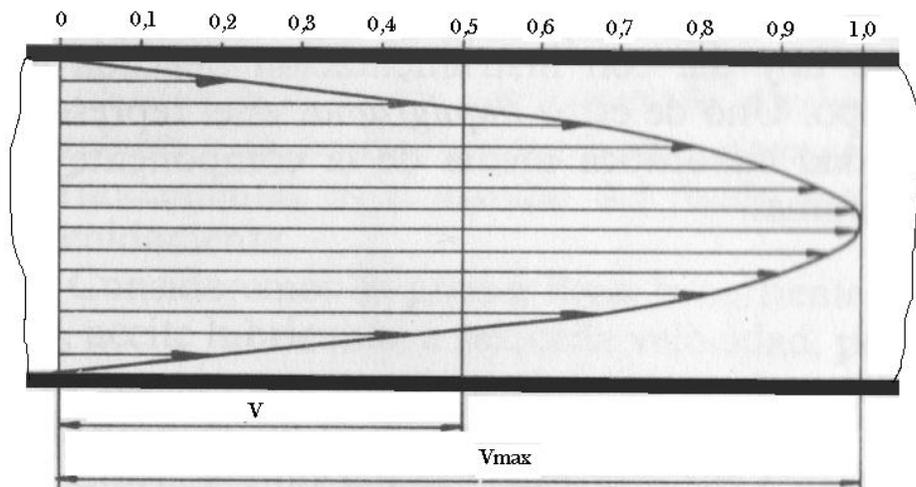


Fig. 3.2 Distribución de velocidades en un tubo con flujo laminar.

1.1.4.2 Flujo turbulento

En mecánica de fluidos, se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica. Las primeras explicaciones científicas de la formación del flujo de turbulento proceden de Andréi Kolmogórov y Lev D. Landau (teoría de Hopf-Landau). Aunque la teoría modernamente aceptada de la turbulencia fue propuesta en 1974 por David Ruelle y Floris Takens.

1.1.4.3 Flujo compresible

Todos los fluidos son compresibles, incluyendo los líquidos. Cuando estos cambios de volumen son demasiado grandes se opta por considerar el flujo como compresible (que muestran una variación significativa de la densidad como resultado de fluir), esto sucede cuando la velocidad del flujo es cercana a la velocidad del sonido. Estos cambios suelen suceder principalmente en los gases ya que para alcanzar estas velocidades de flujo en líquidos se precisa de presiones del orden de 1000 atmósferas, en cambio un gas sólo precisa una relación de presiones de 2:1 para alcanzar velocidades sónicas.

La compresibilidad de un flujo es básicamente una medida en el cambio de la densidad. Los gases son en general muy compresibles, en cambio, la mayoría de los líquidos tienen una compresibilidad muy baja. Por ejemplo, una presión de 500 kPa provoca un cambio de densidad en el agua a temperatura ambiente de solamente 0.024%, en cambio esta misma presión aplicada al aire provoca un cambio de densidad de 250%. Por esto normalmente al estudio de los flujos compresibles se le conoce como dinámica de gases, siendo esta una nueva rama de la mecánica de fluidos, la cual describe estos flujos.

En un flujo usualmente hay cambios en la presión, asociados con cambios en la velocidad. En general, estos cambios de presión inducirán a cambios de densidad, los cuales influyen en el flujo, si estos cambios son importantes los cambios de temperatura presentados son apreciables. Aunque los cambios de densidad en un flujo pueden ser muy importantes hay una gran cantidad de situaciones de importancia práctica en los que estos cambios son despreciables.

El flujo de un fluido compresible se rige por la primera ley de la termodinámica en los balances de energía y con la segunda ley de la termodinámica, que relaciona la transferencia de calor y la irreversibilidad con la entropía. El flujo es afectado por efectos cinéticos y dinámicos, descritos por las leyes de Newton, en un marco de referencia inercial –aquel donde las leyes de Newton son aplicables-. Además, el flujo cumple con los requerimientos de conservación de masa. Es sabido que muchas propiedades, tales como la velocidad del fluido en un tubo, no son uniformes a lo largo de la corriente.

Los flujos compresibles pueden ser clasificados de varias maneras, la más común usa el número de Mach (Ma) como parámetro para clasificarlo.

$$Ma = \frac{V}{a}$$

Donde:

V = velocidad del flujo y a = velocidad del sonido en el fluido.

- Prácticamente incompresible: $Ma < 0.3$ en cualquier parte del flujo. Las variaciones de densidad debidas al cambio de presión pueden ser despreciadas. El gas es compresible pero la densidad puede ser considerada constante.
- Flujo subsónico: $Ma > 0.3$ en alguna parte del flujo pero no excede 1 en ninguna parte. No hay ondas de choque en el flujo (ver Fig. 3.3).
- Flujo transónico: $0.8 \leq Ma \leq 1.2$. Hay ondas de choque que conducen a un rápido incremento de la fricción y éstas separan regiones subsónicas de hipersónicas dentro del flujo. Debido a que normalmente no se pueden distinguir las partes viscosas y no viscosas, este flujo es difícil de analizar.
- Flujo supersónico: $1.2 < Ma \leq 3$. Normalmente hay ondas de choque pero ya no hay regiones subsónicas. El análisis de este flujo es menos complicado.
- Flujo hipersónico: $Ma > 3$. Los flujos a velocidades muy grandes causan un calentamiento considerablemente grande en las capas cercanas a la frontera del flujo, causando disociación de moléculas y otros efectos químicos.

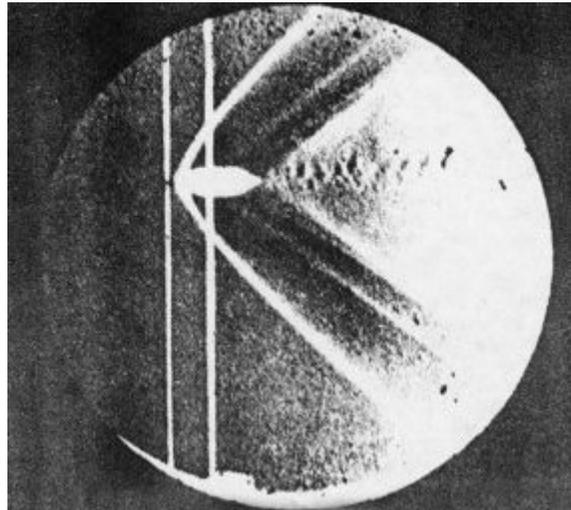


Fig. 3.3 Ondas de choque.

1.1.4.4 Flujo incompresible

Un flujo se clasifica en compresible e incompresible, dependiendo del nivel de variación de la densidad del fluido durante ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo.

Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo o el fluido es incompresible. En esencia, las densidades de los líquidos son constantes y así el flujo de ellos es típicamente incompresible. Por lo tanto, se suele decir que los líquidos son sustancias incompresibles.

Los flujos de líquidos son incompresibles hasta un nivel alto de exactitud, pero el nivel de variación de la densidad en los flujos de gases y el nivel consecuente de aproximación que se hace cuando se modelan estos flujos como incompresibles depende del número de Mach. Con frecuencia, los flujos de gases se pueden aproximar como incompresibles si los cambios en la densidad se encuentran por debajo de alrededor de 100 m/s. Así el flujo de un gas no es necesariamente compresible.

Una de las ecuaciones más utilizadas en mecánica de fluidos es la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = cte$$

Se demostrara que en el límite de números de Mach muy pequeños, la ecuación isoenergética e isoentrópica para la presión se vuelve idéntica a la ecuación Bernoulli. Creando un criterio para decidir si el flujo de un gas se puede tratar como incompresible. Considerando un flujo estacionario sin esfuerzo cortante, trabajo en el eje o transferencia de calor. A estas condiciones, la presión de estancamiento es constante. Se supondrá que los cambios en elevación son despreciables. Si el fluido es incompresible, la presión en cualquier lugar se puede calcular a partir de la ecuación de Bernoulli en la forma de presión (Flujo incompresible):

$$P = P_0 - \frac{\rho V^2}{2}$$

Si el fluido es compresible y un gas ideal, las presiones estática y de estancamiento, están relacionadas por medio de (Flujo compresible):

$$P = P_0 - \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Si la consideración se restringe a números de Mach menores que 1, se puede expandir el término del número de Mach es una serie infinita empleando el teorema binomial de Newton:

$$P = P_0 - \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \approx P_0 \left(1 + \frac{k}{2} M^2 + \frac{k}{8} M^4 + O(M^6)\right)$$

De la ecuación:

$$M = \frac{V^2}{kP}$$

Se tiene:

$$P_0 \approx P \left(1 - \frac{V^2}{2} \left(1 + \frac{M^2}{4}\right)\right)$$

Si el número de Mach es pequeño, entonces $M^2/4$ es pequeño comparado con 1 y se puede escribir que:

$$P_0 \approx P \left(1 - \frac{V^2}{2}\right)$$

En consecuencia, la ecuación Bernoulli es una aproximación a la relación de presión del flujo isoenergético e isentrópico para números de Mach pequeños. Lo preciso de esta aproximación depende de lo pequeño del número de Mach. La ecuación muestra que a bajos números de Mach el error es proporcional a $M^2/2$. Si se deseara limitar el error al emplear la ecuación Bernoulli para el cálculo de la presión a no más del 2 por ciento, entonces:

$$M < \sqrt{4 \cdot 0.02} \approx 0.283$$

No hay nada especial en el error del 2 por ciento. Para estimaciones gruesas, un error del 5 por ciento podría ser aceptable, en cuyo caso el número de Mach debe ser menor que 0.45. El criterio más ampliamente utilizado para el límite entre el flujo compresible y el incompresible coloca el umbral del número de Mach en 0.3: En general se puede suponer que un flujo con $M < 0.3$ sea incompresible.

1.1.5 Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.

En la ecuación de Darcy-Weisbach aparece el término λ que representa el factor de fricción de Darcy, conocido también como coeficiente de fricción.

El cálculo de este coeficiente no es inmediato y no existe una única fórmula para calcularlo en todas las situaciones posibles.

Se pueden distinguir dos situaciones diferentes, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento.

En el caso de flujo laminar se usa una de las expresiones de la ecuación de Poiseuille; en el caso de flujo turbulento se usa la ecuación de Colebrook-White.

En el caso de flujo laminar el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds.

Para flujo turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería, por eso en este caso se representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro k/D , donde k es el valor de la rugosidad absoluta, es decir la longitud (habitualmente en milímetros) de la rugosidad directamente medible en la tubería.

1.1.5.1 Expresión matemática

Ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

k/D = rugosidad relativa

Re = Número de Reynolds

λ = factor de fricción

D = diámetro interno de la tubería

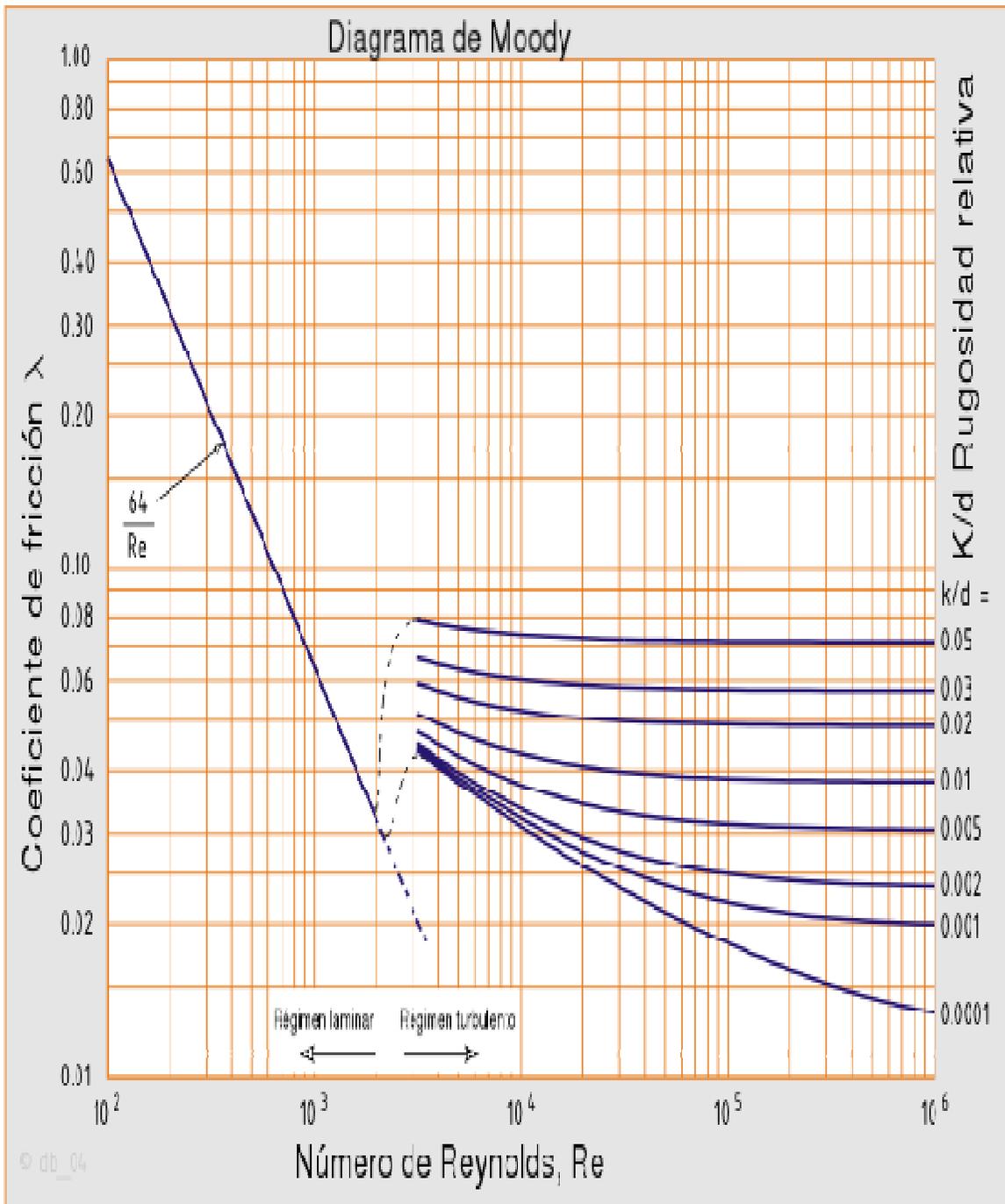


Fig. 3.4 Aspecto del diagrama de Moody.

1.1.6 Flujo en tubería

Cuando estudiamos dinámica de fluidos, estudiamos el comportamiento de los flujos de fluido, es decir el movimiento de estos.

Algunas características generales del flujo de fluidos

- 1) Puede ser *estacionario o no estacionario*
- 2) Puede ser *compresible o incompresible*
- 3) Puede ser *viscoso o no viscoso*
- 4) El flujo puede ser rotacional o irrotacional

1.1.6.1 La ecuación de continuidad

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones (sean éstas S_1 y S_2) de un conducto (tubería) o tubo de corriente establece que: la masa que entra es igual a la masa que sale. La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot V_2$$

Cuando $\rho_1 = \rho_2$, que es el caso general tratándose de agua, y flujo en régimen permanente, se tiene:

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$

o de otra forma:

$$Q_1 = Q_2$$

(el caudal que entra es igual al que sale)

Donde:

- Q = Caudal (m^3 / s)
- V = velocidad (m / s)
- S = sección del tubo de corriente o conducto (m^2)

Que se cumple cuando entre dos secciones de la conducción no se acumula masa, es decir, siempre que el fluido sea incompresible y por lo tanto su densidad sea constante. Esta condición la satisfacen todos los líquidos y, particularmente, el agua.

En general la geometría del conducto es conocida, por lo que el problema se reduce a estimar la velocidad media del fluido en una sección dada.

1.1.6.2 El Principio de Bernoulli

A estos efectos es de aplicación el Principio de Bernoulli, que no es sino la formulación, a lo largo de una línea de flujo, de la Ley de conservación de la energía. Para un fluido ideal, sin rozamiento, se expresa

$$h + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} = cte$$

donde:

- g = aceleración de la gravedad
- ρ = peso específico del fluido
- P = presión

Se aprecia que los tres sumandos son, dimensionalmente, una longitud (o altura), por lo que el Principio normalmente se expresa enunciando que, a lo largo de una línea de corriente la suma de la altura geométrica, la altura de velocidad y la altura de presión se mantiene constante.

Cuando el fluido es real, para circular entre dos secciones de la tubería deberá vencer las resistencias debidas al rozamiento con las paredes interiores de la misma, así como las que puedan producirse al atravesar zonas especiales como válvulas, ensanchamientos, codos, etc. Para vencer estas resistencias deberá emplear o perder una cierta cantidad de energía o, con la terminología derivada del Principio de Bernoulli de altura, que ahora se puede formular, entre las secciones 1 y 2:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \text{perdidas}(1.2),$$

o lo que es lo mismo:

$$, (h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} = \text{perdidas}(1.2)$$

Donde pérdidas (1,2) representa el sumando de las pérdidas continuas (por rozamiento contra las paredes) y las localizadas (al atravesar secciones especiales)

1.1.6.3 Pérdidas continuas

Las pérdidas por rozamiento son función de la rugosidad del conducto, de la viscosidad del fluido, del régimen de funcionamiento (flujo laminar o flujo turbulento) y del caudal circulante, es decir de la velocidad (a más velocidad, más pérdidas). La pérdida de altura por unidad de longitud de la conducción se le llama pendiente de la línea de energía (J), cuando el flujo es turbulento (número de Reynolds superior a 4.000; $2000 < Re < 4000$ Es el flujo de transición; $2000 > Re$ Flujo laminar), lo que ocurre en la práctica totalidad de los casos, existen varias fórmulas, tanto teóricas (Ecuación de Darcy-Weisbach), como experimentales (ecuación de Hazen-Williams, ecuación de Manning, etc.), que relacionan la pendiente de la línea de energía con la velocidad de circulación del fluido. Quizás la más sencilla y más utilizada sea la fórmula de Manning:

$$V = K \cdot R_h^{2/3} \cdot J^{0.5}$$

- V = velocidad del agua (m/s)
- K = coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería y del estado de esta. Existen varias expresiones para este coeficiente, calculados en forma experimental por varios investigadores como: Manning; Bazin; Kutter; Strickler, entre otros.
- R_h = radio hidráulico de la sección = Área mojada / Perímetro mojado (un cuarto del diámetro para conductos circulares a sección llena) (m)
- J = gradiente de energía (m/m)

1.1.6.4 Pérdidas localizadas

En el caso de que entre las dos secciones de aplicación del Principio de Bernoulli existan puntos en los que la línea de energía sufra pérdidas localizadas (salidas de depósito, codos, cambios bruscos de diámetro, válvulas, etc.), las correspondientes pérdidas de altura se suman a las correspondientes por rozamiento. En general, todas las pérdidas localizadas son solamente función de la velocidad, viniendo ajustadas mediante expresiones experimentales del tipo:

$$pl = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde pl es la pérdida localizada, los coeficientes k se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para tubería.

1.2 Conceptos básicos de Termodinámica aplicada al diseño de tuberías

1.2.1 Definición de Termodinámica

La termodinámica (del griego $\theta\epsilon\rho\mu\omicron$, *termo*, que significa "calor" y $\delta\acute{\upsilon}\nu\alpha\mu\iota\varsigma$, *dinámico*, que significa "fuerza") es una rama de la física que estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas físicos a un nivel macroscópico. Aproximadamente, calor significa "energía en tránsito" y dinámica se refiere al "movimiento", por lo que, en esencia, la termodinámica estudia la circulación de la energía y cómo la energía infunde movimiento. Históricamente, la termodinámica se desarrolló a partir de la necesidad de aumentar la eficiencia de las primeras máquinas de vapor.

El punto de partida para la mayor parte de las consideraciones termodinámicas son las leyes de la termodinámica, que postulan que la energía puede ser intercambiada entre sistemas físicos en forma de calor o trabajo. También se postula la existencia de una magnitud llamada entropía, que puede ser definida para cualquier sistema. En la termodinámica se estudian y clasifican las interacciones entre diversos sistemas, lo que lleva a definir conceptos como sistema termodinámico y su contorno. Un sistema termodinámico se caracteriza por sus propiedades, relacionadas entre sí mediante las ecuaciones de estado. Éstas se pueden combinar para expresar la energía interna y los potenciales termodinámicos, útiles para determinar las condiciones de equilibrio entre sistemas y los procesos espontáneos. Con estas herramientas, la termodinámica describe cómo los sistemas responden a los cambios en su entorno. Esto se puede aplicar a una amplia variedad de temas de ciencia e ingeniería, tales como motores, transiciones de fase, reacciones químicas, fenómenos de transporte, e incluso agujeros negros. Los resultados de la termodinámica son esenciales para otros campos de la física y la química, ingeniería química, ingeniería aeroespacial, ingeniería mecánica, biología celular, ingeniería biomédica, y la ciencia de materiales por nombrar algunos.

1.2.2 Leyes de la termodinámica

1.2.2.1 Primera ley de la termodinámica

También conocido como principio de conservación de la energía para la termodinámica, establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. Fue propuesta por Antoine Lavoisier.

La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma:

$$Q = \Delta U + W$$

1.2.2.2 Segunda ley de la termodinámica

Esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario (por ejemplo, que una mancha de tinta dispersada en el agua pueda volver a concentrarse en un pequeño volumen). También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, La Segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el Primer Principio. Esta ley apoya todo su contenido aceptando la existencia de una magnitud física llamada entropía tal que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero.

Debido a esta ley también se tiene que el flujo espontáneo de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos a temperatura más alta a aquellos de temperatura más baja.

Existen numerosos enunciados equivalentes para definir este principio, destacándose el de Clausius y el de Kelvin.

Enunciado de Clausius

En palabras de Sears es: *" No es posible ningún proceso cuyo único resultado sea la extracción de calor de un recipiente a una cierta temperatura y la absorción de una cantidad igual de calor por un recipiente a temperatura más elevada".*

Enunciado de Kelvin

"No existe ningún dispositivo que, operando por ciclos, absorba calor de una única fuente y lo convierta íntegramente en trabajo."

Otra interpretación

“Es imposible construir una máquina térmica cíclica que transforme calor en trabajo sin aumentar la energía termodinámica del ambiente”. Debido a esto podemos concluir que el rendimiento energético de una máquina térmica cíclica que convierte calor en trabajo siempre será menor a la unidad y ésta estará más próxima a la unidad cuanto mayor sea el rendimiento energético de la misma. Es decir, mientras mayor sea el rendimiento energético de una máquina térmica, menor será el impacto en el ambiente, y viceversa.

1.2.2.3 Tercera ley de la termodinámica

La Tercera de las leyes de la termodinámica, propuesto por Walther Nernst, afirma que es imposible alcanzar una temperatura igual al cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos. Puede formularse también como que a medida que un sistema dado se aproxima al cero absoluto, su entropía tiende a un valor constante específico. La entropía de los sólidos cristalinos puros puede considerarse cero bajo temperaturas iguales al cero absoluto. No es una noción exigida por la Termodinámica clásica, así que es probablemente inapropiado tratarlo de “ley”.

Es importante recordar que los principios o leyes de la Termodinámica son sólo generalizaciones estadísticas, válidas siempre para los sistemas macroscópicos, pero inaplicables en el ámbito cuántico. El demonio de Maxwell ejemplifica cómo puede concebirse un sistema cuántico que rompa las leyes de la Termodinámica.

Asimismo, cabe destacar que el primer principio, el de conservación de la energía, es la más sólida y universal de las leyes de la naturaleza descubiertas hasta ahora por la ciencia.

1.2.2.4 Ley cero de la termodinámica

El equilibrio termodinámico de un sistema se define como la condición del mismo en el cual las variables empíricas usadas para definir un estado del sistema (presión, volumen, campo eléctrico, polarización, magnetización, tensión lineal, tensión superficial, entre otras) no son dependientes del tiempo. A dichas variables empíricas (experimentales) de un sistema se les conoce como coordenadas termodinámicas del sistema.

A este principio se le llama del equilibrio termodinámico. Si dos sistemas A y B están en equilibrio termodinámico, y B está en equilibrio termodinámico con un tercer sistema C, entonces A y C están a su vez en equilibrio termodinámico. Este principio es fundamental, aun siendo ampliamente aceptado, no fue formulado formalmente, sino hasta después de haberse enunciado las otras tres leyes. De ahí que reciba la posición 0.

1.2.3 Termometría

La termometría se encarga de la medición de la temperatura de cuerpos o sistemas. Para este fin, se utiliza el termómetro, que es un instrumento que se basa en el cambio de alguna propiedad de la materia debido al efecto del calor; así se tiene el termómetro de mercurio y de alcohol, que se basan en la dilatación, los termopares que deben su funcionamiento al cambio de la conductividad eléctrica, los ópticos que detectan la variación de la intensidad del rayo emitido cuando se refleja en un cuerpo caliente.

Para poder construir el termómetro se utiliza el Principio cero de la Termodinámica que dice: *"Si un sistema A que está en equilibrio térmico con un sistema B, está en equilibrio térmico también con un sistema C, entonces los tres sistemas A, B y C están en equilibrio térmico entre sí"*.

1.2.3.1 Propiedades termométricas

Una propiedad termométrica de una sustancia es aquella que varía en el mismo sentido que la temperatura, es decir, si la temperatura aumenta su valor, la propiedad también lo hará, y viceversa.

1.2.3.2 Escalas de temperatura

Lo que se necesita para construir un termómetro son puntos fijos, es decir, procesos en los cuales la temperatura permanece constante. Ejemplos de procesos de este tipo son el proceso de ebullición y el proceso de fusión.

Los puntos generalmente utilizados son el proceso de ebullición y de solidificación de alguna sustancia, durante los cuales la temperatura permanece constante.

Existen varias escalas para medir temperaturas, las más importantes son la escala Celsius, la escala Kelvin y la escala Fahrenheit.

Escala Celsius

Para esta escala, se toman como puntos fijos, los puntos de ebullición y de solidificación del agua, a los cuales se les asignan los valores de 100 y 0 respectivamente. En esta escala, estos valores se escriben como 100° y 0°. Esta unidad de medida se lee grado Celsius y se denota por [°C]. El grado Celsius, representado como °C, es la unidad creada por Anders Celsius para su escala de temperatura. Se tomó para el Kelvin y es la unidad de temperatura más utilizada internacionalmente. El valor 0,01 °C está asignado a la temperatura del punto triple del agua y definiendo 1 °C como la fracción 1/273,16 de la diferencia con el cero absoluto.

Escala Kelvin o absoluta

En este caso, la escala fue establecida por la escala Celsius, donde el valor de 0° corresponde al cero absoluto, temperatura en la cual las moléculas y átomos de un sistema tienen la mínima energía térmica posible. Ningún sistema macroscópico puede tener una temperatura inferior. En escala Celsius esta temperatura corresponde a -273°C . Esta unidad de medida se lee Kelvin y se denota por K . Esta unidad se llama también Escala Absoluta y es también la unidad adoptada por el Sistema Internacional de Unidades.

Dado que 0°K corresponden a -273°C , se puede hallar una fórmula de conversión, entre la escala Celsius y la escala Kelvin, de la siguiente forma:

$$T_K = T_C + 273$$

Escala Fahrenheit

En esta escala también se utilizaron puntos fijos para construirla, pero en este caso fueron los puntos de solidificación y de ebullición del cloruro amónico en agua. Estos puntos se marcaron con los valores de 0 y 100 respectivamente. La unidad de esta escala se llama grado Fahrenheit y se denota por $[\text{F}]$. Dado que en escala Celsius, los valores de $0[\text{C}]$ y $100[\text{C}]$ corresponden respectivamente a $32[\text{F}]$ y $212[\text{F}]$ respectivamente, la fórmula de conversión de grados Celsius a Fahrenheit es:

$$T_f = \frac{9}{5}T_C + 32$$

1.2.4 Sistema y ambiente

En el estudio de la Termodinámica la atención está dirigida al interior de un sistema, aunque se adopte un punto de vista macroscópico, sólo se consideran aquellas magnitudes de este tipo que tienen relación con el estado interno del sistema. Para poder entender las magnitudes involucradas en este tema, se hace necesario definir los conceptos de sistema y estado de un sistema.

Sistema.- Se puede definir un sistema como un conjunto de materia, que está limitado por una superficie, que le pone el observador, real o imaginaria. Si en el sistema no entra ni sale materia, se dice que se trata de un sistema cerrado, o sistema aislado si no hay intercambio de materia y energía, dependiendo del caso. En la naturaleza, encontrar un sistema estrictamente aislado es, por lo que sabemos, imposible, pero podemos hacer aproximaciones. Un sistema del que sale y/o entra materia, recibe el nombre de abierto. Ponemos unos ejemplos:

Un sistema abierto: es por ejemplo, un coche. Le echamos combustible y él desprende diferentes gases y calor.

Un sistema cerrado: un reloj de cuerda, no introducimos ni sacamos materia de él. Solo precisa un aporte de energía que emplea para medir el tiempo.

Un sistema aislado: *¿Cómo encontrarlo si no podemos interactuar con él?*. Sin embargo un termo lleno de comida caliente es una aproximación, ya que el envase no permite el intercambio de materia e intenta impedir que la energía (*calor*) salga de él.

Medio externo.- Se llama medio externo o ambiente a todo aquello que no está en el sistema pero que puede influir en él. Por ejemplo, consideremos una taza con agua, que está siendo calentada por un mechero. Considere un sistema formado por la taza y el agua, entonces el medio está formado por el mechero, el aire, etc.

Estado de un sistema.- Un sistema que puede describirse en función de coordenadas termodinámicas se llama sistema termodinámico y la situación en la que se encuentra definido por dichas coordenadas se llama estado del sistema.

1.2.5 Variables termodinámicas

Las variables que tienen relación con el estado interno de un sistema, se llaman variables termodinámicas o coordenadas termodinámicas, y entre ellas las más importantes en el estudio de la termodinámica son:

- la masa
- el volumen
- la densidad
- la presión
- la temperatura

1.2.6 Equilibrio térmico

Toda sustancia por encima de los 0° Kelvin (-273.15° Centígrados) emite calor. Si 2 sustancias en contacto se encuentran a diferente temperatura, una de ellas emitirá más calor y calentará a la más fría. El equilibrio térmico se alcanza cuando ambas emiten, y reciben *la misma cantidad de calor*, lo que iguala su temperatura.

Nota: estrictamente sería la misma cantidad de calor por gramo, ya que una mayor cantidad de sustancia emite más calor a la misma temperatura.

Un estado en el cual dos coordenadas termodinámicas independientes X e Y permanecen constantes mientras no se modifican las condiciones externas se dice que se encuentra en equilibrio térmico. Si dos sistemas se encuentran en equilibrio térmico se dice que tienen la misma temperatura. Entonces se puede definir la temperatura como una propiedad que permite determinar si un sistema se encuentra o no en equilibrio térmico con otro sistema.

El equilibrio térmico se presenta cuando dos cuerpos con temperaturas diferentes se ponen en contacto, y el que tiene mayor temperatura cede calor al que tiene más baja, hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. Algunas definiciones útiles en termodinámica son las siguientes.

Foco térmico.- Un foco térmico es un sistema que puede entregar y/o recibir calor, pero sin cambiar su temperatura.

Contacto térmico.- Se dice que dos sistemas están en contacto térmico cuando puede haber transferencia de calor de un sistema a otro.

1.2.7 Procesos termodinámicos

Se dice que un sistema pasa por un proceso termodinámico cuando al menos una de las coordenadas termodinámicas no cambia. Los procesos más importantes son:

- Procesos isotérmicos: son procesos en los que la temperatura no cambia.
- Procesos Isobáricos: son procesos en los cuales la presión no varía.
- Procesos Isócoros: son procesos en los que el volumen permanece constante.
- Procesos adiabáticos: son procesos en los que no hay transferencia de calor alguna.

Por ejemplo, en un termo se echan agua caliente y cubos de hielo, ocurre un proceso adiabático, ya que el agua caliente se empezará a enfriar debido al hielo, y al mismo tiempo el hielo se empezará a derretir hasta que ambos estén en equilibrio térmico, sin embargo no hubo transferencia de calor del exterior del termo al interior por lo que se trata de un proceso adiabático.

1.2.8 Rendimiento termodinámico o eficiencia

Un concepto importante en la ingeniería térmica es el de rendimiento. El rendimiento de una máquina térmica se define como:

$$\eta = \frac{E_{deseada}}{E_{necesaria}}$$

Donde, dependiendo del tipo de máquina térmica, estas energías serán el calor o el trabajo que se transfieran en determinados subsistemas de la máquina.

Teorema de Carnot (ciclo de Carnot)

Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1824 demostró que el rendimiento de alguna máquina térmica que tuviese la máxima eficiencia posible (a las que en la actualidad se denotan con su nombre) y que operase entre dos *termostatos* (focos con temperatura constante), dependería sólo de las temperaturas de dichos focos. Por ejemplo, el rendimiento para un motor térmico de Carnot viene dado por:

$$\eta_{mC} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Donde T_c y T_h son las temperaturas del termostato frío y del termostato caliente, respectivamente, medidas en Kelvin.

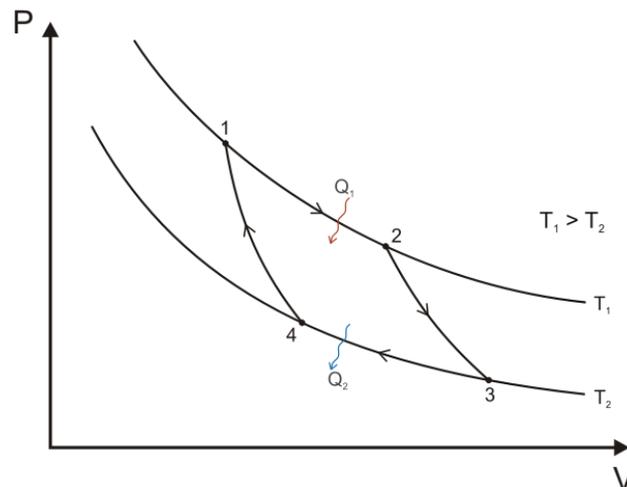


Fig. 3.5 Diagrama del ciclo de Carnot en función de la presión y el volumen.

1.2.9 Dilatación térmica

La dilatación térmica corresponde al efecto de que las sustancias se "agrandan" al aumentar la temperatura. En objetos sólidos, la dilatación térmica produce un cambio en las dimensiones lineales de un cuerpo, mientras que en el caso de líquidos y gases, que no tienen forma permanente, la dilatación térmica se manifiesta en un cambio en su volumen.

Dilatación lineal.- Consideremos primero la dilatación térmica de un objeto sólido, cuyas dimensiones lineales se pueden representar por l_0 , y que se dilata en una cantidad ΔL . Experimentalmente se ha encontrado que para casi todas las sustancias y dentro de los límites de variación normales de la temperatura, la dilatación lineal ΔL es directamente proporcional al tamaño inicial l_0 y al cambio en la temperatura Δt , es decir:

$$\Delta L = \alpha l_0 \Delta t \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{l_0} \left(\frac{\Delta L}{\Delta t} \right)$$

Donde α se llama coeficiente de dilatación lineal, cuya unidad es el recíproco del grado, es decir $[\text{°C}]^{-1}$.

Dilatación superficial.- Es el mismo concepto que el de dilatación lineal salvo que se aplica a cuerpos a los que es aceptable y preferible considerar como regiones planas; por ejemplo, una plancha metálica. Al serle transmitida cierta cantidad de calor la superficie del objeto sufrirá un incremento de área: ΔA .

$$\Delta A = \gamma v_0 \Delta t \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{1}{v_0} \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)$$

Donde γ se llama coeficiente de dilatación superficial.

Dilatación volumétrica.- La dilatación térmica de un líquido o un gas se observa como un cambio de volumen ΔV en una cantidad de sustancia de volumen V_0 , relacionado con un cambio de temperatura Δt . En este caso, la variación de volumen ΔV es directamente proporcional al volumen inicial V_0 y al cambio de temperatura Δt , para la mayor parte de las sustancias y dentro de los límites de variación normalmente accesibles de la temperatura, es decir:

$$\Delta V = \beta v_0 \Delta t \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{1}{v_0} \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right)$$

Donde β se llama coeficiente de dilatación volumétrica, medida en la misma unidad que el coeficiente de dilatación lineal.

Se puede demostrar fácilmente usando el álgebra que:

$$\beta \approx 3\alpha$$

Análogamente se puede obtener el coeficiente de dilatación superficial y dado por:

$$\gamma \approx 2\alpha$$

1.3 Conceptos básicos de Ciencia de Materiales aplicada al diseño de tuberías

1.3.1 Definición Ciencia de materiales

La ciencia de materiales implica investigar la relación entre la estructura y las propiedades de los materiales; por el contrario, la ingeniería de materiales se fundamenta en las relaciones propiedades-estructura y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades. Conviene matizar esta diferencia, puesto que a menudo se presta a confusión. La ciencia de materiales es un campo multidisciplinario que estudia conocimientos fundamentales sobre las propiedades físicas macroscópicas de los materiales y los aplica en varias áreas de la ciencia y la ingeniería, consiguiendo que éstos puedan ser utilizados en obras, máquinas y herramientas diversas, o convertidos en productos necesarios o requeridos por la sociedad. Incluye elementos de la química y física, así como las ingenierías química, mecánica, civil y eléctrica, todo gracias al conocimiento de los polímeros.

1.3.2 Clasificación de los materiales

La ciencia de materiales clasifica a todos los materiales en función de sus propiedades y su estructura atómica. Son los siguientes:

- Metales
- Cerámicos
- Polímeros
- Materiales compuestos
- Semiconductores

Algunos libros hacen una clasificación más exhaustiva, aunque con estas categorías cualquier elemento puede ser clasificado.

En realidad en la ciencia de materiales se reconocen como categorías únicamente los Metales, los materiales Cerámicos y los Polímeros, cualquier material puede incluirse en una de estas categorías, así pues los semiconductores pertenecen a los materiales cerámicos y los materiales compuestos no son más que mezclas de materiales pertenecientes a las categorías principales.

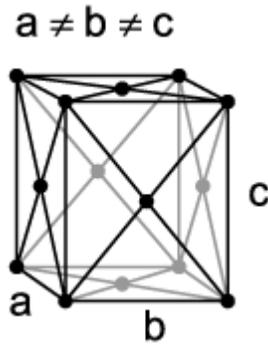


Fig. 3.6 La estructura cristalina es una parte esencial en esta ciencia. Esta por ejemplo es del sistema ortorrómbico

1.3.3 Diagrama de fase

En termodinámica y ciencia de materiales se denomina diagrama de fase a la representación gráfica de las fronteras entre diferentes estados de la materia de un sistema, en función de variables elegidas para facilitar el estudio del mismo.

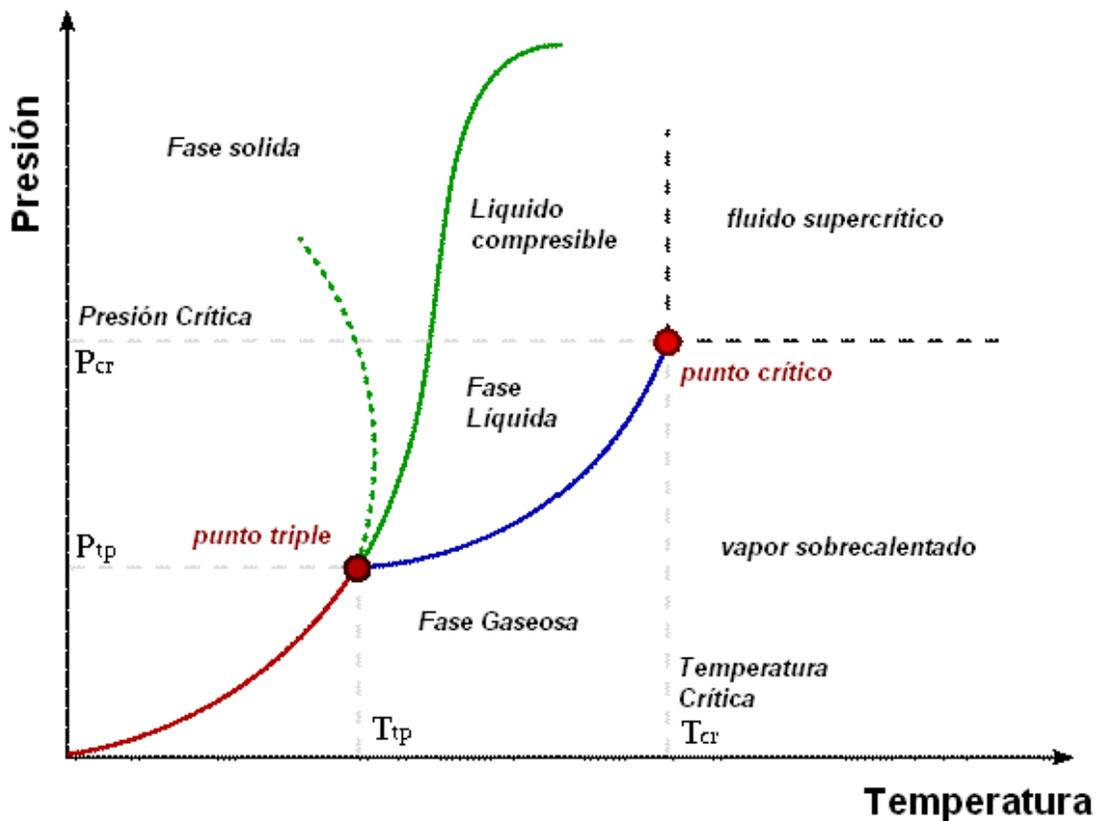


Fig. 3.7 Un típico diagrama de fase.

En la figura 3.7, la línea con puntos muestra el comportamiento anómalo del agua. La línea verde marca el punto de congelación y la línea azul, el punto de ebullición. Se muestra como ellos varían con la presión.

Cuando en una de estas representaciones todas las fases corresponden a estados de agregación diferentes se suele denominar diagrama de cambio de estado.

En ciencia de materiales se utilizan ampliamente los diagramas de fase binarios, mientras que en termodinámica se emplean sobre todo los diagramas de fase de una sustancia pura.

Diagrama de fase de una sustancia pura

Los diagramas de fase más sencillos son los de presión - temperatura de una sustancia pura, como puede ser el del agua. En el eje de ordenadas se coloca la presión y en el de abscisas la temperatura. Generalmente, para una presión y temperatura dadas, el cuerpo presenta una única fase excepto en las siguientes zonas:

a) Punto triple: En este punto del diagrama coexisten los estados sólido, líquido y gaseoso. Estos puntos tienen cierto interés, ya que representan un invariante y por lo tanto se pueden utilizar para calibrar termómetros.

b) Los pares (presión, temperatura) que corresponden a una transición de fase entre:

- Dos fases sólidas: Cambio alotrópico;
- Entre una fase sólida y una fase líquida: Fusión - solidificación;
- Entre una fase sólida y una fase vapor (gas): Sublimación - deposición (o sublimación inversa);
- Entre una fase líquida y una fase vapor: Vaporización - condensación (o licuefacción);

Es importante señalar que la curva que separa las fases vapor-líquido se detiene en un punto llamado punto crítico. Más allá de este punto, la materia se presenta como un fluido supercrítico que tiene propiedades tanto de los líquidos como de los gases. Modificando la presión y temperatura en valores alrededor del punto crítico se producen reacciones que pueden tener interés industrial, como por ejemplo las utilizadas para obtener café descafeinado.

Es preciso anotar que, en el diagrama PV del agua, la línea que separa los estados líquido y sólido tiene pendiente negativa, lo cual es algo bastante inusual. Esto quiere decir que aumentando la presión el hielo se funde, y también que la fase sólida tiene menor densidad que la fase líquida.

Diagrama de fase binaria

Cuando aparecen varias sustancias, la representación de los cambios de fase puede ser más compleja. Un caso particular, el más sencillo, corresponde a los diagramas de fase binarios. Ahora las variables a tener en cuenta son la temperatura y la concentración, normalmente en masa. En un diagrama binario pueden aparecer las siguientes regiones:

- Sólido puro o solución sólida
- Mezcla de soluciones sólidas (eutéctica, eutectoide, peritética, peritectoide)
- Mezcla sólido - líquido
- Únicamente líquido, ya sea la mezcla de líquidos inmiscibles (emulsión) o sea un líquido completamente homogéneo.
- Mezcla líquido - gas
- Gas (lo consideraremos siempre homogéneo, trabajando con pocas variaciones de altitud).

Hay punto y líneas en estos diagramas importantes para su caracterización:

- Línea de líquidus, por encima de la cual solo existen fases líquidas.
- Línea de sólidus, por debajo de la cual solo existen fases sólidas.
- Línea eutéctica y eutectoide. Son líneas horizontales (isotermas) en las que tienen lugar transformaciones eutécticas y eutectoides, respectivamente.
- Línea de solvus, indica las temperaturas para las cuales una solución sólida (α) de A y B deja de ser soluble para transformarse en (α) + sustancia pura (A ó B).
- Concentraciones definidas, en las que ocurren transformaciones a temperatura constante: Eutéctica, Eutectoide, Peritética, Peritectoide y Monotética

1.3.4 Propiedades mecánicas

Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga. Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas concretas, mediante un proceso de calentamientos y enfriamientos sucesivos hasta conseguir la estructura cristalina deseada.

Entre estas características están:

- Resistencia al desgaste: Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.

- Tenacidad: Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- Maquinabilidad: Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- Dureza: Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) o unidades ROCKWELL C (HRC), mediante el test del mismo nombre.

En los materiales pueden ocurrir muchos tipos de transformaciones de estado sólido y pueden controlarse con los tratamientos térmicos adecuados. Estos tratamientos térmicos están diseñados para proporcionar una distribución óptima de dos o más fases en la microestructura. El endurecimiento por dispersión resultante causado por las fases nos permite obtener una gran variedad de estructuras y propiedades en los materiales. En la más común de estas transformaciones -excediendo el límite de solubilidad, endurecimiento por envejecimiento, control del eutectoide y la reacción martensítica- se pretende producir una micro estructura final que contenga una distribución uniforme de muchas partículas finas y duras de precipitado en una matriz más blanda y dúctil.

Haciendo esto, es posible obstaculizar de modo efectivo el movimiento de las dislocaciones, proporcionando así resistencia pero manteniendo aún una ductilidad y tenacidad convenientes. El control cuidadoso de las temperaturas en el tratamiento térmico, así como sus tiempos es esencial para obtener la microestructura apropiada. Los diagramas de fases sirven para seleccionar las temperaturas apropiadas, pero se necesitan datos experimentales para lograr finalmente la combinación óptima de tiempos, temperaturas y composiciones.

Finalmente, puesto que se obtienen propiedades optimas a través del tratamiento térmico, debemos tener presente que la estructura y las propiedades pueden modificarse cuando el material se utiliza en altas temperaturas. El sobre-envejecimiento, el sobre revenido y la pérdida de coherencia pueden ocurrir como una ampliación natural del fenómeno que rige estas transformaciones cuando el material es puesto en servicio.

Ángulo diedro.- Ángulo que define la forma de una partícula de precipitado de una matriz. Esta determinado por las energías superficiales relativas. Se le llama también diedro, a secas.

Austenita.- Denominación de la estructura cristalina CCC del hierro.

Bainita.- Micro constituyente bifásico que contiene ferrita y cementita, se forma en aceros transformados isotérmicamente a relativamente bajas temperaturas.

Cementita.- Compuesto intermetálico duro y frágil, que cuando se dispersa apropiadamente proporciona el endurecimiento en los aceros.

Endurecimiento por envejecimiento.- Tratamiento térmico especial de endurecimiento por dispersión. Se forma un precipitado coherente a través de un tratamiento por solución, un templado y un envejecimiento. El precipitado proporciona un efecto de endurecimiento sustancial. También es conocido como endurecimiento por precipitación.

Energía de deformación.- energía requerida para que un precipitado se ajuste en la matriz circundante durante la nucleación y el crecimiento del precipitado.

Energía interfacial.- energía relacionada con el límite (interficie o interfaz) de dos fases.

Envejecimiento artificial.- Recalentamiento de una aleación tratada por solución y templada a una temperatura debajo de solvus para proporcionar la energía térmica requerida para que se forme un precipitado.

Envejecimiento natural.- Formación de un precipitado coherente de una aleación endurecible por envejecimiento tratada por solución y templada a temperatura ambiente, proporcionando un endurecimiento óptimo.

Ferrita.- Denominación de la estructura cristalina CC del hierro.

Martensita.- Fase meta estable formada en el acero y otros materiales a través de una transformación a térmica sin difusión.

Perlita.- Micro constituyente laminar bifásico, que contiene ferrita y cementita, formado en los aceros que son enfriados de una manera normal o que son transformados isotérmicamente a temperaturas relativamente altas.

Precipitado coherente.- Precipitado cuya estructura cristalina y arreglo atómico tienen una relación continua con la matriz de la cual se formó. El precipitado coherente proporciona una excelente interrupción del arreglo atómico en la matriz y un excelente endurecimiento.

Revenido.- Tratamiento térmico de baja temperatura utilizado para reducir la dureza de la martensita, permitiendo a esta descomponerse en las fases de equilibrio.

Transformación a térmica.- Cambio en el que a magnitud de la transformación depende solo de la temperatura y no del tiempo.

Transformación isotérmica.- Cuando la cantidad de transformación a una temperatura en particular depende del tiempo permitido para la transformación.

Propiedades mecánicas del acero

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica. Los demás elementos principales de composición son el cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. A estos elementos químicos que forman del acero se les llama componentes, y a las distintas estructuras cristalinas o combinación de ellas constituyentes. Los elementos constituyentes, según su porcentaje, ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas, soportes, etcétera. La diferencia entre los diversos aceros, tal como se ha dicho depende tanto de la composición química de la aleación de los mismos, como del tipo de tratamiento térmico a los que se les somete.

1.3.5 Tratamiento térmico

Se conoce como tratamiento térmico el proceso al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.

Mejora de las propiedades a través del tratamiento térmico

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que los forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos.

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama polimorfismo y es la que justifica los tratamientos térmicos. Técnicamente el polimorfismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono. La α -ferrita, la austenita y la δ -ferrita son polimorfismos del hierro. Esta propiedad en un elemento químico puro se denomina alotropía.

Tratamientos térmicos del acero

Temple: Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 900-950°C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera.

Revenido: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

Recocido: Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

Normalizado: Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Tratamientos termoquímicos del acero

En el caso de los tratamientos termoquímicos no sólo se producen cambios en la estructura del acero sino también en su composición química, añadiendo diferentes productos químicos durante el proceso del tratamiento. Estos tratamientos tienen un efecto sólo superficial en las piezas tratadas y consiguen aumentar la dureza superficial de los componentes, dejando el núcleo más blando y flexible. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento en atmósferas especiales.

Cementación: Aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Nitruración: Al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400-525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.

Sulfurización: Aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorporó al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.

Cianuración: Endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.

1.3.6 Aleación

Por aleación se entiende la unión íntima y homogénea de dos o más elementos, siendo al menos uno de ellos un metal. Es muy raro encontrar aleaciones en la naturaleza, tradicionalmente se preparan mezclándolos en una amalgama.

1.3.6.1 Obtención

Procesos de fusión: Los componentes se calientan en un horno a una temperatura superior a las de fusión, se logra una mezcla homogénea y posteriormente se reduce la temperatura hasta que solidifican de nuevo.

Electrólisis: Si el electrolito contiene en disolución cationes de los elementos que queremos alear, con el paso de una corriente eléctrica dichos iones se depositarán sobre el cátodo.

Compresión: Mediante un proceso similar a la sinterización, se mezclan los materiales en forma de polvo o virutas, se aumenta la presión y se calienta la mezcla hasta temperaturas inferiores a la de fusión.

Implantación de iones: al metal, colocado en una cámara de vacío, se le disparan haces de iones de carbono, nitrógeno y otros elementos para producir una capa de aleación fina y resistente sobre la superficie del metal.

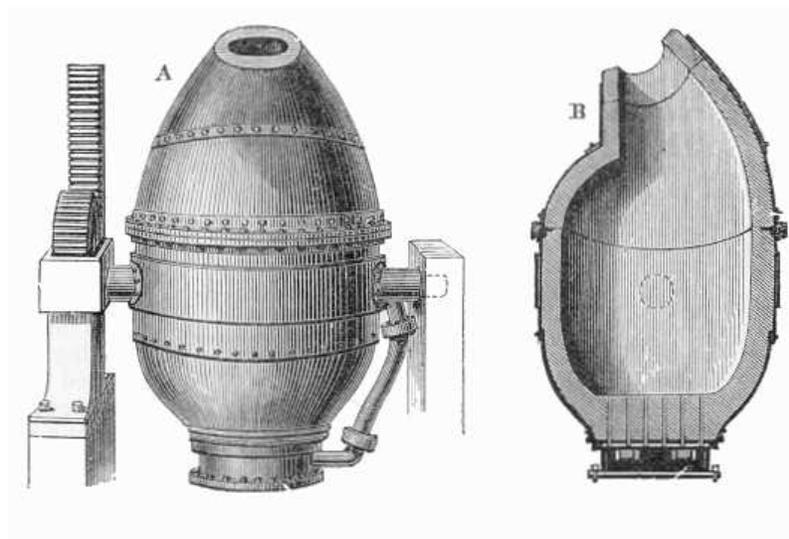


Fig. 3.8 Antiguo Horno Bessemer para fabricar acero.

1.3.6.2 Clasificación

Por Composición: Esta clasificación tiene en cuenta cual es el elemento que se halla en mayor proporción (aleaciones ferrosas, aleaciones base cobre, etc.). Cuando los aleantes no tienen carácter metálico suelen hallarse en muy pequeña proporción, mientras que si únicamente se mezclan metales, los aleantes pueden aparecer en proporciones similares al metal base. Por ejemplo, el cobre y el oro presentan un diagrama de solubilidad total.

Número de elementos: Atendiendo a este criterio se pueden distinguir aleaciones binarias como el cuproníquel, ternarias (alpaca)... hay aleaciones en las que intervienen un elevado número de elementos químicos en pequeñas cantidades.

Tipo de composición: Sustitucional o Intersticial "sustitución derivada de otra red"

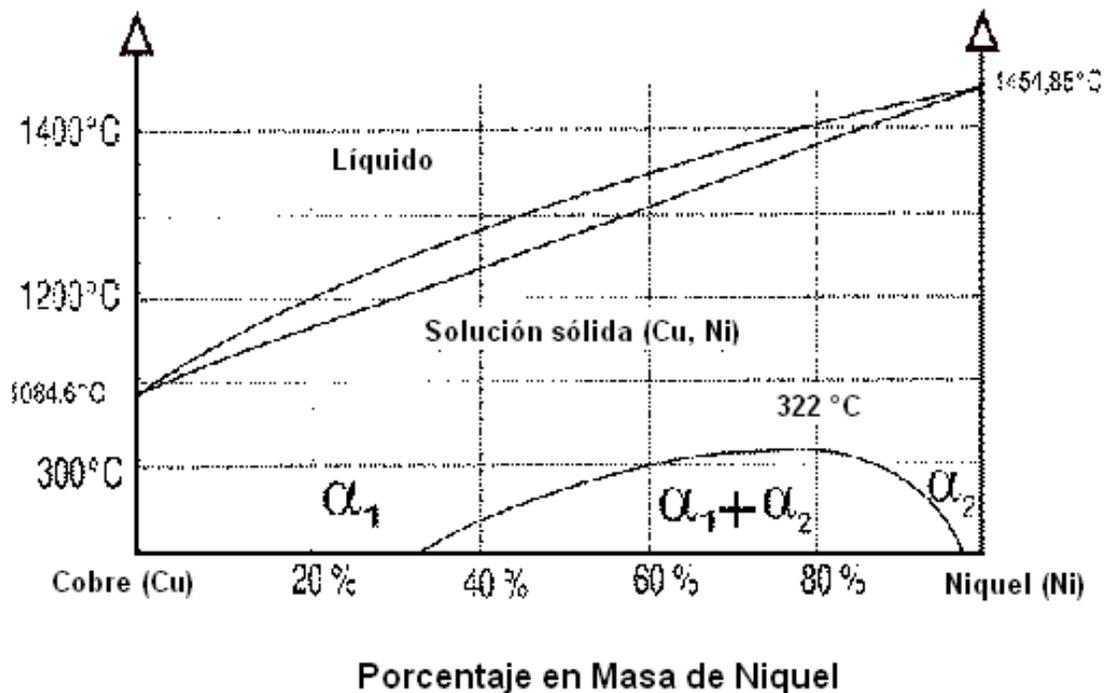


Fig. 3.9 Diagrama de fase binaria del cuproníquel.

1.3.6.3 Propiedades

Las aleaciones presentan brillo metálico y alta conductividad eléctrica y térmica, aunque usualmente menor que los metales puros. Las propiedades físicas y químicas son, en general, similares a la de los metales, sin embargo las propiedades mecánicas tales como: Dureza, Ductilidad, Tenacidad etc. Pueden ser muy diferentes, de ahí el interés que despiertan estos materiales. Que pueden los componentes de forma aislada.

Las aleaciones no tienen una temperatura de fusión única, dependiendo de la concentración, cada metal puro funde a una temperatura, coexistiendo simultáneamente fase líquida y fase sólida como se puede apreciar en los diagramas de fase. Hay ciertas concentraciones específicas de cada aleación para las cuales la temperatura de fusión se unifica. Esa concentración y la aleación obtenida reciben el nombre de eutéctica, y presenta un punto de fusión más bajo que los puntos de fusión de los componentes.



Fig. 3.10 Micrografía de acero eutectoide (perlita)

1.3.6.4 Aleaciones más comunes

Las aleaciones más comunes utilizadas en la industria son:

- Acero
- Alnico
- Alpaca
- Bronce
- Constantán
- Cuproníquel
- Magnam
- Magzinc
- Nicrom
- Nitinol
- Magal
- Oro blanco (electro)
- Peltre
- Plata de ley
- Zamak
- Latón o Cuzin

1.3.7 Acero

El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean.

La definición anterior, sin embargo, se circunscribe a los aceros al carbono en los que éste último es el único aleante o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas pues de hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones muy diversas que reciben denominaciones específicas en virtud ya sea de los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidable) e incluso en función de su uso (aceros estructurales), usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" que amén de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron como base para los demás.

Esta gran variedad de aceros llevó a Siemens a definir el acero como:

«un compuesto de hierro y otra sustancia que incrementa su resistencia»

Por la variedad ya apuntada y por su disponibilidad (sus dos elementos primordiales abundan en la naturaleza facilitando su producción en cantidades industriales) los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. Sin embargo, en ciertos sectores, como la construcción aeronáutica, el acero apenas se utiliza debido a que es un material muy denso, casi tres veces más denso que el aluminio (7,85/2,7).

1.3.7.1 Características mecánicas y tecnológicas del acero

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m^3 .
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de $1510 \text{ }^\circ\text{C}$ en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de $1375 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2500 \text{ }^\circ\text{F}$), y en general la tempera necesaria para la fusión aumenta a medida que se funde (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte el acero rápido funde a 1650°C . Su punto de ebullición es de alrededor de $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ (5400°F).
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lamina de acero, de entre $0,5$ y $0,12 \text{ mm}$ de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de construcción «corten» aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidable.

- Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de $3 \cdot 10^6 \text{ S m}^{-1}$. En las líneas aéreas de alta tensión se utilizan con frecuencia conductores de aluminio con alma de acero proporcionando éste último la resistencia mecánica necesaria para incrementar los vanos entre las torres y optimizar el coste de la instalación.
- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\Delta L = \alpha \Delta t^\circ L$, siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1.2 \cdot 10^{-5}$. Existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta. El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina hormigón armado. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

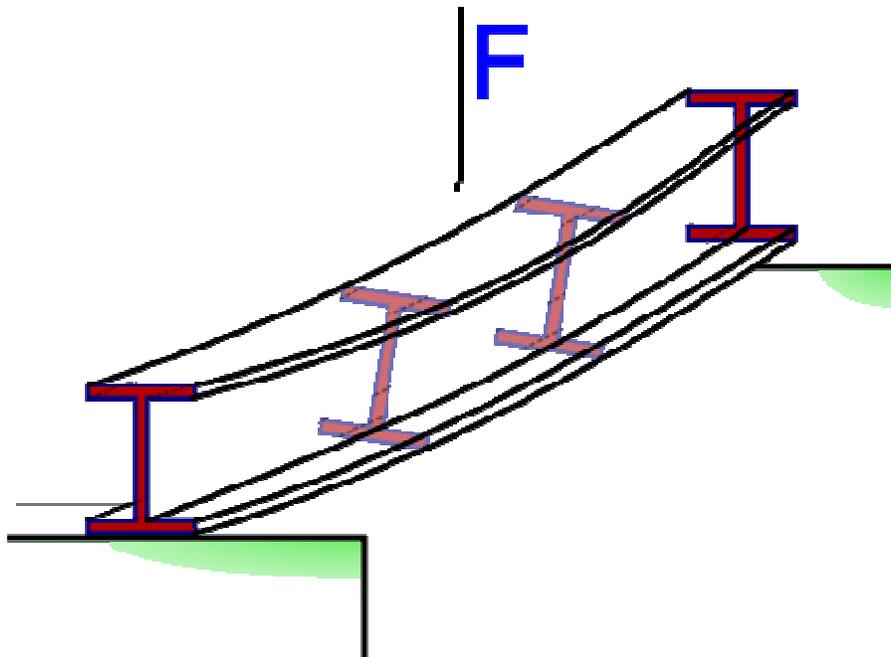


Fig. 3.11 Representación de la inestabilidad lateral bajo la acción de una fuerza ejercida sobre una viga de acero.

1.3.7.2 Formación del acero.

Diagrama hierro-carbono (Fe-C)

En el diagrama de equilibrio, o de fases, Fe-C se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos (temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones) por métodos diversos.

Transformación de la austenita

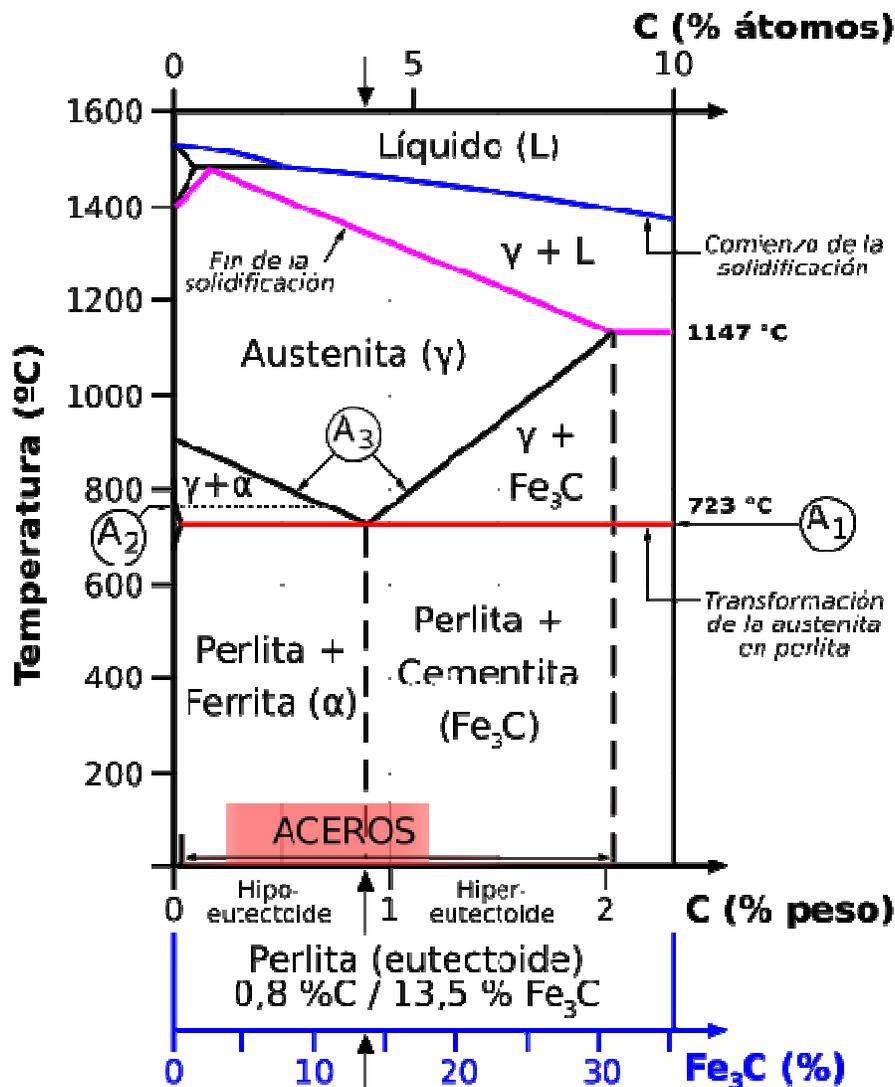


Fig. 3.12 Diagrama Hierro - Carbono del Acero

Zona de los aceros (hasta 2% de carbono) del diagrama de equilibrio meta estable hierro-carbono. Dado que en los aceros el carbono se encuentra formando carburo de hierro se han incluido en abscisas las escalas de los porcentajes en peso de carbono y de carburo de hierro (en azul).

1.3.7.3 Microconstituyente

El hierro puro presenta tres estados alotrópicos a medida que se incrementa desde la temperatura ambiente:

Hasta los 911 °C, el hierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC) y recibe la denominación de hierro alfa o ferrita. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los 770 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad). La ferrita puede disolver muy pequeñas cantidades de carbono.

Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (FCC) y recibe la denominación de hierro γ o austenita. Dada su mayor compacidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.

Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y recibe la denominación de hierro δ que es en esencia el mismo hierro alfa pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

A mayor temperatura el hierro se encuentra en estado líquido. Si se añade carbono al hierro, sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro (Fe_3C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de cementita de modo que los aceros al carbono están constituidos realmente por ferrita y cementita.

Otros microconstituyentes

Las texturas básicas descritas (perlíticas) son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, sin embargo modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes:

La martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros.

Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la bainita, estructura similar a la perlita formada por agujas de ferrita y cementita pero de mayor ductilidad y resistencia que aquella.

También se puede obtener austenita por enfriamiento rápido de aleaciones con elementos gammágenos (que favorecen la estabilidad del hierro) como el níquel y el manganeso, tal es el caso por ejemplo de los aceros inoxidables austeníticos.

Antaño se identificaron también la sorbita y la troostita que han resultado ser en realidad perlitas de muy pequeña distancia ínter laminar por lo que dichas denominaciones han caído en desuso.

Fases de la aleación de hierro-carbono
Austenita (Hierro Duro) Ferrita (hierro- α . Blando) Cementita (carburo de hierro. Fe_3C) Perlita (88% ferrita, 12% cementita) Ledeburita (ferrita - cementita eutectica, 4.3% carbón) Bainita Martensita
Tipos de acero
Acero al carbono (0,03-2.1% C) Acero corten (para intemperie) Acero inoxidable (aleado con cromo) Acero micro aleado («HSLA», <i>baja aleación alta resistencia</i>) Acero rápido (muy duro, tratamiento térmico)
Otras aleaciones Fe-C
Hierro dulce (prácticamente sin carbón) Fundición (>2.1% C) Fundición dúctil (grafito esferoidal)

1.3.7.4 Elementos aleantes del acero y mejoras obtenidas con la aleación

Aunque la composición química de cada fabricante de aceros es casi secreta, certificando a sus clientes sólo la resistencia y dureza de los aceros que producen, sí se conocen los compuestos agregados y sus porcentajes admisibles.

Aluminio: se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. Todos los aceros aleados en calidad contienen aluminio en porcentajes pequeñísimos, variables generalmente desde 0,001 a 0,008%.

Boro: en muy pequeñas cantidades (del 0,001 al 0,0015%) logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro y mejorando la templabilidad. Es usado en aceros de baja aleación en aplicaciones como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial.

Cobalto: muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. El cobalto es un elemento poco habitual en los aceros. Se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.

Cromo: es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidable y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0,30% a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidable (con concentraciones superiores al 12%), etc. Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidable y refractarios; también se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.

Estaño: es el elemento que se utiliza para recubrir láminas muy delgadas de acero que conforman la hojalata.

Manganeso: aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material. Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formaría sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981° aprox.) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación. Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes de manganeso variables de 0,30 a 0,80%.

Molibdeno: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidable austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.

Nitrógeno: se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.

Níquel: una de las mayores ventajas que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad. El níquel además hace descender los puntos críticos y por ello, los tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los aceros aleados con níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación. En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para máquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno. El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidable y resistentes a altas temperaturas, en los que además de cromo se emplean porcentajes de níquel variables de 8 a 20%. Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El níquel se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.

Plomo: el plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0,15% y 0,30% debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0,5% debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente. Se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.

Silicio: aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.

Titanio: se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura.

Tungsteno: también conocido como wolframio. Forma con el hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas.

Vanadio: posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.

Zinc: es elemento clave para producir chapa de acero galvanizado.

Los porcentajes de cada uno de los aleantes que pueden configurar un tipo determinado de acero están normalizados por la ASTM.

1.3.7.5 Impurezas en el acero

Se denomina impurezas a todos los elementos indeseables en la composición de los aceros. Se encuentran en los aceros y también en las fundiciones como consecuencia de que están presentes en los minerales o los combustibles. Se procura eliminarlas o reducir su contenido debido a que son perjudiciales para las propiedades de la aleación. En los casos en los que eliminarlas resulte imposible o sea demasiado costoso, se admite su presencia en cantidades mínimas.

Azufre: límite máximo aproximado: 0,04%. El azufre con el hierro forma sulfuro, el que, conjuntamente con la austenita, da lugar a un eutéctico cuyo punto de fusión es bajo y que, por lo tanto, aparece en bordes de grano. Cuando los lingotes de acero colado deben ser laminados en caliente, dicho eutéctico se encuentra en estado líquido, lo que provoca el desgranamiento del material.

El resultado final, una vez eliminados los gases causantes, es una fundición menos porosa, y por lo tanto de mayor calidad.

Aunque se considera un elemento perjudicial, su presencia es positiva para mejorar la maquinabilidad en los procesos de mecanizado. Cuando el porcentaje de azufre es alto puede causar poros en la soldadura.

Fósforo: límite máximo aproximado: 0,04%. El fósforo resulta perjudicial, ya sea al disolverse en la ferrita, pues disminuye la ductilidad, como también por formar fe₃p (fosfuro de hierro). El fosfuro de hierro, junto con la austenita y la cementita, forma un eutéctico ternario denominado *esteradita*, el que es sumamente frágil y posee punto de fusión relativamente bajo, por lo cual aparece en bordes de grano, transmitiéndole al material su fragilidad.

Aunque se considera un elemento perjudicial en los aceros, porque reduce la ductilidad y la tenacidad, haciéndolo quebradizo, a veces se agrega para aumentar la resistencia a la tensión y mejorar la Maquinabilidad.

1.3.8 Desgaste

Es la degradación física (pérdida o ganancia de material, aparición de grietas, deformación plástica, cambios estructurales como transformación de fase o recristalización, fenómenos de corrosión, etc.) debido al movimiento entre la superficie de un material sólido y uno o varios elementos de contacto. El desgaste sobre una superficie se puede cuantificar midiendo la pérdida de material según su desplazamiento relativo. Existen diferentes tipos de desgaste en dependencia de la situación encontrada. Varios modelos de desgaste incluyen adhesión, abrasión, fatiga y corrosión. El desgaste aumenta cuando existe presión y movimiento entre superficies. Esto es de gran importancia debido a que es un factor determinante en la vida y desempeño de las máquinas que están expuestas a este tipo de deterioro, pudiendo variar los costos de manera verdaderamente significativa. La región más sensible a las agresiones del entorno es la superficie de un material. En comparación con otras causas de deterioro de un material, los problemas que afectan a la superficie debido al desgaste requieren un consumo energético mínimo debido a que son sólo los átomos de unas pocas capas superficiales y los enlaces que los unen entre sí, los que deben hacer frente a las fuerzas del entorno. El desgaste metálico es un fenómeno al cual están expuestos los metales, y que involucran el desplazamiento y el arranque de partículas en la superficie del metal, el tema de desgaste es algo complicado de estudiar debido a su complejidad y el número de factores necesarios para describirlo (Lansdown and Price, 1986). Además del efecto que tiene la lubricación en el proceso de desgaste, existen también otros factores muy importantes. Entre los distintos factores se tienen los metalúrgicos, los cuales involucran la dureza, tenacidad, constitución, estructura y composición química. También se tienen los factores operacionales, tales como los materiales en contacto, el modo y tipo de carga, la velocidad, la temperatura, la rugosidad superficial y la distancia recorrida. Por otro lado, se encuentran los factores externos como lo es la corrosión (Lansdown and Price, 1986). Según Lansdown and Price (1986): En general el incremento de la dureza disminuye el desgaste en un metal, pero la relación entre estos dos fenómenos es compleja. En el desgaste abrasivo hay evidencias de que el valor del desgaste en metales comercialmente puros y aceros tratados térmicamente es inversamente proporcional a su dureza. Hay una tendencia general de que cuando se incrementa la carga, se incrementa también el valor del desgaste; se habla también de un punto crítico en la mayoría de los sistemas, en los que más allá de haber un aumento en el valor del desgaste más bien ocurre primero un incremento de la carga. El valor del desgaste puede cambiar considerablemente con el cambio de la velocidad, pero no existe una relación general entre el desgaste y la velocidad. Un incremento en la velocidad puede conducir a un incremento o decremento del desgaste dependiendo del efecto de la temperatura en la superficie del material.

1.3.9 Normalización de las diferentes clases de acero

Como existe una variedad muy grande de clases de acero diferentes que se pueden producir en función de los elementos aleantes que constituyan la aleación, se ha impuesto, en cada país, en cada fabricante de acero, y en muchos casos en los mayores consumidores de aceros, unas Normas que regulan la composición de los aceros y las prestaciones de los mismos.

Existen otras normas reguladoras del acero, como la clasificación de AISI (de hace 70 años, y de uso mucho más extenso internacionalmente), ASTM, DIN, o la ISO 3506.

1.3.10 Tratamientos del acero

Tratamientos superficiales

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerles de la oxidación y corrosión. Muchos tratamientos superficiales están muy relacionados con aspectos embellecedores y decorativos de los metales.

Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

Cinchado: tratamiento superficial antioxidante por proceso electrolítico al que se somete a diferentes componentes metálicos.

Cromado: recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.

Galvanizado: tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.

Niquelado: baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.

Pavonado: tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como la tornillería.

Pintura: usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, etc.

Tratamientos térmicos

Un proceso de tratamiento térmico adecuado permite aumentar significativamente las propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y resistencia mecánica del acero. Los tratamientos térmicos cambian la microestructura del material, con lo que las propiedades macroscópicas del acero también son alteradas.

Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al acero son:

- Temple.
- Cementación.
- Nitruración.
- Revenido.
- Recocido.
- Cianuración.
- Normalizado.

Entre los factores que afectan a los procesos de tratamiento térmico del acero se encuentran la temperatura y el tiempo durante el que se expone a dichas condiciones al material. Otro factor determinante es la forma en la que el acero vuelve a la temperatura ambiente. El enfriamiento del proceso puede incluir su inmersión en aceite o el uso del aire como refrigerante.

El método del tratamiento térmico, incluyendo su enfriamiento, influye en que el acero tome sus propiedades comerciales.

Según ese método, en algunos sistemas de clasificación, se le asigna un prefijo indicativo del tipo. Por ejemplo, el acero O-1, o A2, A6 (o S7) donde la letra "O" es indicativo del uso de aceite (del inglés: *oil quenched*), y "A" es la inicial de aire; El prefijo "S" es indicativo que el acero ha sido tratado y considerado resistente al golpeo (*Shock resistant*).

1.4 Conceptos básicos de Resistencia de Materiales, aplicados al diseño de tuberías.

1.4.1 Definición de Resistencia de Materiales

La resistencia de materiales clásica es una disciplina de la ingeniería mecánica e ingeniería estructural que estudia los sólidos deformables mediante modelos simplificados. La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin fallar (romperse), adquirir deformaciones permanentes (plastificarse) o deteriorarse de algún modo.

Para el diseño mecánico de elementos con geometrías complicadas la resistencia de materiales suele ser insuficiente y es necesario usar técnicas basadas en la teoría de la elasticidad o la mecánica de sólidos deformables más generales. Esos problemas planteados en términos de tensiones y deformaciones pueden entonces ser resueltos de forma muy aproximada con métodos numéricos como el análisis por elementos finitos.

1.4.2 Esfuerzo interno

En ingeniería estructural, los esfuerzos internos son magnitudes físicas con unidades de fuerza sobre área utilizada en el cálculo de piezas prismáticas como vigas o pilares y también en el cálculo de placas y láminas.

Definición

Los esfuerzos internos en una sección plana se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección. Así, por ejemplo, los esfuerzos sobre una sección transversal plana de una viga es igual a la integral de las tensiones t sobre esa área plana. Normalmente se distingue entre los esfuerzos perpendiculares a la sección de la viga (o espesor de la placa o lámina) y los tangentes a la sección de la viga (o superficie de la placa o lámina):

Esfuerzo normal

Normal o perpendicular al plano considerado, es el que viene dado por la resultante de tensiones normales σ , es decir, perpendiculares, al área para la cual pretendemos determinar el esfuerzo normal.

Esfuerzo cortante

Tangencial al plano considerado, es el que viene dado por la resultante de tensiones cortantes τ , es decir, tangenciales, al área para la cual pretendemos determinar el esfuerzo cortante.

Para poder explicar mejor el concepto de esfuerzo es necesario tomar un elemento diferencial de un cuerpo. Debido a que las fuerzas internas pueden presentarse en las tres direcciones posibles (x,y,z), el elemento diferencial será un elemento diferencial volumétrico.

Cada una de las caras tiene un diferencial de área, las fuerzas que son normales a esa cara generan un esfuerzo normal

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

y las fuerzas que son tangentes al elemento diferencial generan esfuerzos cortantes

$$\tau = \frac{V}{A}$$

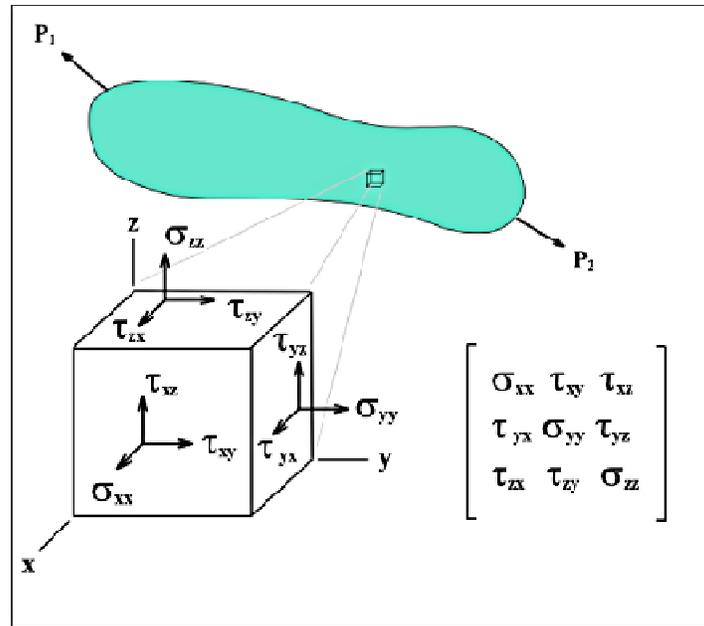


Fig. 3.13 Representación gráfica de las tensiones en un punto de un cuerpo.

1.4.3 Torsión mecánica

En ingeniería, la torsión se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas. La torsión se caracteriza geoméricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas. En lugar de eso una curva paralela al eje se retuerce alrededor de él. (ver Fig. 1)

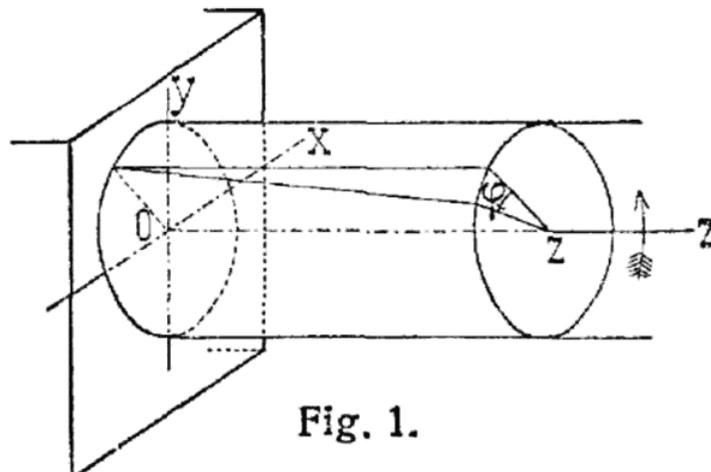


Fig. 1.

Fig. 3.14 Viga circular sometida a torsión

2. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE TUBERIAS

2.1 Conceptos y principios básicos para el diseño de tuberías.

2.1.1 Normatividad

Las normas más utilizadas dentro del diseño de tuberías se han elaborado en Estados Unidos. Estas normas pertenecen a las principales asociaciones de ingeniería tales como ANSI/ASME y la norma correspondiente al API. Ahora, ¿qué y quienes son estas instituciones?

ANSI: American National Standards Institute, es decir 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 regula los estándares y códigos de ingeniería que apliquen para América en cualquier rama del diseño mecánico, ya sea para fabricación y/o construcción.

API: American Petroleum Institute, es la entidad estadounidense que se encarga de regular el diseño de plantas industriales principalmente dedicadas al manejo del petróleo y sus derivados, y para el área de tuberías, rige las normas para los sistemas enterrados y los gasoductos en América, además de los planes para sellos mecánicos de bombas.

ASTM: American Standards of Testing Materials: Institución que regula los códigos normas y estándares para las pruebas a realizar en los materiales en América. Una de sus principales aportaciones ha sido la estandarización de Aceros.

Las normas ANSI y las ASME actualmente son las mismas, no existe diferencia alguna entre ellas, al menos por lo que concierne al diseño de tuberías; esta aclaración se da debido a que diferentes autores utilizan las siglas de una o de otra, sin embargo se rigen por el mismo criterio, es decir, la norma para el diseño de bridas se da conforme a ANSI B16.5, que será la misma norma que por ASME B16.5. En el campo del diseño de tuberías las normas ANSI/ASME que interesan especialmente son:

ANSI B31.1 Para de Centrales Térmicas e instalaciones de producción de vapor y/o energía.

ANSI B31.3 Para plantas petroquímicas

ANSI B31.4 Para construcción de oleoductos.

Estos tres códigos son de la misma sección de la norma que se titula “Código para tuberías a presión”, por lo que muchas de sus normas son comunes.

Además existen diferentes apartados para el diseño mecánico, operación instalación y mantenimiento de los componentes de tuberías. Por ejemplo: Si la tubería es de acero deberá cumplir la norma **ANSI B36.10**, si es de acero inoxidable la norma a cumplir será la **ANSI B 36:19**.

2.1.2 Materiales utilizados en tuberías

La gama de materiales utilizados en el diseño de tuberías es muy amplia, sin embargo, destacan cuatro grupos:

Acero al Carbono.- Este acero es un compuesto de hierro (Fe) con un porcentaje de carbono menor del 1,7% (habitualmente entre 0,3 a 0,4%) y cantidades pequeñas y variables de Manganeso (Mn), Fósforo (P), Azufre (S) y Silicio (Si). Es resistente a altas temperaturas, resistente al choque. Tiene resiliencia, tenacidad, mecanizabilidad, y sobre todo es forjable y soldable. Un tipo habitualmente utilizado en tuberías es el Acero ASTM A 106, grado A o B.

Acero aleado.- Este acero es un acero al carbono que además tiene una proporción menor del 10% de Cromo (Cr) y generalmente algo de Níquel (Ni) y/o algo de molibdeno (Mb). Tiene las mismas propiedades que el acero al carbono pero la resistencia a altas temperaturas y la tenacidad aumentan mucho. La adición de Cr y Ni le dan mayor resistencia a la corrosión. Es también soldable y forjable. Un acero bastante utilizado para tuberías es el ASTM A 335, grado P7.

Acero Inoxidable.- Es un acero aleado con una proporción de Cr que supera el 10%. Tiene las mismas propiedades que el acero aleado, pero aumentadas, sobre todo la resistencia a la corrosión. Tiene un aspecto brillante y pulido. Un acero de este tipo frecuentemente utilizado es el ASTM A 312 grado TP 304.

Fundición o hierro fundido.- La fundición es un compuesto de hierro (Fe) con un porcentaje de carbono (C) superior al 1,7%, aunque normalmente del 3% y pequeñas cantidades de Si, Mn, S y Ph. Tiene bastante menor resistencia a altas temperaturas, menor resiliencia y menor tenacidad. Es fundible pero no es ni forjable ni soldable. (La fundición es posible soldarla, pero **nunca** se hace en el diseño).

Una forma de clasificar estos materiales por su precio de mayor a menor sería:

- Acero Inoxidable
- Acero aleado
- Acero al carbono
- Fundición

2.1.3 Introducción a las tuberías

Como breviarío cultural: las primeras tuberías utilizadas por el hombre para conducir el agua se hicieron de caña, es por ello que ahora de manera coloquial se les llama cañerías, y realmente eran conductos de tipo media caña. Conforme el hombre evoluciono logró manipular el cobre, y los primeros conductos metálicos conocidos estaban hechos de este material, ahora procedamos con las tuberías actuales.

De inicio debemos saber distinguir entre una tubería y un tubo, una manera fácil de distinguirlos es mediante el número de cedula y su diámetro exterior. Un tubo siempre se identificara por su espesor de pared y su diámetro exterior, es decir lo que varia es el diámetro interior; su uso principal es con fines estructurales y no esta diseñado para soportar presiones internas ni externas. Una tubería se utiliza para transportar fluidos o sólidos, o combinaciones de estos a través de ella y siempre tendrá una numero de cedula que define su espesor de pared. En las tuberías el diámetro interior es lo que importa ya que los cálculos para su uso se hacen basándose en un diámetro constante, por lo que la variación siempre la tendremos en el diámetro exterior.

Como regla general y básica se debe saber que para las tuberías de hasta 12" de diámetro nominal (DN) el diámetro exterior (DE) será de mayor dimensión que su diámetro nominal, a partir de 14" el diámetro nominal de la tubería será igual al diámetro exterior de la misma. Ejemplo: si yo tengo una tubería de 2" NPS (Nominal Pipe Size, así se encontrara en las tablas) su diámetro exterior tomado de las tablas será de 2 3/8", pero para una tubería de 20"NPS será de 20" el diámetro exterior.

En principio, por cada tamaño de tubería se creó una gama con tres espesores (cedulas) distintos, estos son llamados espesores de manufactura y aun se utilizan:

- **STD o Espesor normal** (STANDARD WEIGHT)
- **XS o Espesor grueso** (EXTRA STRONG)
- **XXS o Espesor doble grueso** (DOUBLE EXTRA STRONG)

Estos primeros espesores no se adaptaban bien a las distintas presiones internas por lo que se completo dicha gama con la creación del número de serie (numero de cedula) El número de serie cumple la siguiente expresión

:

$$SCH \ No. = \frac{P}{S}$$

Donde:

P es la Presión interna

S es la tensión de trabajo del material de la tubería

Las tuberías fabricadas sin soldadura tienen una considerable tolerancia en el espesor dependiendo de los materiales. En el caso de acero al carbono la tolerancia en el espesor de la pared es -12,5%, es decir, la tubería puede tener un espesor un 12,5% menor del que le corresponde según tablas. La tolerancia en el diámetro exterior de las tuberías es tan pequeña, que no se considera.

De acuerdo a lo anterior se han clasificado las tuberías por su número de cedula (se usan las siglas SCH para identificarlas), siendo los más comunes:

- Cedula 40 (Sch 40)
- Cedula 80 (Sch 80)
- Cedula 160 (Sch 160)

Según el diámetro nominal de la tubería y el número de cedula o peso de manufactura, el espesor de pared de la tubería varía. Para conocer el espesor de la tubería (si es que fuera necesario) existen tablas estandarizadas conforme al código ASME, estas se pueden encontrar en la literatura de tuberías o en los catálogos de proveedores de tubería.

El proceso de fabricación de la tubería varía de acuerdo al material de la misma. Como regla general las tuberías metálicas se pueden encontrar en el mercado en las siguientes presentaciones:

- Tubería soldada con un solo cordón lineal (seamwelded pipe)
- Tubería soldada en espiral o helicoidal (spiral welded pipe)
- Tubería sin soldadura (seamless pipe)

Además las tuberías se suministran en tramos de:

- Largo normal (Random Length) de 6 metros (20 pies)
- Largo doble (Double random length) de 12 metros (40 pies)

Cabe tener en cuenta que los materiales más usados son los metálicos, sin embargo, existen otros materiales como los cerámicos utilizados principalmente en la industria farmacéutica.

Cada tubería debe de ser unida de alguna manera, por medio de conexiones o uniones soldables o por medio de uniones desmontables, para ello existen tres tipos básicos de conexión para tuberías:

La soldadura o unión a tope (BW butt weld).- este tipo de ensamble se utiliza para las tuberías de diámetros mayores (3" NPS en adelante) y puede tener dos tipos de preparación: biselada o plana.

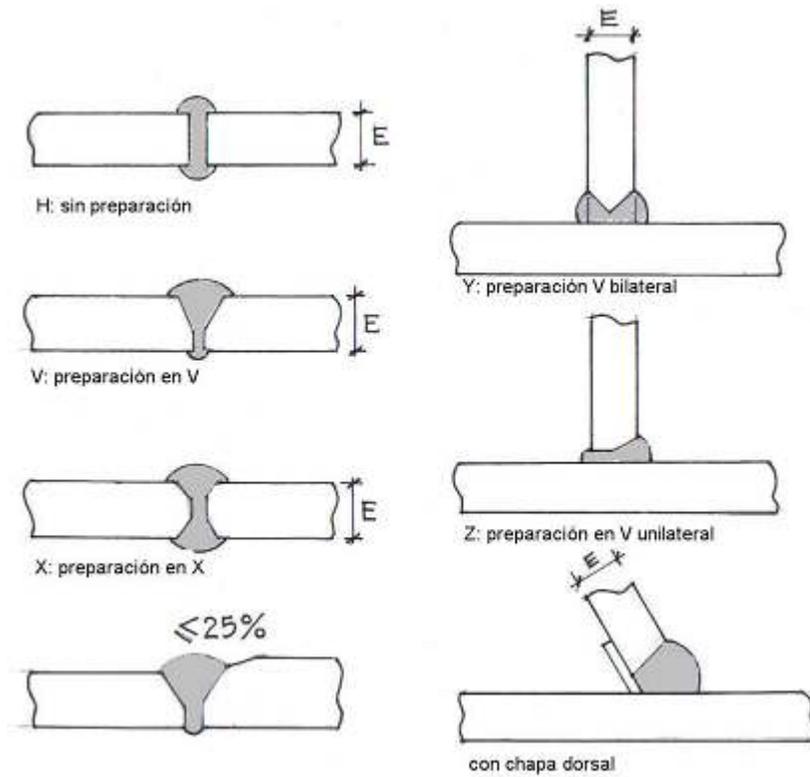


Fig. 4.1 Cordón de soldadura a tope

La soldadura o unión de caja (SW o socketweld).- se utiliza para tuberías menores, consiste en hacer la soldadura por medio de una caja, es decir la tubería se deja con una preparación plana y se inserta en una caja para después ser soldada por la parte externa entre la caja y la tubería.

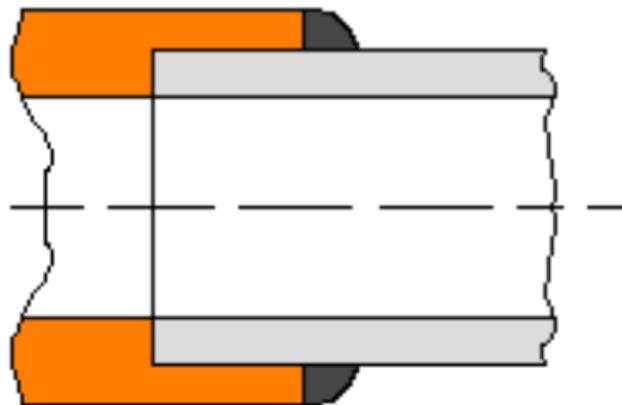


Fig. 4.2 Cordón de soldadura de caja

El acoplamiento por medio de rosca o preparación roscada (NPT nominal pipe threaded).- es muy usado para la tubería galvanizada, ya que esta no es común soldarla, consiste en dejar preparaciones rosca macho (MTE, Male Threaded End) o hembra (FTE, Female Threaded End) para poder hacer el ensamble. En algunos casos se puede o debe soldar después de su ensamble (drenajes y venteos para la prueba hidrostática).



Fig. 4.3 Preparación roscada (NPT)

2.1.4 Introducción a las bridas

Las bridas se utilizan para realizar una unión desmontable en tuberías grandes, es decir, de 2" NPS y mayores, aunque también y en algunos casos excepcionales se usan en diámetros menores, como es el caso de las conexiones a los equipos e instrumentos.

A cada uno de los tubos que se quiere unir, se le acopla la brida mediante soldadura. Entre ambas bridas se interpone una junta (empaques) de material y dimensiones adecuadas y se hace pasar un espárrago por cada pareja de barrenos que, por regla, deben de ser concéntricos entre sí. Por último se aprietan fuertemente estos espárragos y queda la unión hecha.

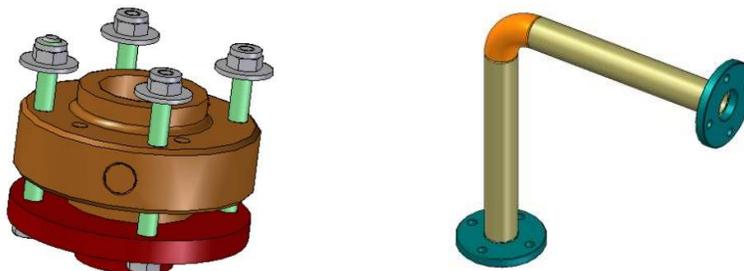


Fig. 4.4 Uniones o juntas por medio de bridas

2.1.4.1 Material de las bridas

Las bridas que se utilizan en diseño de tuberías serán de alguno de estos dos tipos:

- **ACERO FORJADO:** puede ser de acero al carbono, aleado o inoxidable. Se utilizan frecuentemente sueltas para unirse a una tubería, también se encuentran formando parte de otros elementos como válvulas, filtros, carcasas de bombas, etc. En este caso todo el conjunto es de acero moldeado.
- **FUNDICIÓN:** Se encuentran prácticamente siempre formando parte de algún elemento como válvulas, filtros, etc., siendo todo el conjunto de fundición.



Fig. 4.5 Ejemplos de Bridas

2.1.4.2 Tipos de Bridas

Bridas de cuello: Se utilizan normalmente en tuberías grandes (mayores de 2"), aunque no es muy corriente que se utilicen por encima de 12". Su forma de unión con la tubería se realiza mediante soldadura a tope. Es una brida cara, tanto en cuanto a coste como al montaje, pero proporciona una unión muy robusta con el tubo, además de soportar grandes momentos.

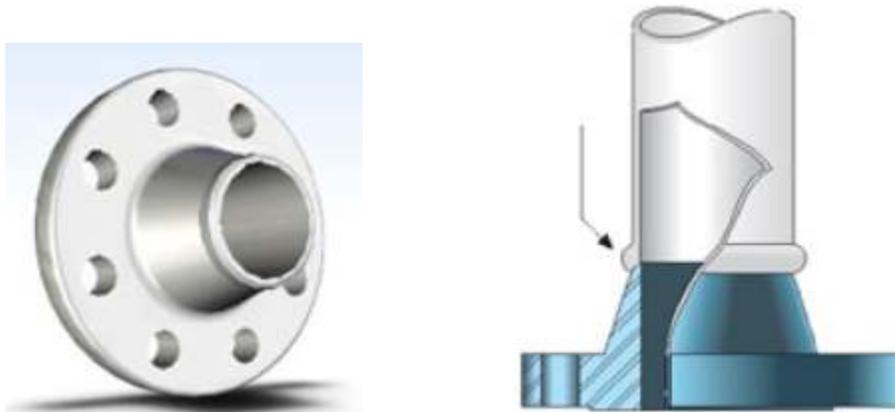


Fig. 4.6 Brida de cuello soldable

Bridas de caja: En estas bridas, la unión entre la brida y el tubo se realiza mediante el procedimiento de enchufe y soldadura. Este procedimiento sólo se utiliza en tuberías pequeñas (1 1/2" y menores).

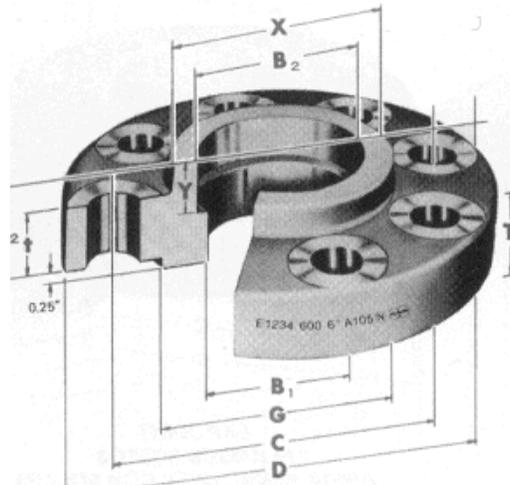


Fig. 4.7 Brida de tipo caja soldable

Bridas deslizantes: También llamadas de anillo, estas bridas tienen la característica de tener un agujero central de una diámetro algo superior al diámetro exterior de la tubería. De esta forma se pueden deslizar por la tubería hasta alcanzar la posición adecuada, para posteriormente realizar dos soldaduras a solape, una por fuera de la brida y otra por dentro. Se suelen utilizar en tamaños muy grandes de tuberías (14" y superiores). Su coste es inferior al de las bridas de cuello soldable.

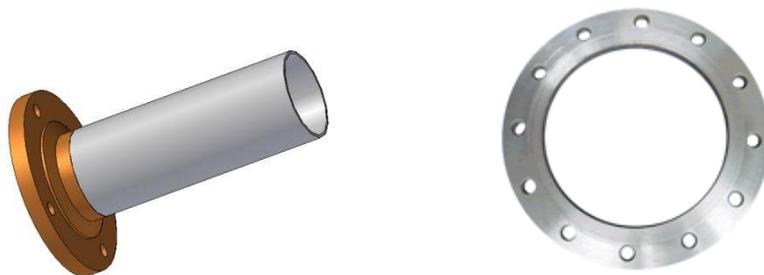


Fig. 4.8 Brida Deslizante

Bridas Locas: Estas bridas se utilizan en los casos en que por utilizarse un fluido muy corrosivo, los materiales que están en contacto con él tienen que ser de gran calidad: Acero inoxidable, Aluminio, etc. Se utilizan en tuberías de 2" y mayores. El motivo de su utilización en lugar de las de Cuello es disminuir la cantidad de material de alta calidad empleado en las mismas. Estas bridas tienen dos partes:

- STUB END: Debe ser de calidad similar a la de la tubería y del mismo material de esta, por estar en contacto con el fluido corrosivo y se suelda a tope. Es bastante ligero.
- Brida: por no estar en contacto con el fluido corrosivo no necesita ser de material resistente a la corrosión. Habitualmente es de Acero al Carbono por ser éste más barato.

Una característica importante de este tipo de bridas es que la válvula no queda unida solidariamente a la tubería, sino que la válvula puede girar alrededor de su eje, arrastrando en el giro a las bridas locas que tienen a los lados, mientras que las tuberías, junto con los dos STUB END permanecen fijos.

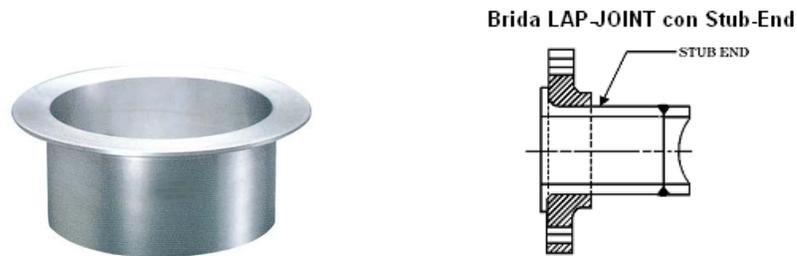


Fig. 4.8 Stub end y Brida loca (Lap Joint)

Bridas Reductoras: Son bridas cuyo diámetro exterior, el diámetro del círculo de pernos, el grosor de la brida, etc., corresponden a un determinado diámetro nominal, y sin embargo la tubería a la cual están unidas, es de un diámetro nominal menor.

Las bridas reductoras pueden cumplir dos funciones, la de formar una unión desmontable y la de efectuar el paso de una tubería de un determinado diámetro nominal a otro menor. Tiene una desventaja y es que se produce una variación brusca de la sección de paso del fluido, y por ello una pérdida de carga. Normalmente se utilizan para unir una tobera de diámetro nominal menor con otra de diámetro nominal mayor para que la pérdida de carga producida sea mucho menor. Este tipo de brida puede resolver el problema de tener espacio insuficiente. Cualquier tipo de brida puede ser a su vez reductora.



Fig. 4.9 Brida reduccion

Bridas Roscadas: La unión entre la brida y el tubo se realiza mediante una unión roscada. Se utiliza en tuberías pequeñas de menos de 1 1/2".



Fig. 4.10 Bridas Roscadas NPT

Bridas Ciegas: Se utilizan para cegar mediante una tapa desmontable el extremo de una tubería. De esta forma podremos posteriormente conectar otra tubería y también tenemos la posibilidad de desmontar la tapa para hacer una limpieza. Una brida ciega consiste en una placa circular plana cuyo diámetro exterior coincide con el diámetro exterior de la brida a la cual se acopla y está dotada del mismo número de taladros que ésta, teniendo ambas el mismo DIÁMETRO DEL CIRCULO DE PERNOS.



Fig. 4.11 Bridas Ciegas

2.1.4.3 Tipos de caras de las Bridas

Brida de cara plana.- Es una brida en la que toda la cara está contenida en un sólo plano. De entre todos los materiales de bridas que hemos visto, esto es, acero forjado y fundición, este tipo de cara sólo se da en bridas de fundición de baja presión, es decir, de las series 25# y 125#. (# es la nomenclatura utilizada para indicar el libraje de la presión que lleva el fluido dentro de la tubería)

La junta o empaque para una brida de cara plana, tendrá la forma de corona circular con los diámetros exterior e interior coincidiendo con los correspondientes de la brida, y tendrá el mismo número de barrenos que ésta, y el mismo diámetro del círculo de pernos.

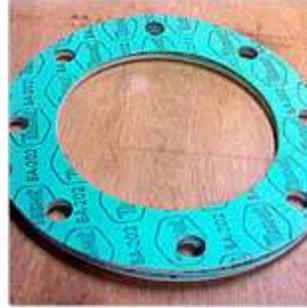


Fig. 4.12 Brida y empaque cara plana

Brida de cara realzada.- En este tipo de bridas, la cara de la brida no está contenida en un sólo plano, sino que la parte central de la misma sobresale del resto de la cara. El empaque correspondiente a una brida de cara resaltada tendrá sus diámetros exterior e interior coincidiendo con el exterior e interior del resalte respectivamente. Este tipo de cara se utiliza para obtener mayor seguridad en el sello que con las bridas de cara plana, pues con el mismo apriete de las tuercas de los pernos, se obtiene mayor presión en el empaque.

Si tuviéramos conectar la boquilla de un equipo hecha en fundición, cuya brida sea de cara plana con una tubería de acero, cuya brida por tanto, será de acero forjado y con cara resaltada, deberemos rebajar el resalte de la brida de acero y convertirla en una de cara plana, pues de lo contrario se corre el peligro de que al apretar las tuercas, se parta la brida de fundición.

El Código ANSI B31.3 sólo permite el acoplamiento de una brida de fundición de cara plana con otra brida de cara resaltada, cuando los pernos empleados tienen una CARGA DE ROTURA no superior a la del material ASTM A 307 Gr. B. Sólo en material de fundición se dan simultáneamente las bridas con cara plana y las bridas con cara resaltada.

Las bridas de acero forjado son siempre con cara realzada, a menos que se modifiquen para acoplar a una fundición de cara plana. En las bridas de fundición, cuyas dimensiones vienen definidas por la norma ANSI B16.1, se establecen cuatro rangos adecuados a diferentes presiones. Estos rangos reciben las siguientes denominaciones:

- 25 #
- 125 #
- 250 #
- 800 #

Las bridas de 25 # y 125 # son de cara plana (adecuadas a presiones relativamente bajas) y las de 250 # y 800 # son de cara realzada (adecuadas a presiones más altas).

En las bridas de acero forjado existen rangos diferentes adecuados a diferentes presiones. Estos rangos reciben las siguientes denominaciones:

- 150 #
- 300 #
- 600 #
- 900 #
- 1500 #
- 2500 #

En ninguno de estos rangos se utilizan bridas de cara plana a menos que una de estas bridas vaya acoplada a una brida de fundición de cara plana. En este caso, en la práctica se utiliza una brida de acero de cara realzada y se elimina el resalte con un torno.

Brida con cara para empaque tipo anillo (RTJ): En este tipo de caras, el empaque esta constituido por un anillo de sección oval u octogonal, y se aloja parcialmente en las ranuras de las bridas.

Es un tipo de cara muy apropiado para aquellos casos en que es difícil e importante obtener buena estanqueidad en la unión desmontable. El anillo siempre es metálico. De un metal blando en relación con el de las bridas. Puede ser de sección oval u octogonal. Los anillos de sección oval pueden ir también montados en bridas con ranuras de sección octogonal. Se utilizan principalmente en líneas con muy altas presiones.

2.1.5 Válvulas

Introducción

Las válvulas son elementos que están instalados en una tubería y que pueden realizar alguna de las siguientes funciones tanto de forma automática como por accionamiento manual:

1. Impedir completamente la circulación de un fluido por la tubería o, por el contrario permitir su paso sin ningún obstáculo.
2. Variar la pérdida de carga que sufre el fluido al atravesar la válvula. Se regula el caudal.

3. Permitir la circulación del fluido a través de la válvula en un único sentido.
4. Permitir que pase el fluido a través de la válvula, únicamente cuando la diferencia de presión a un lado y a otro de la misma sobrepasa un cierto valor, previamente establecido.
5. Permitir el paso del fluido a través de la válvula, cuando dicho fluido se presenta en forma líquida, pero no si se presenta en forma de gas o vapor, o viceversa.

Las válvulas pueden estar unidas a las tuberías mediante bridas, soldadura a tope, soldadura de caja, unión tipo rosca u otros procedimientos.

Para profundizar mas en el estudio de estos componentes, recomiendo un estudio a detalle de cada uno de los tipos de válvula, en este capítulo solo se mencionan los mas importantes usados para el diseño de una tubería y sus principales características.

Según sea la forma de unión de una válvula con las tuberías que con ella conectan, así serán los extremos de la válvula.

Estos extremos pueden ser, bridados, biselados para soldadura a tope, con caja para soldadura de este tipo de extremos roscados tipo hembra o macho, etc. En el caso de los extremos roscados son normalmente hembra.

Los materiales que se utilizan más frecuentemente para la fabricación de válvulas son:

- Fundición
- Acero moldeado
- Acero forjado
- Bronce

El bronce y el acero forjado se utilizan preferentemente en válvulas de pequeño tamaño (menores de 3"), y la fundición y el acero moldeado en válvulas de 2" o mayores.

Entre los diferentes elementos que componen una válvula hay una serie de ellos que exigen materiales de calidad muy especial en su construcción, este es el caso de los asientos, la compuerta(macho), el volante, el vástago, el bonete etc. El conjunto de materiales utilizados para estos elementos se llama guarnición de válvula, internos de la válvula o en lenguaje mas técnico "el TRIMM de la válvula.

Los componentes de una válvula varían de acuerdo al tipo de válvula de que estemos hablando, sin embargo todas (con excepción de las válvulas check) tienen los siguientes componentes:

- Vástago.- es una flecha conectada al macho de la válvula, es el medio de transmisión de fuerza aplicada al volante hacia el macho o compuerta
- Internos o asiento.- es la parte de la válvula por la que pasara el fluido
- Macho o compuerta.- es la parte móvil de la válvula que permitirá o no el paso de flujo a través de ella, depende del volante y del vástago
- Bonete.- es el recubrimiento que lleva la válvula para que los internos no se dañen
- Volante.- es el medio principal par el uso u operación de la válvula, es el componente que recibe la fuerza para translimitarla al macho dentro de la válvula por medio del vástago (para el caso de las de control este puede o no ser prescindido)

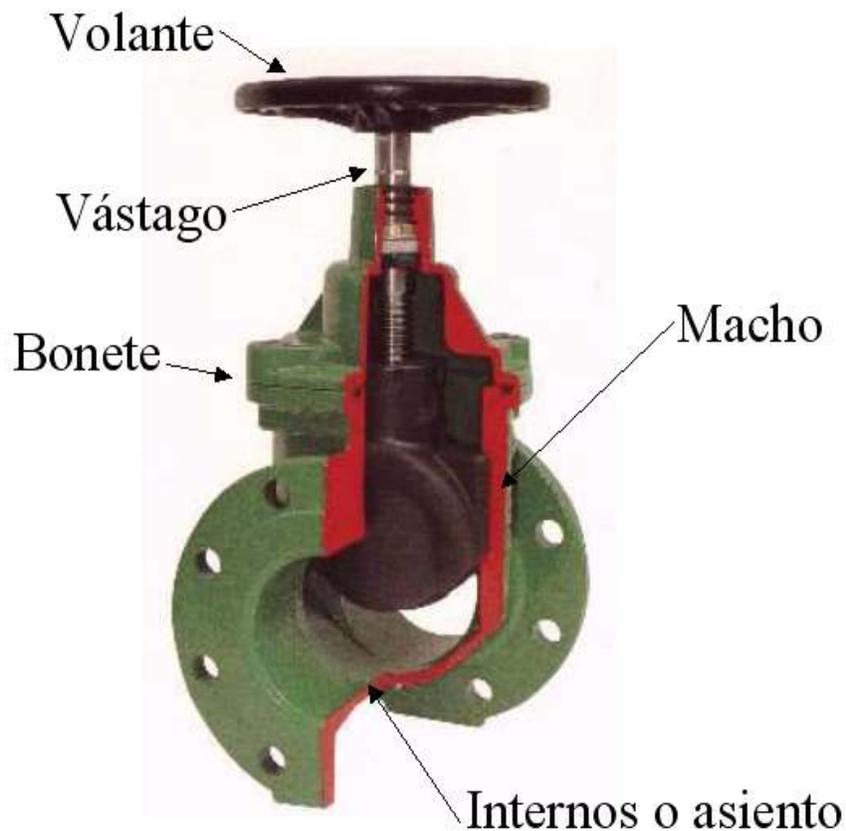


Fig. 4.13 Principales componentes de una Válvula

Los rangos de presión y temperatura en las válvulas bridadas son, en general, los mismos que corresponden a las bridas de unión.

Para las válvulas con extremos roscados o de enchufe(caja) y soldadura, los rangos de presión y temperatura no se ajustan generalmente a norma, y existen diferencias entre los fabricantes, aunque algunos se ajustan a los rangos de presión y temperatura definidos en la norma API 602.

Ahora veamos los principales tipos de válvula:

2.1.5.1 Válvulas de Bola

Las válvulas de bola se consideran un caso particular de las válvulas de macho, su característica especial es que el macho tiene forma de esfera. La ventaja es que el momento a aplicar es mucho menor que en las de macho. Es decir, se necesita menos fuerza para operarlas. Tienen una excelente estanqueidad, se pueden regular y cuando están completamente abiertas tienen una pérdida de carga reducida.



Fig. 4.14 Válvula de Bola

2.1.5.2 Válvula de doble vía

Estas válvulas permiten controlar la dirección por la que queremos que vaya el flujo de una tubería. Estas válvulas presentan el inconveniente de tener una extensa superficie de contacto entre el macho y el cuerpo de la válvula, lo cual hace que la fuerza a aplicar para accionar la válvula sea bastante grande, provocando que esta se atasque con facilidad. Para evitar estos inconvenientes se pueden seguir tres procedimientos:

- **Válvulas lubricadas**
- **Válvulas no lubricadas**, pero dotadas de un mecanismo para despegar el macho del cuerpo antes de cada maniobra.
- **Válvulas con el cuerpo** recubierto de teflón o de un producto similar cuyo coeficiente de rozamiento sea muy bajo.

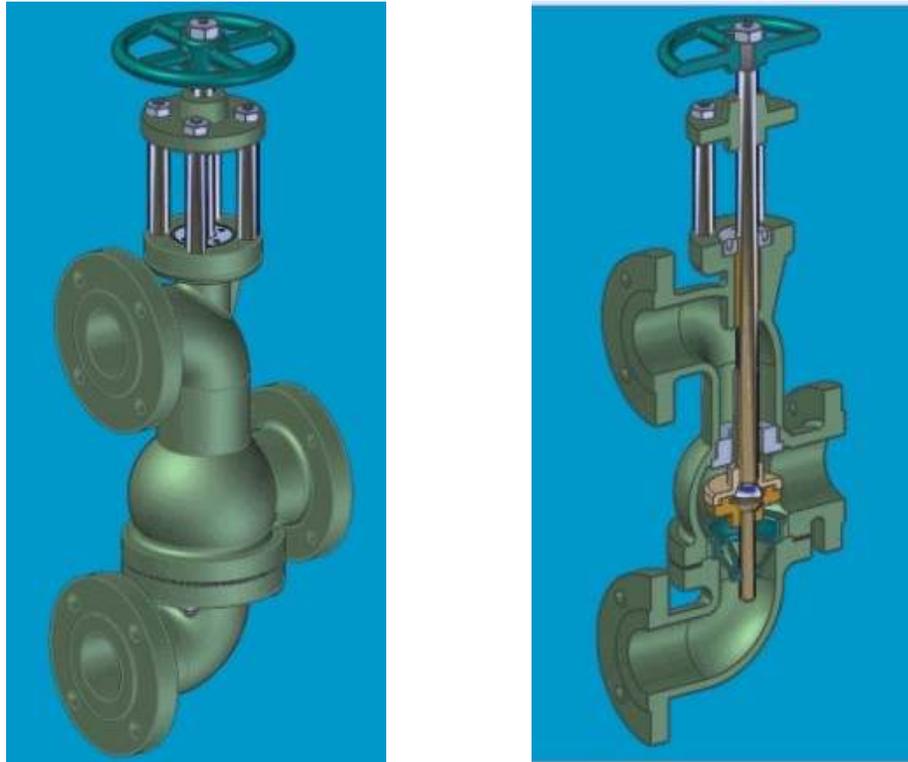


Fig. 4.15 Válvula de doble vía

2.1.5.3 Válvulas de Seguridad

Se utilizan para proteger a los equipos o tuberías a los cuales van conectados de un exceso de presión. Para realizar esta función, normalmente están cerradas por la acción de un muelle y se abren cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la válvula alcanza un cierto valor previamente establecido.

Existen fundamentalmente dos tipos de válvulas de seguridad, que son:

- **Válvula de seguridad:** se utiliza generalmente para gases y vapores y se abren totalmente y al instante cuando en el interior del equipo que protegen se alcanza la presión de disparo y no se vuelven a cerrar hasta que la presión ha disminuido un determinado porcentaje, no menos de un 2%.

- Válvula de relevo: se utiliza para líquidos y se abren sólo lo suficiente para evacuar la cantidad de líquido necesaria para reducir la presión en el interior del equipo al que están protegiendo



Fig. 4.16 internos de una Válvula de Relevo

2.1.5.4 Válvula de Globo

Su aplicación principal es la regulación de caudal. Al pasar el fluido a través de una válvula de globo, se produce una pérdida de carga considerable, aun estando completamente abiertas. Además de que regulan con precisión el caudal, estas válvulas ofrecen buena estanqueidad si el tipo de sello y asiento son los adecuados. Solamente se pueden instalar con el sentido de flujo en un determinado sentido, que viene marcado por la válvula, y que suele ser aquel en el cual la presión del fluido actúa sobre la parte inferior del disco, al cerrar la válvula.

Este tipo de válvulas es frecuentemente utilizado para válvulas de control, solo se cambia el volante por un método de accionamiento (diafragma, pistón neumático o hidráulico, o un servomotor) controlado a distancia o automatizado y listo.

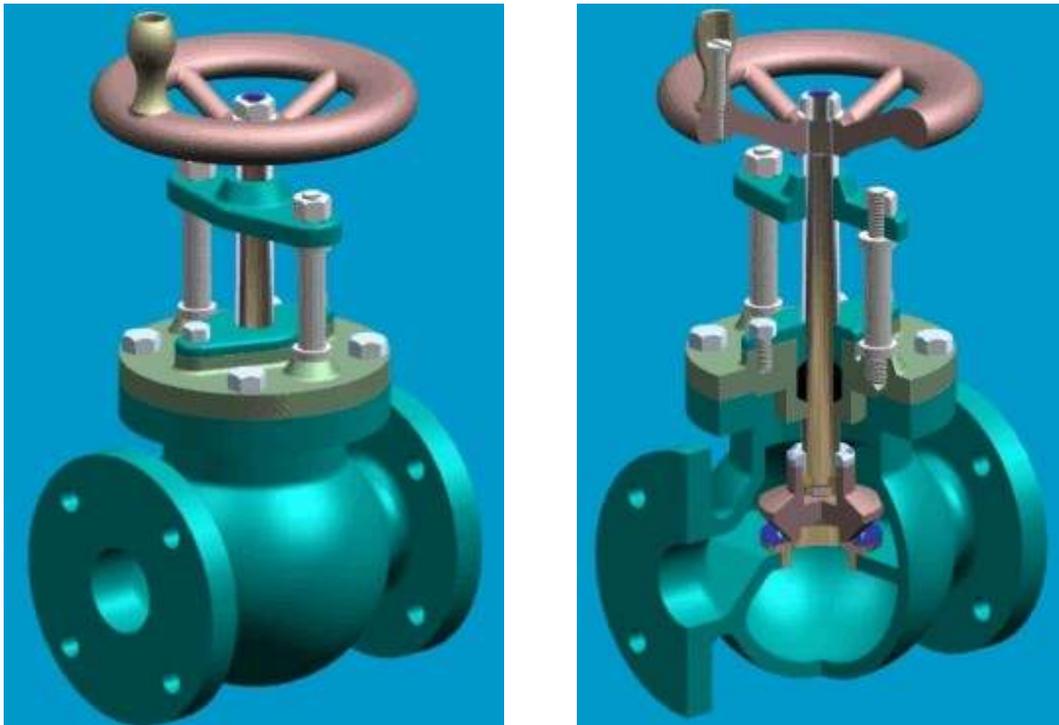


Fig. 4.17 Válvula de Globo

2.1.5.5 Válvula de Compuerta

Las válvulas de compuerta tienen como función el impedir totalmente o permitir sin restricciones el paso del fluido a través de ellas. Se caracterizan por efectuar el cierre mediante el movimiento de una compuerta perpendicular al eje de la válvula. Estas válvulas no deben utilizarse para regular el caudal del fluido ya que se averían rápidamente, además de que la regulación no es exacta.

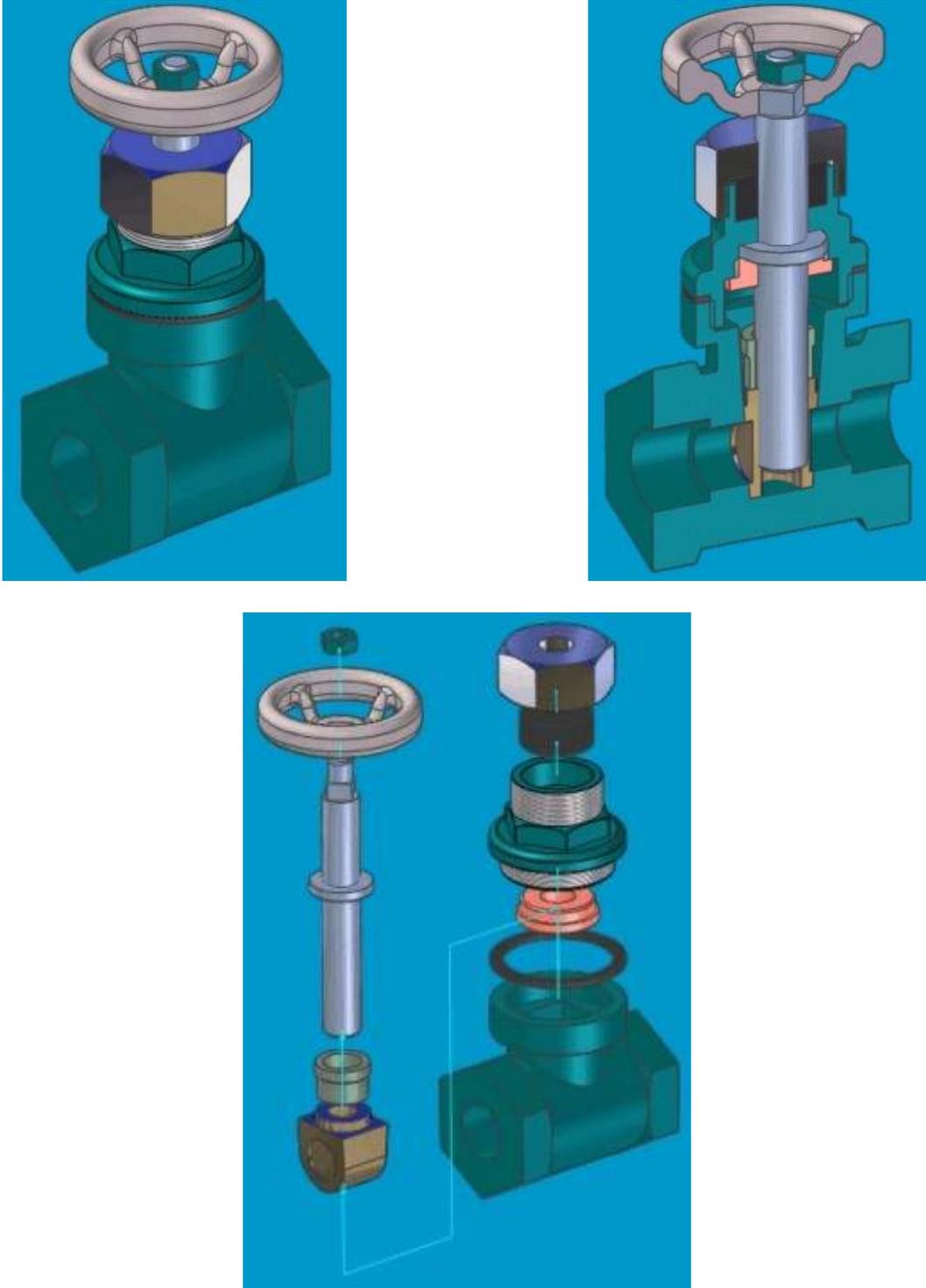


Fig. 4.18 Internos de una válvula de compuerta

Las dimensiones entre caras para las válvulas bridadas o de extremos biselados, en fundición o acero vienen dadas por la **Norma ANSI B 16.10** "Dimensiones Cara a Cara para válvulas ferrosas".

2.1.5.6 Válvula de mariposa

Este tipo de válvula se utiliza principalmente en servicios (agua Gas, vapor de baja) es un tipo de válvula de compuerta, su característica principal es que se monta entre bridas, pero no es recomendable utilizarla para servicios a altas presiones ya que se dañan muy rápido.



Fig. 4.19 Válvula de Mariposa tipo Wafer

2.1.5.7 Válvula de plug (macho)

Las válvulas de 'macho' también son conocidas por su nombre inglés "Plug valves" por el obturador. El obturador puede ser cilíndrico o cónico. Aunque las válvulas de bola son de alguna forma un tipo de válvula macho, son tratadas como otra clase. La válvula de macho se usa en servicio de apertura / cierre y desviación de flujos, ya que pueden tener una configuración multipuerto. Pueden ser utilizadas en fluidos con sólidos en suspensión. Son la clásica válvula usada como "llave de paso" para servicios de gas en el hogar, su operación puede ser por medio de volante o palanca

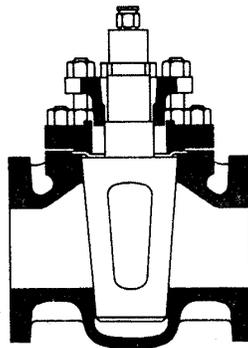


Fig. 4.20 Válvula de macho

2.1.5.8 Válvula de retención (check)

Son válvulas usadas como seguridad para los equipos, ayudan a proteger de un regreso de flujo (o inversión de la dirección del flujo) a los equipos y a la misma tuberías, su principal aplicación se encuentra en las descargas de las bombas, para evitar que, cuando se pare el sistema, la fuerza provocada por el regreso del flujo hacia la bomba o equipo de impulsión golpee directamente a este y lo dañe. Existen varios tipos de válvulas check, las más comunes son:

- Tipo Wafer.- se caracteriza por ser colocada entre bridas y no tener un cuerpo tan robusto como el de las demás, es útil en espacios reducidos pero no a altas presiones



Fig. 4.21 Válvula de no retorno tipo Wafer check

- Tipo columpio.- la más común utilizada en el diseño de tuberías amplia cantidad de tipos de columpio (varían de acuerdo al proveedor) funciona con el principio de una bisagra.

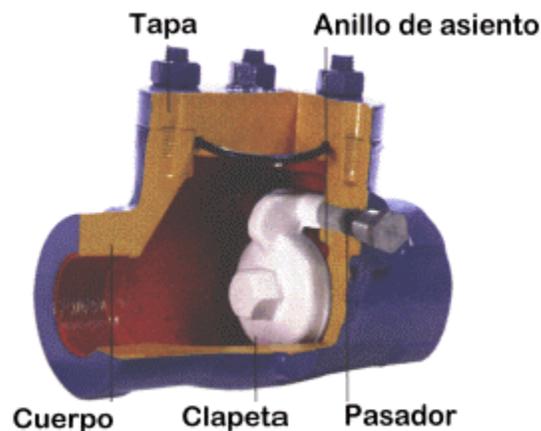


Fig. 4.22 Válvula de no retorno tipo columpio

Una válvula check nunca se debe colocar en posición vertical con el flujo hacia abajo; ya que por gravedad siempre permanecería abierta y no cumpliría su función

2.1.6 Conexiones para tuberías

Como bien sabemos para poder definir la trayectoria de una tubería se necesita de accesorios para conectarla, darle giros, cambios de elevación o generar ramales de una tubería hacia otros puntos. Para ello existe una infinidad de accesorios de diferentes proveedores, en múltiples diámetros y cédulas, de acuerdo con las necesidades del diseñador.

En esta parte del capítulo se mencionaran los más comunes y necesarios usados en el diseño de tuberías.

2.1.6.1 Conexiones para tubería de diámetros mayores

Denominaremos tuberías mayores a aquellas de 3" de diámetro nominal en adelante. En tuberías grandes las uniones se realizan mediante soldadura a tope. Las dimensiones de los accesorios están de acuerdo con la norma ANSI B16.9.

Codos.- son elementos que se usan para dar un cambio de dirección en el flujo de la tubería. Se fabrican de 90° y de 45°.

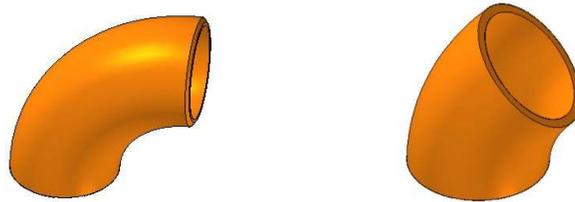


Fig. 4.23 Conexiones tipo soldadura a tope

Los codos de 90° se fabrican de los tipos de radio largo y de radio corto. Los codos de 45° son siempre de radio largo, debido a que es el mínimo para que el material no genere esfuerzos de compresión y pueda resistir. En los codos de radio largo el radio de curvatura del codo es igual a 1,5 veces el diámetro nominal y en los de radio corto el radio de curvatura es igual al diámetro nominal. Para hacer una especificación completa de un codo necesitaremos la siguiente información:

- Si es de 90° ó de 45°
- Si es de radio corto o largo
- Diámetro nominal
- Número de cedula

También existen los codos reductores y los codos en U, aunque su utilización es muy reducida.

Tes.- Son accesorios utilizados para conectar un ramal perpendicularmente a un colector, pudiendo ser ambos del mismo tamaño ó bien el ramal de menor diámetro que el colector. En el primer caso se llaman tes iguales y en el segundo, tes reductoras, o te reducción. Para definir una “te” hay que indicar:

- Diámetro nominal de cada uno de los extremos
- Número de cedula de cada uno de los extremos



Fig. 4.24 Conexión tipo “té” recta

Reducciones.- Son elementos soldables que se utilizan para reducir o ampliar el diámetro de una tubería, las podemos encontrar de dos tipos: excéntricas y concéntricas. Las reducciones excéntricas son normalmente utilizadas para mantener el mismo nivel baja de la tubería y no tener que pedir cambios de elevación para soportarla, y sobretodo tienen un uso muy especial en las succiones de las bombas para ayudar a evitar la cavitacion. Para definir una tapa soldada hay que definir:

- Diámetro nominal
- Número de cedula



Fig. 4.25 Reducciones excéntrica y cocentrica

Tapas soldadas (tapón cachucha).- Estos accesorios se utilizan para tapar extremos de las tuberías cuando no se prevé la necesidad en el futuro de prolongar dicha tubería, ni la de desmontar las tapas en cuestión para efectuar limpiezas. Para definir una tapa soldada hay que definir:

- Diámetro nominal
- Número de cedula



Fig. 4.26 Tapón cachucha para soldadura a tope

Olets.- Son Considerados elementos para realizar derivaciones de una tubería de diámetro mayor al diámetro de la derivación, específicamente para cabezales por ejemplo. Existen varios tipos de olets, pero los principales son:

Elbolets.- Se utiliza para conectar a un colector un ramal de menor diámetro que aquel, pero en un punto del colector que sea curvo y con un radio de curvatura de 1,5 veces el diámetro nominal de éste, es decir, en un codo de radio largo. El elbolet puede ser para soldadura a tope, para enchufe-soldadura o roscado, dependiendo de que forma se conecte con el ramal.

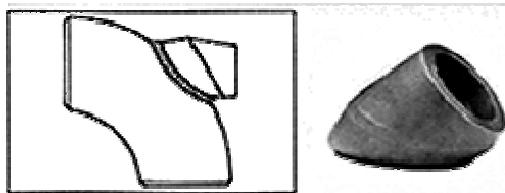


Fig. 4.27 Elbolet

Latrolets.- Es un accesorio que permite conectar un ramal con un colector formando un ángulo de 45° , siendo siempre el ramal de menor diámetro nominal que el colector. El latrolet puede ser para soldadura a tope, para enchufe y soldadura, ó roscado, según como sea la forma del extremo del latrolet. Para su compra es necesario:

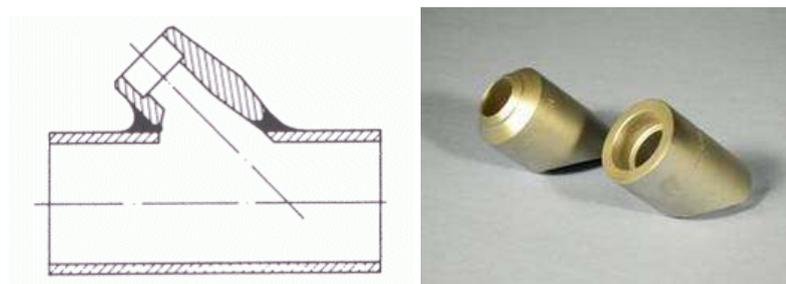


Fig. 4.28 Latrolets

Weldolets.- Son accesorios soldables a un cabezal. Se utilizan para conectar un ramal perpendicularmente a un colector. Su particularidad es que el diámetro nominal del ramal puede ser igual o menor que el del colector.

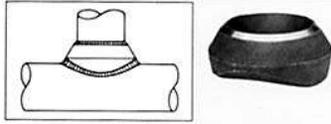


Fig. 4.29 Weldolet

Para definir un olet hay que conocer:

- Diámetro nominal
- Número de cedula

2.1.6.2 Conexiones para tubería de diámetros menores

La unión de tuberías menores (2" y menores de diámetro nominal), se realiza por medio de alguno de estos procedimientos:

- Mediante enchufe - soldadura de caja (filete)
- Mediante rosca
- Roscados y después soldados

Los accesorios que más se utilizan en diseño de tuberías son de Acero forjado, tanto para enchufe y soldadura como para extremos roscados. Las roscas utilizadas para unir tuberías son siempre NPT, definida por la norma ANSI B 2.1 y también API 6 A.

Los accesorios de acero forjado y de extremos roscados o de enchufe-soldadura están clasificados en cuatro librajes:

- 2000 #, para tuberías de Sch. 40
- 3000 #, para tuberías de Sch. 80
- 4000 #, para tuberías de Sch. 160
- 6000 #, para tuberías tipo XXS

Para conocer la presión interna que deben soportar cada uno de estos accesorios, según el material y la temperatura del fluido, se debe consultar la norma ANSI B16.11. Como norma no debe utilizarse, un accesorio de un libraje menor que el que corresponde al número de cedula de la tubería. Lo contrario si es aceptable y es una práctica normal.

Tapones roscados.- Los tapones para las tuberías pequeñas pueden ser macho o hembra. Los primeros (PLUG) son siempre roscados, y pueden ser de cabeza hexagonal ó redonda, debiendo ser siempre acoplados al extremo con rosca hembra de algún accesorio, válvula, etc.

Los tapones hembra (CAPS) pueden ser roscados ó por enchufe-soldadura. Se utilizan para tapan el extremo de una tubería.



Fig. 4.30 Tapón Roscado hembra y macho

Tes.- las tes pueden ser normales, es decir, con los tres extremos iguales ó bien reductoras, en las cuales el extremo que conecta con el ramal es de menor diámetro que los que conectan con el colector. Pueden ser para enchufe y soldadura o con extremos roscados, pero en cualquier caso los tres extremos son siempre hembras.



Fig. 4.31 Unión tipo "T" para soldadura de caja

Codos roscados y de enchufe-soldadura.- Estos codos pueden ser de dos tipos, de 45° y 90°. Normalmente los codos roscados, tienen rosca hembra en ambos extremos y éstos son del mismo diámetro nominal, pero existen unos codos especiales, llamados STREET ELBOWS, que teniendo los extremos de igual diámetro nominal, este tipo de codos tienen un extremo con rosca macho y otro con rosca hembra. Los codos reductores pueden ser también de 90° y de 45° y se utilizan con muy poca frecuencia.



Fig. 4.32 Codo 90° para soldadura de caja

Nipples.- Son pequeños trozos de tubería fabricados en longitudes estandarizadas de 1”(rosca por rosca), 2”, 3”, 4” y 6”.

Generalmente se utilizan en venteos, drenajes y conexiones a instrumentos, pueden ser fabricados con preparaciones roscadas o planas para soldadura de caja.



Fig. 4.33 Nipples extremos soldados y roscados

Swages.- son reducciones especiales para tuberías menores (2” y menores) de tipo concéntricas o excéntricas con preparaciones para rosca o soldadura de caja, son de un costo elevado ya que generalmente deben ser manufacturadas como una especialidad.



Fig. 4.34 Swages concéntricos y excéntricos

Tuercas unión.- Como su nombre lo dice son elementos de unión entre tuberías que deberán ser desmontadas, o que por el espacio que existe será difícil montarlas. Consiste en un juego tuerca - tornillo con dos extremos con preparación para soldadura tipo caja. Su uso no es muy recomendado debido a que no trabajan bien bajo altas presiones y su durabilidad es muy limitada.



Fig. 4.35 Tuercas unión

Coples y medios coples.- son medios de unión soldables tipo caja o roscados, Por medio de estas conexiones, se logra la unión entre tramos prefabricados de tubería menor, es decir, sabemos que las tuberías se fabrican en tramos de 20 pies (6 metros) aproximadamente, por lo que sí se especifica una longitud lineal de tubería de mas de 6 metros, como es el caso del rack de tuberías, habremos de usar coples a cada 6 metros para unir los tramos de tubería.



Fig. 4.36 Coples roscados

Bushings.- Un bushing es un revestimiento cilíndrico diseñado para reducir la fricción dentro de una tubería, coloquialmente los llaman “casquillos”, se usan para reducir diámetros cuando no hay mucho espacio longitudinal, se fabrican con preparaciones roscadas y para soldadura de caja (en casos especiales para soldadura de tope)



Fig. 4.37 Casquillo reduccion tipo bushing

2.2.INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE TUBERÍAS

2.2.1 Definición y alcance de un proyecto

Ahora ya entrando en materia, podemos iniciar definiendo que es un proyecto y las etapas básicas del mismo.

PROYECTO: búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, tendiente a resolver una necesidad humana, es un conjunto de medios ejecutados de forma coordinada, con el propósito de alcanzar un objetivo fijado de antemano, y además, es la compilación de antecedentes y elementos de diagnóstico que permiten planear, concluir y recomendar las acciones que se deben llevar a cabo para materializar una idea.

La elaboración de un proyecto consiste esencialmente en organizar un conjunto de acciones y actividades a realizar, que implican el uso y aplicación de recursos humanos, ambientales, financieros y técnicos en una determinada área o sector, con el fin de lograr ciertas metas u objetivos. En el proceso de formulación, quien lo hace organiza las ideas de una manera lógica, precisa los objetivos que puede alcanzar con su acción y concreta las actividades específicas que necesita realizar. Un proyecto es ante todo un proceso creativo.

PROYECTO DE INGENIERÍA.- es el conjunto de planos, dibujos, esquemas y textos explicativos utilizados para plasmar (en papel, digitalmente, en maqueta o por otros medios de representación) el diseño de una edificación, planta industrial, maquina o elementos de ingeniería, antes de ser construido. En un concepto más amplio, el proyecto comprende el desarrollo del diseño, la distribución de usos y espacios, la manera de utilizar los materiales y tecnologías, y la elaboración del conjunto de planos, con detalles y perspectivas, así como su construcción.

2.2.1.1 Etapas de un proyecto.

Como sabemos el desarrollo de un proyecto, es un proceso metódico, por lo que se compone de etapas, para un proyecto de ingeniera las etapas básicas del ciclo del proyecto son:

2.2.1.2 Anteproyecto

Es una propuesta, esta deberá ser presentada ante una entidad financiera o en su caso una organización para poder materializar el proyecto. Se compone de las siguientes subetapas:

Necesidad.- para que un proyecto sea generado, primero deberá existir una necesidad a satisfacer.

Ingeniería conceptual.- La ingeniería conceptual es la primera etapa de un proyecto, después de que se ha planteado su necesidad. En esta parte del proyecto es donde se realizarán los conceptos de:

- Durante esta etapa se definen, de una manera preliminar, aspectos como los siguientes:
- Capacidad requerida para la instalación.
- Ubicación aproximada.
- Área física de la instalación.
- Costo de inversión.
- Costo de mantenimiento.
- Rentabilidad de la inversión.
- Previsión para ampliaciones futuras.
- Disposición general de los equipos en el área de la planta.
- Diagrama de flujo de los procesos principales.
- Estudio de vías de acceso.
- Requerimientos de los servicios públicos o determinación de producción propia.

Programación.- Es el comienzo del ciclo, aquí se definen los grandes objetivos que se pretenden alcanzar con el proyecto, se dan los grandes lineamientos, se define el espacio en el que se ha reintervenir, los tiempos de ejecución, se definen los principales actores del proceso, principalmente el ejecutor, los beneficiarios finales, y los actores institucionales.

Identificación.- Se elabora la “prefactibilidad” enfocando entre otros los siguientes aspectos:

- Prefactibilidad técnica;
- Prefactibilidad económica;
- Prefactibilidad legal;
- Prefactibilidad ambiental.

En esta fase se definen también los eventuales estudios suplementarios que deben ejecutarse antes de pasar a la fase de “Factibilidad”. Se elaboran varias soluciones posibles para resolver la problemática planteada, determinando sus costos estimados. De esta fase se toma la decisión de proseguir o no con la fase de detalle del proyecto, y en caso de que la respuesta sea afirmativa, se puede definir también cual de las varias soluciones presentadas en la Fase anterior deberá ser profundizada.

Instrucción.- Se examinan todos los aspectos importantes del proyecto. Ya la definición de la solución es mucho más detallada y precisa. Se ajusta el Marco

Lógico con la participación de los beneficiarios. La pertinencia de la idea de proyecto en cuanto a los problemas, y su factibilidad suelen ser cuestiones claves para estudiar y definir. Los costos de la intervención se definen con una precisión de más o menos el 20 – 20 %.

Financiación.- El ejecutor del proyecto, o el beneficiario presenta su proyecto a una o más entidades financiera que potencialmente podrían estar interesadas en el proyecto. Unas veces que se logra el acuerdo, el financiador y el beneficiario del proyecto firman un convenio formal (contrato) que estipula los arreglos financieros esenciales para la ejecución.

2.2.1.3. Ejecución

Una vez aceptado el proyecto el ejecutor utiliza los fondos puestos a disposición por el Financiador y los suyos propios para iniciar el proyecto, en forma directa o a través de la contratación de empresas especializadas. Se hace un monitoreo del avance real del proyecto para que se pueda adaptar el proyecto a los cambios contextuales. Esta fase se compone de las siguiente subetapas:

Ingeniería básica.- La ingeniería básica es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual previa cuyo resultado son los datos de entrada para esta etapa del diseño. Algunos de los avances que se logran en la ingeniería básica son los siguientes:

- Definición mas precisa de la ubicación, lo cual puede variar posteriormente, por normas.
- Revisión del área física requerida.
- Revisión de los planos de equipos, en función del espacio físico requerido y de las normas.
- Revisión de los diagramas de flujo de los procesos principales, y elaboración de los diagramas de procesos (DP) y de tubería e instrumentación (DTI) correspondientes.
- Elaboración de los diagramas de proceso correspondientes.
- Elaboración de los diagramas unifilares para la alimentación eléctrica.
- Elaboración de rutas preliminares de tuberías, cables y demás dispositivos.
- Cálculos preliminares de cada sistema (hidráulico, eléctrico, etc.).
- Determinación preliminar de las condiciones de operación, peso y dimensiones de los equipos principales del proceso.
- Especificaciones de compra de los equipos principales, y otros que presenten largos tiempos de entrega.
- Lista preliminar de equipos tales como: válvulas, tubería, instrumentos y cables. En general se deben emitir los cómputos de materiales.
- Estimados de costo, el cual se hace a partir de los cómputos mencionados anteriormente.

Ingeniería de detalle.- La ingeniería de detalle tiene como objetivo obtener el diseño detallado de la instalación, necesario para proceder con la construcción.

- Revisión de la ingeniería básica.
- Plano de disposición de equipos.
- Diagramas de proceso y DTI definitivo.
- Planos de rutas de tubería y cable.
- Cálculo definitivo de los sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos.
- Especificaciones de equipos, materiales y obras, emisión de licitaciones y órdenes de compras, para todos los equipos y materiales cuyas compras no hayan sido tramitadas previamente.

Evaluación.- La evaluación consiste en el análisis de los resultados obtenidos a través de la implementación del proyecto. Utilizando indicadores objetivamente mensurables se determina si los objetivos específicos y el objetivo general han sido alcanzados totalmente o parcialmente. Se determina la pertinencia, el impacto del proyecto, la eficiencia, la eficacia y la sostenibilidad del proyecto con la finalidad de hacer los ajustes necesarios. Estas evaluaciones podrán formular recomendaciones y conclusiones para integrar la planificación y ejecución de proyectos parecidos, en el futuro. A esto se le llama control de proyectos. Las evaluaciones pueden ser:

- De medio término, durante la ejecución del proyecto;
- Al final de la implementación del proyecto;
- Un tiempo después de que el proyecto está operando (“evaluaciones ExPost”)

Procuración.- Durante esta fase se hacen las negociaciones de compra de servicios y materiales, además de llevar el control de almacenaje y transporte de los mismos

Construcción.- como su nombre lo dice, en esta etapa se materializa el proyecto y se aplican todas las especificaciones de ingeniería generadas durante el proceso anterior, principalmente durante la ingeniería de detalle. Cabe señalar que aun en esta etapa se realizan cambios en el proyecto.

Entrega y puesta a punto.- es la parte final del proyecto, aquí se entrega el proyecto al cliente, ya sea funcionando (proyectos llave en mano) o para que él lo arranque.

2.2.2. Estructura funcional.

Durante todo el desarrollo de un proyecto intervienen innumerables disciplinas de administración, economía, ingeniería, seguridad, transporte, etc., por mencionar algunas, dentro de la ingeniería se encuentra nuestro enfoque principal, la disciplina del diseño de tuberías:

La disciplina de Ingeniería de Tuberías se compone de cuatro especialidades:

- Diseño de Tuberías
- Control de Materiales
- Ingeniería de Materiales
- Análisis de Esfuerzos.

El departamento de tuberías designa los recursos y el talento para producir los diseños que estén dentro del alcance de trabajo de ingeniería de tuberías relacionado con los documentos liberables requeridos en cada proyecto. Usualmente este departamento es el punto focal de la coordinación de diseño en los proyectos, los Especialistas, Ingenieros de tuberías, Jefes de Grupo, Diseñadores y Dibujantes pueden ser involucrados en el trabajo de Ingeniería desde el inicio del proyecto. El funcionamiento eficiente de este trabajo se logra mediante computadoras que proveen cálculos de Ingeniería, diseño de plantas en tres dimensiones, dibujos ortogonales (en dos dimensiones) e isométricos. Estos métodos electrónicos en conjunto con los modelos de diseño y métodos de dibujo convencional, son evaluados para cada proyecto. Esta combinación proporciona un valor agregado en la producción de la Ingeniería seleccionada.

2.2.2.1 Principales Áreas de Responsabilidad

- Dibujos de Arreglos de equipo y localización de planta.
- Dibujos de diseño de tuberías, detalles e isométricos.
- Diseño, materiales de fabricación, instalación de tubería, aislamiento y recubrimientos.
- Requisición y resumen total de materiales.
- Análisis de esfuerzos y soportes misceláneos de tuberías.

Ahora veremos un poco mas a detalle de que se encarga cada especialidad:

2.2.2.1.1 Diseño de Tuberías

Es la especialidad con mayor responsabilidad, ya que su deber principal es entregar el producto final, planos e isométricos o dibujos ortogonales que incluyan el análisis de esfuerzos, el material correcto y contabilizado de manera eficaz y exacta.

Además es la encargada de dar la localización de equipos, boquillas y elementos estructurales que se usaran como soporte para las tuberías. El que esta especialidad sea la de mayor responsabilidad, no implica que las demás especialidades sean despreciables, el diseño de tuberías es una especialidad interdependiente con las otras tres. Sus objetivos principales son:

- Definición del alcance de los servicios e instalaciones
- Plot Plan, Índice de Particiones
- Orientación de boquillas y localización de plataformas y escaleras
- Diseño de los arreglos de tubería y Cuantificación de material
- Programa de emisión de isométricos
- Revisión de la maqueta o del modelo 3D según aplique y Revisión de Interferencias
- Isométricos y dibujos de plantas y elevaciones,
- Información para construcción

2.2.2.1.2 Análisis de Esfuerzos

Es la especialidad encargada de entregar las memorias de calculo, colocación de soportes y evaluación de tuberías críticas para el diseño de plantas industriales (o el diseño que aplique), entre sus funciones principales se encuentran las siguientes:

- Análisis de sistemas críticos, considerando sismo y viento
- Cumplimiento de códigos
- Cargas de sistemas de tuberías en estructuras y equipo
- Ingeniería, diseño y preparación de información para compra de soportes especiales
- Evaluaciones técnicas de soportes especiales

2.2.2.1.3 Ingeniería de Materiales

Su función principal es la de crear las especificaciones con las que trabajara el diseñados, es decir, generara las listas de los materiales adecuados para el diseño que se podrán utilizar y seleccionara el material de cada elemento, además de coordinarse con control de materiales para su contabilización compra y embarque a sitio. En resumen su responsabilidad recae en:

- Desarrollar y mantener las especificaciones de materiales de tuberías.
- Preparar especificaciones de soldadura, pintura y aislamiento.
- Mantener actualizada la lista de líneas.
- Especificar accesorios especiales.
- Realizar evaluaciones técnicas.

2.2.2.1.4 Control de Materiales

Es la especialidad que se encarga de la compra de los materiales que indique cada especificación, contabilizarlo de acuerdo a lo expresado en los dibujos isométricos y hacer su requisición de compra, de nuevo en resumen control de materiales se encarga de:

- Preparación de documentos para requisición y compra de materiales
- Material Take Off
- Estado, monitoreo y control de materiales
- Estimación de materiales (válvulas)
- Definición de categorías de fabricación

2.2.3. Consideraciones generales y criterios de diseño

2.2.3.1 Consideraciones básicas

Antes de comenzar a diseñar existen ciertos documentos que se deben de conocer:

- DT&I.- Diagrama de tuberías e instrumentación, es el documento maestro diseñado por un ingeniero de proceso en conjunto con sistemas de control (instrumentación), que nos indicara las conexiones principales que se deberán de instalar en el arreglo de tubería, tal como lo son válvulas, válvulas de control, instrumentos (medidores de presión, temperatura, controladores de nivel, etc.), en el debe de venir indicado el tipo de material (especificación), diámetro, cedula rango y dirección del flujo dentro de la tubería a diseñar. Además de las notas especiales que se deban de considerar durante el diseño. Este el documento mas importante para el diseñador de tuberías, ya que con el iniciara el proceso de diseño, selección de ruteos y análisis estructural básico.
- Bases de Diseño.- Es el documento administrativo en el que se fundamentan los principios y reglas para el diseño del proyecto, indica las reglas generales del diseño, aquí se asientan las bases para la selección de materiales y bajo que norma o código se trabajara. Es importante recalcar que se deben de leer, comprender y poder interpretar sin problema alguno, esto con la finalidad de evitar omisiones de reglas ya en una fase avanzada del proyecto. Se debe conocer toda esta información antes de comenzar con un diseño.
- Especificaciones del cliente.- es muy común encontrarnos con criterios especiales que cada cliente ya tiene estandarizadas. Al igual que con las bases de diseño, las especificaciones del cliente deben de ser tomadas en cuenta como uno de los criterios principales para el diseño, estas se encuentran fundamentadas en la experiencia y patentes de cada cliente.
- Plot Plan.- también llamado arreglo general de planta, es un plano en donde se muestra la localización de los equipos, copas de drenaje enterrado, limites de batería, cimentaciones, edificios, calles y el(los) rack(s) de tuberías.

- Key plan.- plano llave, el plano en que muestra la división de áreas de la planta, para facilitar su diseño, puede existir un plano llave general para los planos llaves de cada unidad, como en el caso de refinerías muy grandes. En el plano llave indica como es que están divididas las áreas a trabajar de un diseño, y existen técnicas para realizar esta división, pero esto ya corresponde a un diseño de nivel avanzado. A cada área asignada se le llama partición.
- Arreglo general de equipos.- son los planos que se usan para la construcción de los equipos, tanques horizontales y verticales, torres, intercambiadores, filtros, bombas, etc. El diseñador de tuberías es el responsable de indicar, con la ayuda de estos planos, la localización y orientación de boquillas para los equipos, esto facilita de manera inmensurable el diseño de la planta.

2.2.3.2. Criterios de diseño básicos.

Ahora que ya conocemos la información necesaria para comenzar un diseño, los tipos de conexión y materiales a utilizar, comenzaremos a asentar los criterios más básicos a usar durante un diseño de tuberías.

Debido a que estamos hablando de diseño, habrá que tener en cuenta que cada diseñador se genera un criterio propio, es por ello que se han editado y publicado los códigos de ingeniería; el diseñador de tuberías se debe de ajustar a lo que diga el código, es importante hacer hincapié en que los códigos son solo guías para el diseño y no normas con reglas irrompibles, el diseñador debe de aplicar sus propios criterios cuando lo crea pertinente y bajo la aprobación del cliente para el que se este trabajando.

El diseño de un sistema de tuberías consiste en el arreglo, es decir el acomodo localización y orientación, de sus tuberías, bridas, empaques, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor, juntas de expansión, venteos y drenajes. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como zapatos, soportes de pie, anclajes, guías, resortes, colgantes y soportes especiales, pero no incluye el diseño de las estructuras para fijar los soportes, tales como cimentaciones, estructuras armadas o marcos de acero o concreto. Aun en el caso de que los soportes sean diseñados por un ingeniero estructural, el diseñador mecánico de tubería debe conocer el diseño de los mismos, por la interacción directa entre tuberías y soportes.

Ahora los criterios básicos son:

- a) Se debe diseñar bajo estos tres criterios: Seguridad, Ergonomía y Economía. Siempre pensar en la seguridad del operador, la facilidad para la operación de los elementos en la tubería y tratar de hacer un diseño con el menor gasto

económico posible. Se comenzara a diseñar las líneas bajo el siguiente criterio: las tuberías enterradas primero son de mayor importancia, y luego las aéreas.

- Tuberías mayores criticas
- Tuberías mayores no criticas
- Tuberías menores
- Tuberías de servicios

b) El rack de tuberías.- un diseñador estructural, en conjunto con el ingeniero de diseño de tuberías definirán el tamaño (ancho y alto) de los marcos, numero de camas y separación entre marcos para el rack de tuberías. El rack de tuberías no es mas que una estructura sobre la que se montaran los cabezales de tuberías para su distribución a través de la planta.

1.- Como primera regla general se debe de seguir el criterio de: tuberías de proceso en las camas inferiores y tuberías para servicios en las camas superiores, esto es con la finalidad de ayudar al diseño estructural del rack. La distribución de las tuberías en cada cama deberá ser conforme a esta regla: tubería de diámetros mayores a las orillas y diámetros menores al centro.

2.- La separación mínima entre paños de tubería será de 100 mm.

3.- Esta permitido hacer una intercalación de bridas para el acomodo y ahorro de espacio en el rack, siempre y cuando se respete el espacio mínimo entre paños de tuberías.

4.- Se debe de respetar el espacio debajo de la primer cama con una distancia mínima de 2.10 m a la parte baja de la estructura, ninguna tubería deberá de invadir este espacio.

5.- Es imperativo no atravesar líneas entre marcos que lleven la misma trayectoria que el rack de tuberías, esto se permite únicamente cuando sean derivaciones, loops o desviaciones de la línea. Cuando esto suceda, se deberá de sacar la línea fuera de los marcos del rack y regresarla, pero únicamente hasta el punto de conexión al interior del rack.

6.- Las tuberías tienen mayor importancia que las charolas que transportan los cables de instrumentación y de corriente eléctrica, esto debido a que la tubería lleva el proceso principal y los cables de electricidad e instrumentación se consideran servicios, además es preferible colocar las charolas por encima de la cama superior del rack con el fin de evitar accidentes en caso de derrames o goteos de las tuberías



Fig. 5.1 Arreglo de un rack de interconexión de tuberías

c) Derivaciones de cabezales. Al hacer una derivación de una tubería se debe tomar en cuenta que tipo de fluido es el que se está manejando, pero como regla general:

- Los líquidos se sacan del cabezal por la parte baja del mismo
- Los gases se sacan del cabezal por la parte alta del mismo
- Las conexiones a cabezales de desfogue se harán a 45° con respecto a la dirección inversa de flujo del cabezal y por la parte superior del mismo, nunca por debajo.
- Es permitido hacer derivaciones laterales para líneas de baja presión.
- Se debe de tener extremo cuidado al diseñar líneas de vapor, ya que estas han sido la principal causa de daños y accidentes mortales en las plantas industriales, una línea de vapor siempre deberá de llevar al final del cabezal una pierna de condensados y un trapeo para evitar que haya condensados en la línea.



Fig. 5.2 internos de una trampa de vapor

d) Líneas aisladas.- las líneas calientes, traceadas o que son peligrosas para el personal que operara en la planta deben ir aisladas con un recubrimiento aislante del calor y además una capa de metal aislante sobre ellas. El diámetro exterior de estas líneas será tomado en cuenta sumando el diámetro exterior de la tubería basándose en su diámetro nominal (dato de tablas) mas 2 veces el espesor del aislamiento, además las líneas aisladas siempre deberán ir soportadas con zapatas, para evitar el contacto del aislamiento con las estructuras de soporte. Es una buena practica colocar zapatas del mismo material que la tubería, esto ayuda a la su soldadura y a evitar el par galvanico.



Fig. 5.3 Aislamiento para una válvula

e) Arreglos removibles.- se debe de pensar en la operación, autosoportación y mantenimiento de los arreglos de tubería que serán removidos durante alguna operación de mantenimiento.

f) Venteos y drenajes para prueba hidrostática.- todas las líneas deberán de llevar un drenaje en el punto más bajo y una venteo en la parte mas alta de la línea, estos serán usados para extraer el aire de la tubería durante la prueba hidrostática

g) Bolsas.- Una bolsa se presenta cuando diseñas una trayectoria en forma de "U" y en posición vertical, esto provoca que cuando la "U" tiene la panza hacia abajo provoque estancamientos en la tubería y, caso contrario si la "U" tiene la panza hacia arriba esta provocara una caída de presión en el sistema.

Como regla general se debe de evitar en lo posible hacer bolsas con las tuberías, en el caso de que suceda, una bolsa baja deberá de llevar un drenaje y/o una bolsa alta deberá de llevar un venteo.

h) Espacio entre soldaduras.- es recomendable mantener un espacio mínimo de 1 vez el diámetro nominal de la tubería entre soldaduras circunferenciales, con el fin de evitar concentraciones innecesarias de esfuerzos que se pueden generar al momento de soldar. Lo anterior es una recomendación, el código marca: el espacio mínimo entre soldaduras circunferenciales será de 10 veces el espesor de la tubería.

i) Medidores de flujo.- se debe de dejar un tramo recto y sin giros de 15 veces el diámetro nominal de la tubería antes de colocar un medidor de flujo, y 5 veces el diámetro nominal de la tubería después del mismo, esto es con el fin de que cuando el flujo pase por el medidor sea un flujo laminar y la medición sea más exacta.

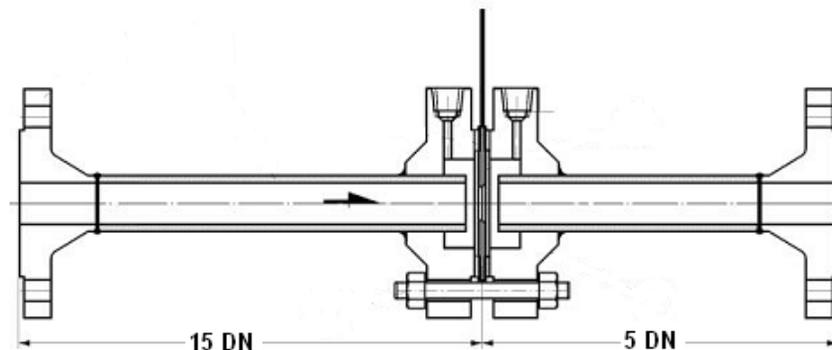


Fig. 5.4 Dimensiones antes y después de una placa de orificio

j) Volantes de válvulas.- se debe de pensar en la ergonomía del diseño, evitar en lo posible colocar volantes de válvulas en partes inalcanzables o muy bajas, esto daña la espalda del operador, o muy altas, para ello se pueden usar aditamentos como los operadores de engranes y de cadena para facilitar su operación, como regla general no se debe de poner una válvula con el volante hacia la cara de un operador

k) Tuberías fuera del rack.- las tuberías que vayan a estar cerca del piso deberán de tener una distancia mínima de 30 cm entre el paño de tubería y el piso o rejilla, o en su caso si es que hay un drenaje, la distancia mínima será de 70 mm entre el tapón del drenaje y el piso

l) Procurar la flexibilidad del diseño.- es decir a cada cambio de dirección en la tubería es conveniente hacer un cambio de elevación, esto ayuda a la tubería de manera que minimizara los esfuerzos y desplazamientos en ella cuando entre en operación.

M) Tubería hacia los equipos.- nunca se debe de pasar una tubería por encima de un equipo a menos que sea muy necesario, esto es debido a que si llegara a ser necesario cambiar o mandar a reparar el equipo la tubería será un estorbo para retirar y volver a colocar el equipo.

2.2.3.3 Procedimiento de diseño de tuberías

La lista siguiente muestra los pasos que deben completarse en el diseño mecánico de cualquier sistema de tuberías:

1. Recopilación de información de bases de diseño, estándares del cliente, DT&I, información de los equipos a conectar, plano de arreglo general de la planta y del área a diseñar así como de los equipos a interconectar (bombas, recipientes verticales u horizontales, intercambiadores, etc.)
2. Establecimiento de las condiciones de diseño. Estas incluye presión y temperatura de operación (y de diseño) y otras condiciones, tales como la presión de prueba hidrostática, la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.
3. Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad, temperatura y presión del fluido.
4. Selección de los materiales de la tubería base a corrosión, fragilidad y resistencia provocados por el lugar donde será instalada la tubería.
5. Selección de los rangos de bridas, empaques, válvulas y elementos bridados especiales.
6. Cálculo del espesor mínimo de pared (cedula) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
7. Ruteo de la línea respetando las bases de diseño, especificaciones del cliente y DT&I, además de los criterios estandarizados como los utilizados para rack o equipos verticales.
8. Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías, generar un documento con los soportes básicos a utilizar durante el diseño, especificando la fabricación de cada uno, esto se hace con la finalidad de comprar los soportes en masa y no tener que hacer un detalle para cada caso, sin embargo existen casos especiales donde se deberán de indicar soporteria especial.
9. Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

10. Si el sistema no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos:

- Reubicación de soportes
- Modificación del tipo de soporte en puntos específicos
- Utilización de soportes flexibles
- Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas
- Utilización de juntas de expansión
- Estirado en frío (cold spring)

El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables, en todas las fases de operación normal y anormal, durante toda la vida de la planta.

11. Contabilización y requisición de compra de materiales a usar durante la construcción.

12. Entrega del documento (dibujo isométrico y planos) a construcción para su realización.

Básicamente estos serían los pasos, a muy grandes rasgos que se deben seguir para el diseño de un sistema de tuberías.

5.4 Normas de diseño

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de tuberías son las normas conjuntas de ANSI/ASME (B31.1, B31.3, etc.) Cada uno de estos códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas, a saber:

1. B31.1 Plantas de Energía.
2. B31.3 Plantas petroquímicas y refinerías.
3. B31.4 Sistemas de transporte de hidrocarburos, gas, amonio y alcoholes.
4. B31.5 Plantas de refrigeración.
5. B31.8 Sistemas de transportación y distribución de gas.
6. B31.9 Servicios para edificaciones.
7. B31.11 Sistemas para la transportación de lodos (fluidos en dos fases)

En lo que conciernen al diseño todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles.

2.2.5 Cargas de diseño para tuberías

Un sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. A continuación se resumen las posibles cargas típicas que deben considerarse en el diseño de tuberías.

Cargas por la presión de diseño

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

Cargas por peso

- Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, aislamiento, etc.
- Cargas vivas impuestas por el fluido de prueba o de proceso
- Efectos locales debido a las reacciones en los soportes

Cargas dinámicas

- Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento
- Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos
- Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos
- Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

Este tipo de cargas no será considerado ya que forman parte de análisis dinámicos y en este proyecto sólo se realizarán análisis estáticos.

2.2.6 Efectos de la expansión y/o contracción térmica

A raíz de la expansión o contracción provocada por la dilatación térmica de la tubería, se originarán cargas que producirán esfuerzos en la misma, estas cargas podrán de los tipos:

- Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería
- Cargas inducidas por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales)

Efectos de los Soportes, Anclajes y Movimiento en los Terminales

- Expansión térmica de los equipos
- Asentamiento de las cimentaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías

2.2.7 Esfuerzos Admisibles en Función de las Cargas

Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se definen en términos de las propiedades de resistencia mecánica del material, obtenidas en ensayos de tracción para diferentes niveles de temperatura y de un factor de seguridad global, estos ensayos y sus resultados ya se encuentran estandarizados por la norma de la ASTM, en estos códigos podemos encontrar el procedimiento para realizar la prueba o ensayo que nos recomiende ASME. La norma ASME B31.3 estipula dos criterios para el esfuerzo admisible. Uno es el llamado "esfuerzo básico admisible" en tensión a la temperatura de diseño, con la cual están familiarizados los que se dedican al diseño de equipos sometidos a presión, es menos conocido y se le denomina "rango de esfuerzo admisible", el cual se deriva del esfuerzo básico admisible y se emplea como base para el cálculo de la expansión térmica y para el análisis de flexibilidad.

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

Donde:

S_C = Esfuerzo básico admisible para el material a la mínima temperatura esperada del metal durante el ciclo de desplazamiento

S_h = Esfuerzo básico admisible para el material a la máxima temperatura esperada del metal durante el ciclo de desplazamiento

f = Factor de reducción del rango admisible de esfuerzo para condiciones cíclicas según el número total de ciclos completos de cambios de temperatura sobre la vida esperada. Este factor es 1.0 para 7000 ciclos o menos, lo cual es un caso típico en refinerías.

Cuando S_h es mayor que s_L , (esfuerzos longitudinales combinados), la diferencia entre ellos debe sumarse al término $(0,25 S_h)$ por lo que la expresión S_A queda:

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

La aplicación de cada criterio es como se observa en la tabla:

Para cargas aplicadas	Esfuerzos Admisibles
Esfuerzos de pared circunferenciales producidos por la presión; no deben exceder	S.E.
Esfuerzos longitudinales combinados, producidos por la presión, peso y otras cargas; no deben exceder	S

Donde: S = Esfuerzo básico admisible a la temperatura de diseño, para el material seleccionado

E = Eficiencia de la soldadura longitudinal o factor de calidad de la fundición asociada con el diseño específico y los requerimientos de inspección

Estos esfuerzos admisibles básicos, así como el límite de fluencia y la resistencia a la tracción, están listados en el Apéndice A, Tabla A-1 y A-2, del Código B31.3 en función de la temperatura. Por ejemplo, para el acero A-106-Grado B se tiene que el límite de fluencia es, $S_y = 35 \text{ KPsi}$ (241,317 MPa), y la resistencia a la tracción es $S_u = 60 \text{ KPsi}$ (413,685 MPa).

2.2.8 Presión de diseño

De manera general la presión de diseño no será menor que 1.5 veces la presión de operación de la tubería a diseñar. Pero, de acuerdo al código: 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 el rango de presión más alto de los componentes del sistema de tuberías.

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

2.2.9 Temperatura de diseño

La temperatura de diseño es la temperatura del metal que representa la condición más severa de presión y temperatura coincidentes. 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.

Para temperaturas de fluidos menores de 32°F (0°C), la temperatura del metal para el diseño, será la temperatura de diseño del fluido contenido.

Para tuberías aisladas internamente la temperatura será especificada o será calculada usando la temperatura ambiental máxima sin viento (velocidad cero).

2.2.10 Espesor de pared (cedula)

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

- El esfuerzo permisible para el material del tubo
- Presión de diseño
- Diámetro de diseño del tubo
- 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.

3. FLEXIBILIDAD EN SISTEMAS DE TUBERÍAS

3.1 Consideraciones generales

Es importante incluir las bases de cálculo para el análisis flexible de una sistema de tuberías, sin embargo, como esto representa una especialidad de la disciplina, solo haremos mención de las principales características que se deben de considerar. El análisis flexible de una tubería es la parte más compleja en el diseño, por lo cual un especialista de análisis flexible (stress) es el responsable de hacer los cálculos correspondientes, corregir los errores del diseñador al colocar los soportes propuestos por el diseñador y hacer las memorias de cálculo de cada tubería crítica.

Basándonos en que esta el propósito de este documento solo abarca el diseño básico de tuberías, no se hará cálculo alguno, ni se manejaran ejemplos de aplicación practica de análisis de esfuerzos para tuberías, sin embargo, anexo a la bibliografía el lector podrá encontrar algunas referencias a la literatura que abarca este tema.

Con el fin de introducir los conceptos e ideas fundamentales que se manejan en el análisis de esfuerzos en sistemas de tuberías, haremos la siguiente suposición:

Sea p la presión interna del fluido en la tubería y sea T la temperatura de diseño. Se designará como T_a a la temperatura ambiente. Cuando el sistema entra en operación, la presión se eleva hasta p y la temperatura cambia de T_a a T , generándose esfuerzos en el sistema. La presión interna p genera esfuerzos tangenciales y longitudinales, mientras que el cambio de temperatura $T = T - T_a$, genera esfuerzos longitudinales de origen térmico tienen lugar debido a que la tubería no puede expandirse (o contraerse) libremente a consecuencia de encontrarse restringida en su desplazamiento a causa de los soportes y de su conexión a los equipos que conforman el sistema. Si adicionalmente se considera el efecto del peso de la tubería, así como el de su contenido se tendrá también la presencia de esfuerzos longitudinales y de corte análogos a los producidos por la expansión térmica.

Todos estos estados de cargas deben considerarse en el análisis de un sistema de tubería. Como regla general, el esfuerzo más limitante y de mayor relevancia es el de la expansión térmica.

3.1.1 Esfuerzos por Presión (Hoop)

La presión del fluido dentro de la tubería produce un esfuerzo tangencial o circunferencial S_{cp} que ocasiona un aumento en el diámetro de la tubería, y un esfuerzo longitudinal S_{lp} que produce un aumento en la longitud de la misma.

Si el espesor t de la tubería es pequeño comparado con el diámetro exterior D ($D/t > 6$), puede suponerse que estos esfuerzos se distribuyen uniformemente a lo largo del espesor.

Para determinar el esfuerzo tangencial S_p , se pasa un plano longitudinal imaginario que divida a la tubería en dos partes iguales.

La fuerza resultante de los esfuerzos tangenciales debe estar en equilibrio con la resultante de la presión interna p sobre la mitad de la superficie de la tubería. Esto es:

$$2(S_p t \pi) = p D \pi$$

De aquí se tiene que:

$$\sigma_P = \frac{PD}{2t}$$

En los códigos B31.3 y B31.3, esta ecuación es ajustada en dos sentidos:

Dado que en realidad S_p no es uniforme a lo largo del espesor, el valor obtenido por la ecuación anterior puede tomarse como un valor promedio.

¿qué diámetro debe tomarse?

Si se usa el diámetro interno d , se tendría:

$$\sigma_P = \frac{pd}{2t} = \frac{p(D-2t)}{2t} = \frac{pD}{2t} - p$$

Si se usa el diámetro medio d_m , se obtendría:

$$\sigma_P = \frac{pd_m}{2t} = \frac{p(D-t)}{2t} = \frac{pD}{2t} - \frac{1p}{2}$$

Por último, si se usa el diámetro externo se tendría como resultado. Los códigos establecen que el esfuerzo por presión debe calcularse como:

$$\sigma_P = \frac{PD}{2t} - Yp$$

Donde Y es un factor que depende de la temperatura de diseño y del tipo de material.

Para que la tubería no falle por presión,

$$P < E.S$$

Donde $S_p = ES$, es el esfuerzo admisible por presión,
S es el esfuerzo admisible básico a la temperatura de diseño y
E es el llamado factor de calidad.

Este factor e se interpreta, según sea el caso, como un factor de calidad de la función Ec para tuberías de hierro fundido o como un factor de calidad de la soldadura Ej, para tuberías de acero con costuras. Estos factores de calidad están tabulados en los códigos para diferentes casos. Generalmente $E_c = 0.80$ y $0.60 < E_j < 1.0$

3.1.2 Esfuerzos por cargas sostenidas (Gravedad)

Los esfuerzos por cargas sostenidas son aquellos esfuerzos longitudinales producidos por la presión, el peso de la tubería, su contenido, el aislante y otras cargas de gravedad tales como el peso de las válvulas, bridas, filtros, etc.

Este esfuerzo puede expresarse como:

$$S_L = S_{Lp} + S_{Lg}$$

Donde S_{Lp} es el esfuerzo longitudinal debido a la presión y
 S_{Lg} es el esfuerzo longitudinal debido a las cargas de gravedad.

Para evaluar S_{Lp} se pasa un plano imaginario transversal y se hace un diagrama de cuerpo libre.

Escribiendo la ecuación de equilibrio de fuerzas en la dirección longitudinal se tiene:

$$p \frac{\pi D^2}{4} = \sigma_{Lp} \pi D t$$

de donde:

$$\sigma_{Lp} = \frac{pD}{4t}$$

El código establece que debe usarse como espesor $t = t - t_c$

$$\sigma_{Lp} = \frac{pD}{4(t - t_c)}$$

El peso de la tubería y de otras cargas concentradas genera en cada sección transversal de la tubería momentos flectores. En general, cuando una viga está sometida a flexión pura por un momento flector M , los esfuerzos se distribuyen de acuerdo con la ecuación:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

Donde:

M es el momento flector,
 y es la distancia del eje centroidal al punto donde se desea calcular el esfuerzo, e
 I es el momento de inercia de la sección transversal de la tubería.

El esfuerzo máximo ocurre en el punto más alejado del eje centroidal, esto es, en $y = D/2$, entonces:

$$\sigma_{\max} = \frac{MD}{2I} \quad \text{O bien,} \quad \sigma_{\max} = \frac{M}{Z}$$

donde:

$$Z = \frac{I}{D/2}$$

y Z es el módulo de sección. En este caso,

$$M = \sqrt{(i_1 M_1)^2 + (i_0 M_0)^2} \quad \text{y} \quad Z = \frac{\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)}{D/2}$$

Luego,

$$M = \frac{\sqrt{(i_1 M_1)^2 + (i_0 M_0)^2}}{Z}$$

El código B31.3 establece que este esfuerzo viene dado por:

$$\sigma_{L=} \frac{pD}{4(t-t_c)} + \frac{\sqrt{(i_1 M_1)^2 + (i_0 M_0)^2}}{Z_c}$$

donde: M_i = Momento flector en el plano
 M_o = Momento flector del plano
 i_i = Factor de intensificación de esfuerzos en el plano
 i_o = Factor de intensificación de esfuerzos fuera del plano
 Z_c = Módulo de sección basado en $t - t_c$, esto es:

$$Z = \frac{\pi}{32D} (D^4 - (D - 2t - 2t_c)^4)$$

Los factores de intensificación de esfuerzos se observan en los anexos. Para que la tubería no falle debido al efecto de las cargas sostenidas, debe cumplirse que:

$$S_L \leq S_h$$

Donde S_h es el esfuerzo admisible básico a la temperatura de diseño.

Esfuerzos por cargas de expansión

Cuando la temperatura del sistema se eleva desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de operación, la tubería se expande. Debido a que no puede hacerlo libremente por las restricciones impuestas por los equipos y soportes, se dobla y tuerce, generándose momentos flectores, así como un momento torsor en cada sección transversal de la tubería.

Los momentos flectores M_i y M_o , producen un esfuerzo máximo longitudinal,

$$\sigma_m = \frac{\sqrt{(i_1 M_1)^2 + (i_0 M_0)^2}}{Z}$$

mientras que el momento torsor M_t genera un esfuerzo máximo de corte

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

Ambos esfuerzos se calculan utilizando el espesor nominal. Para analizar la resistencia de la tubería sujeta a este estado combinado de cargas debe utilizarse una teoría de fallas. El código B31.3 utiliza la *Teoría del Esfuerzo de Corte Máximo (Teoría de Tresca)*, la cual establece que para que no se produzca una falla, el esfuerzo de corte máximo real debe ser menor que el esfuerzo de corte máximo en el ensayo de tracción para un nivel determinado de carga. Para determinar el esfuerzo de corte máximo en la tubería se tienen que evaluar primero los esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_t^2}$$

Entonces,

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_t^2}$$

Para que el material no falle,

$$\sigma_E = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + 4\tau_t^2} \leq \frac{S_A}{2}$$

O bien:

$$\sigma_E = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + 4\tau_t^2} \leq S_A$$

donde S_E se denomina esfuerzo de expansión y S_A es el esfuerzo admisible de expansión

Por vida esperada se entiende el total de años durante el cual se presume que el sistema estará operando (numero de ciclos de vida).

Los códigos establecen que si el esfuerzo longitudinal por cargas sostenidas es inferior al esfuerzo admisible, es decir, si $S_L < S_h$, entonces la diferencia $S_h - S_L$ puede agregarse al esfuerzo admisible S_A . Luego

$$S_A = f[1.25S_C + 0.25S_h + S_h - \sigma_L]$$

Esto es:

$$S_A = f[1.25(S_C + S_h) - \sigma_L]$$

3.2 Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías

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

- Cuál código se aplica al sistema
- 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

Teniendo determinadas las bases del problema, el código aplicable podría establecer los requerimientos mínimos de seguridad para el material a las condiciones de presión y temperatura de diseño. Algunos códigos especifican los factores de expansión térmica y el módulo de elasticidad para materiales comúnmente usados en tuberías, así como también proporcionan las fórmulas para determinar los factores de intensificación de esfuerzos y los factores de flexibilidad para los componentes del sistema.

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

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

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

3.2.1 Requerimientos de Flexibilidad en un Sistema de Tuberías

En las tuberías, así como en otras estructuras, el análisis de los esfuerzos puede llevarse a cabo con diferentes grados de precisión. En un extremo está la sencilla comparación con arreglos similares, que han cumplido satisfactoriamente con los requerimientos del servicio; en el otro extremo, están los métodos del cálculo, que envuelven largos y complicados procedimientos y que son relativamente costosos para un grupo de ingeniería.

Por esta razón debe asegurarse que se cumplan los siguientes requerimientos como mínimo:

- El rango de esfuerzos en cualquier punto debido a desplazamientos en el sistema no debe exceder el rango de esfuerzos permisibles establecido en la sección de esfuerzos admisibles.
- Las fuerzas de reacción no deben perjudicar a los soportes o equipos conectados
- Los movimientos de la tubería deben estar dentro de los límites establecidos
- Existen dos modalidades de análisis de flexibilidad: El análisis de flexibilidad informal y el análisis de flexibilidad formal.

En este aspecto, el código ASME B31.3 identifica ciertas condiciones, para las cuales no se requiere el análisis formal para confirmar la aceptabilidad de la tubería, desde el punto de vista de su flexibilidad. Estas condiciones son:

- El sistema es similar a otro que ha funcionado con récord exitoso de servicio productivo.
- El sistema puede ser juzgado rápidamente por comparación con otros sistemas similares analizados previamente
- El sistema es de tamaño uniforme, no tiene más de dos puntos de fijación sin apoyos ni restricciones intermedias y cumple con la ecuación empírica:

$$\frac{Dy}{(L-U)^2} \leq k_1$$

Donde: D = diámetro nominal (pulgadas, mm)
 y = resultante del total de los desplazamientos térmicos que deben ser absorbidos por el sistema (pulgadas, mm)
 L = longitud desarrollada de la tubería entre los dos anclajes (pies, m)
 U = distancia en línea recta entre los anclajes (ft, m)
 K₁ = 0.03 (sistema inglés) o 208.3 (Sistema Internacional)

En caso de no cumplir con lo antes mencionado, se requiere realizar un análisis de flexibilidad normal.

3.3 Fundamentos relacionados con el análisis de flexibilidad

Una estructura que esté sujeta a un cambio de temperatura cambiará sus dimensiones físicas si está libre de expandirse. En caso contrario, se inducirán esfuerzos provocándose fuerzas de reacción y momentos en los equipos de los extremos.

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.

3.3.1 Tubería Curva

Cuando se utiliza una tubería doblada para cambiar la dirección en un sistema de tuberías, su sección recta se deforma elípticamente cuando está sometido a flexión y su flexibilidad aumenta. Además, el tubo doblado tiene un mayor esfuerzo que el determinado por la teoría elemental de flexión.

Esta característica de las tuberías dobladas o codos, se toma en consideración en el análisis de flexibilidad introduciendo los "factores de flexibilidad" y los "factores de intensificación de esfuerzos", los cuales son simplemente las relaciones entre la flexibilidad y esfuerzos reales y aquellos teóricos derivados de la teoría elemental de flexión.

Bajo las reglas del código ASME B31.3, el factor de flexibilidad y el factor de intensificación de esfuerzos para un tubo doblado o codo están dados por las siguientes fórmulas:

Factor de Flexibilidad, k.- La tubería curva tendrá una característica de flexibilidad equivalente a la de una tubería recta de la longitud L. k.

Factor de Intensificación de Esfuerzos, i.- El código hace distinción entre la flexión en el plano de curvatura y fuera del plano de curvatura.

$$i (\text{en el plano}) = \frac{0.90}{h^{2/3}} \leq 1 \quad i (\text{fuera del plano}) = \frac{0.75}{h^{2/3}} \geq 1$$

donde: h = características de flexibilidad
t = espesor de la pared del tubo
R = radio de curvatura del tubo curvo
r = valor medio entre el radio exterior e interior de la sección del tubo.

$$\left(h = \frac{tR}{r^2} \right)$$

Las tablas han sido tomadas del código ASME B31.3 donde se muestran los factores de flexibilidad y de intensificación de esfuerzos para codos, codos fabricados, ramales y puntos terminales.

3.4 Consideraciones en el diseño del sistema por flexibilidad

Los sistemas de tuberías deben ser lo suficientemente flexibles para evitar esfuerzos mayores que los permisibles y cargas excesivas derivadas de la expansión térmica. Se deben evitar fallas por fatiga en tuberías y soportes debido a deformaciones muy elevadas. Para sistemas de tuberías en el área de la planta de proceso y fuera de ella ("onsite" y "offsite"):

$$S_E \leq S_A$$

Para sistemas de tuberías externos a las unidades de proceso cuando el diseño es gobernado por condiciones anormales de temperatura: Esfuerzo de flexibilidad menor o igual que el doble del rango de esfuerzos admisibles

$$S_E \leq 2S_A$$

Sin embargo, esto está limitado a las siguientes condiciones:

- Cuando la temperatura anormal del fluido está por debajo de su punto de auto ignición y de 500 °F (260°C)
- Cuando estas condiciones no ocurren más de 5 veces al año.

- S_A se calcula para la condición normal y no se hace reducción en el cálculo del rango admisible de esfuerzos (S_A) por el esfuerzo longitudinal (S_L) que soporta la tubería cuando es menor que el esfuerzo admisible en caliente (S_h)

3.4.1 Número de ciclos a ser considerados

El número de veces en que la línea esté sometida a la combinación de temperatura y movimientos en los extremos, también tiene influencia en el diseño de un sistema por flexibilidad, ya que la base para la determinación del esfuerzo de diseño por flexibilidad, está asociada a consideraciones acerca del deterioro por fatiga.

En el código ASME B31.3, el rango de esfuerzo admisible es una función del número de fluctuaciones completas de temperatura desde la mínima a la máxima temperatura del metal. Este esfuerzo es constante para los primeros 7000 ciclos de cambio en la temperatura y se reduce para una cantidad mayor de ciclos.

Si el número de ciclos esperados de cambio de temperatura, durante la vida de la planta, excede 7000 ciclos, el número de ciclos deberá ser indicado en las especificaciones, para todas las líneas involucradas.

Para propósitos de diseño mecánico, deberán utilizarse 20 años de vida de la planta en el estimado del número de ciclos. Esto significa que, aproximadamente, 1 ciclo por día es necesario para superar los 7000 ciclos.

3.4.2 Proceso General de Evaluación del Problema de Flexibilidad en las Tuberías

El objetivo del análisis de flexibilidad de las tuberías es asegurar el sistema contra la falla del material o soportes por sobre esfuerzos, contra fugas en las juntas y contra sobresolicitación en los equipos acoplados. En el análisis de flexibilidad de cualquier sistema, los siguientes pasos son típicos a fin de confirmar la aceptabilidad de un diseño de tuberías:

Típicamente, el sistema que debe ser evaluado tiene especificado el tamaño de la línea, el material y el número de ciclos de temperatura previstos, definidos por el proceso, y las consideraciones de las presiones y temperaturas de diseño. Esta información junto con el arreglo de la tubería y el mayor diferencial de temperatura, considerando operación normal, puesta en marcha, disparo o paradas, limpieza con vapor, condiciones anormales, etc., representan los datos necesarios para las evaluaciones de la flexibilidad del sistema.

Con respecto al arreglo inicial, típicamente se selecciona de tal forma que sea consistente con las limitaciones en las caídas de presión, el espacio disponible, acceso a los equipos, estructuras existentes para soportes y reglas prácticas inherentes a la flexibilidad de la tubería.

Las condiciones en los extremos tienen que ser supuestas. La práctica general en este aspecto es tomar los puntos terminales como totalmente fijos, en la ausencia de un análisis detallado de las rotaciones y deflexiones en los cuerpos de los recipientes, bombas, carcasas de compresores o turbinas u otros anclajes de la tubería.

El diseñador deberá localizar, con razonable precisión, todos los puntos de restricciones intermedios incluyendo soportes, guías, topes y todos los ramales que afecten significativamente la flexibilidad de la tubería. Las mayores restricciones a los movimientos libres de la línea debido a guías o soportes, usualmente se toman en consideración en los cálculos o en otras formas de análisis.

Por supuesto, todas las ubicaciones de los soportes, incluyendo resortes o contrapesos, deberán ser considerados para la evaluación de las cargas aplicadas y esfuerzos atribuidos a cargas muertas.

Se debe seleccionar un método apropiado para el análisis del sistema de acuerdo con su importancia.

Finalmente, deberá hacerse una comparación de los resultados obtenidos con el rango de esfuerzo admisible, con los criterios de cargas límites seleccionados para el sistema o los equipos conectados al mismo.

3.4.3 Análisis de Flexibilidad por Computadora

Programas como el CAESAR II o Autopipe están disponibles para ejecutar análisis detallados de los esfuerzos en sistemas de tuberías con muchas ramificaciones. Este programa está desarrollado para ambiente Windows y su principal función es el modelado, análisis y diseño de sistemas de tuberías, objetivo que logra este programa mediante el estudio de aspectos fundamentales del análisis de tuberías como:

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

A diferencia de los métodos simplificados, un programa de computación puede ejecutar el análisis de esfuerzos y cargas aplicadas en la tubería de una forma precisa, siendo la única limitación, el espacio para almacenamiento disponible en el computador. El sistema de tuberías puede estar compuesto por cualquiera de los más comunes elementos, tales como tramos rectos, codos, térs, etc. Estos componentes pueden tener cualquier orientación en el espacio. Las cargas pueden resultar de la expansión térmica, movimientos en los anclajes, peso uniforme de la tubería y su contenido, restricciones externas que incluyen fuerzas o momentos aplicados, deflexiones y rotaciones. Los problemas que incluyan apoyos con restricciones parciales así como extremos libres, pueden ser resueltos.

En muchos casos se prepara un croquis isométrico (sketch de stress) a mano alzada, para discriminar todos los datos pertinentes que se usarán en el análisis de flexibilidad.

Los datos de entrada consisten en una descripción geométrica del arreglo: dimensiones, propiedades físicas, temperatura de operación, restricciones impuestas. Esta información puede ser introducida en el sistema métrico o en sistema inglés. Los elementos de entrada deberán ser descritos y numerados en una secuencia definida, de manera de permitir la interpretación correcta de los resultados. Los resultados que produce el programa de análisis de flexibilidad incluyen los esfuerzos, deflexiones, rotaciones, momentos y fuerzas en cada punto de interés del sistema de tuberías, así como las fuerzas y momentos en los anclajes y restricciones.

El análisis estático se usa para estudiar la respuesta a cargas cuyas magnitudes permanecen constantes en un período de tiempo relativamente largo.

3.5 Consideraciones de arreglo para facilitar el apoyo y la sujeción

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. A este respecto, las siguientes son consideraciones generales que afectan el trazado de la tubería para una sustentación favorable.

- El sistema de tubería deberá ser en lo posible, auto soportante y consistente con los requerimientos de flexibilidad.
- El exceso de flexibilidad puede requerir soportes o sujeciones adicionales para evitar movimiento y vibraciones en una amplitud tal que despierte desconfianza en el personal. Esta situación es propensa a ocurrir en líneas verticales donde solamente hay un punto de apoyo para sostener el peso.

- Las tuberías propensas a vibrar, tales como líneas de succión o descarga de bombas reciprocantes o compresores, deberán ser diseñadas con sus soportes propios e independientes de otras tuberías. El diseño debe permitir el uso de apoyos fijos o soportes rígidos que ofrezcan resistencia al movimiento y provean cierta capacidad de amortiguación, en vez de los soportes colgantes.
- La tubería debe estar lo suficientemente cerca al punto de apoyo de sujeción, de manera que el conjunto estructural pueda tener la rigidez adecuada y los componentes de fijación sean simples y económicos.
- Los tubos de las conexiones superiores de recipientes verticales se apoyan y fijan ventajosamente en el recipiente para minimizar movimientos independientes de recipiente, soportes y tuberías, por tanto, tales tuberías deben ser trazadas lo más cerca posible del recipiente y soportadas muy cerca de la conexión.
- Las tuberías sobre estructuras deben ser trazadas (ruteadas) debajo de las plataformas, cerca de los elementos estructurales principales, en puntos donde sea favorable añadir cargas, a fin de evitar la necesidad de reforzar esos miembros.
- Debe asignarse suficiente espaciamiento para acceso fácil a las partes sujetadoras de aquellos soportes que requieran mantenimiento o servicio.

3.6 Diseño de soportes para tuberías

La selección y el diseño de soportes para tuberías es una parte importante en el estudio de ingeniería de cualquier instalación de procesos industriales. Los problemas para diseñar tuberías para altas presiones y temperaturas, tienden a ser críticos en un punto donde es imperativo qué aspectos de diseño, tales como el efecto de cargas en soportes concentradas en estructuras, carga sobre equipos conectados debido al peso de la tubería y tolerancias de los soportes respecto a tuberías y estructuras; Sean tomados en consideración en las primeras etapas de un proyecto.

Existen métodos eficientes establecidos para ejecutar los trabajos requeridos para arribar a un diseño apropiado de soportes. A continuación se discutirán varios pasos involucrados en el diseño de soportes.

3.6.1 Recopilación de Información Básica

El primer paso involucrado en el diseño de soportes es determinar y obtener la cantidad necesaria de información básica antes de proceder a los cálculos y detalles de los soportes. El diseño no será completo si el ingeniero no tiene la oportunidad de revisar el equivalente a la siguiente información:

- Especificación del soporte, cuando este disponible
- Un señalamiento completo de dibujos de tuberías
- Un señalamiento completo de estructuras
- Una especificación apropiada de tuberías y datos que incluyan: tamaño de la tubería, composición, espesor de pared, temperaturas y presiones de operación.
- Una copia de la especificación del aislante con su densidad
- Válvulas y accesorios especiales, indicando sus características (peso, dimensiones, etc.)
- Deflexiones de todas las conexiones de succión de equipos críticos como fondos de caldera, tambores de vapor, conexiones de tuberías, etc.

3.6.2 Guías generales sobre ubicación de soportes

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

1. Sobre tubería propiamente y no sobre componentes tales como: válvulas, accesorios o juntas de expansión. Bajo cargas concentradas (puntuales), las bridas y juntas roscadas pueden gotear y los cuerpos de válvulas pueden deformarse produciendo goteo, trabazón del vástago o goteo a través del asiento.
2. 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.
3. Sobre tramos de tuberías que no requieran remoción frecuente para limpieza o mantenimiento.
4. Tan cerca como sea posible de concentraciones grandes de carga, tales como: tramos verticales, ramales de tubería, válvulas motorizadas o bien válvulas pesadas y recipientes menores, tales como separadores, colabores.

3.6.3 Espaciamientos de soportes

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, sencillo, 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.

Comúnmente el espaciamiento o tramo entre marcos del rack de tuberías se determinará con base en la tubería más débil. Las líneas de diámetro pequeños pueden apuntalarse a lo largo de extensos claros, proveyéndolas de soportes intermedios, sujetos a las tuberías adyacentes más grandes; Un grupo de líneas pueden atarse juntas, de tal manera que aumente la inercia combinada. Sin embargo, algunas veces, la solución más práctica es, incrementar el diámetro del tubo hasta el punto que sea auto soportante a lo largo del claro requerido.

Los claros permisibles para líneas horizontales están principalmente limitados por los esfuerzos longitudinales que deben mantenerse dentro de los límites o, en algunos casos, por la máxima deflexión. De igual manera, en otros casos especiales, puede limitarse el claro para controlar la frecuencia sónica natural de las líneas, a manera de evitar vibraciones indeseables.

Este espaciado 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.

Por economía de los soportes de sistemas de baja presión y temperatura y largas líneas externas de transmisión, la distancia entre soportes se puede basar sobre el esfuerzo total permisible de la tubería y la cantidad de deflexión permisible entre soportes.

3.6.4 Cálculos de movimientos térmicos en la tubería

El primer paso en el diseño de soportes de tuberías involucra el cálculo de la expansión térmica de la tubería en cada soporte localizado. La manera más económica de seleccionar el tipo de soporte apropiado es, tomar como criterios de diseño la cantidad de movimiento y la fuerza soportante requerida.

El cálculo de deflexiones y expansiones (desplazamientos) en tuberías se puede realizar manualmente o con el uso de herramientas computarizadas destinadas para tal fin; realizar estos cálculos manualmente implica un estudio altamente complicado del sistema, conllevando a su vez a un gasto de tiempo innecesario si se cuentan con sistemas computarizados que puedan calcularlas eficientemente.

Para los cálculos de movimientos en tuberías, se sugiere sean hechos con apoyo de un sistema computacional; el cual con un alto grado de exactitud, determina los desplazamientos y rotaciones que se generan en el sistema, producto de expansiones térmicas o esfuerzos de presión.

3.6.5 Cálculos de cargas en los soportes

Las expansiones térmicas de tubería en instalaciones modernas con altas presiones y temperaturas de operación, hacen necesario para el diseñador, especificar soportes flexibles, para lo cual se requiere un cálculo preciso para determinar la carga a considerar para el soporte.

Un sistema de suspensión bien balanceado dará como resultado valores aproximadamente iguales de las cargas en los colgantes y soportes, siempre y cuando toda la tubería sea del mismo tamaño y, no haya cargas altamente concentradas ubicadas cerca de un soporte. Donde existan cargas concentradas dentro del sistema, las cargas en los soportes y colgantes adyacentes serán correspondientemente mayores. Las siguientes cargas deben ser consideradas en los cálculos de diseño para soportes:

- Peso de la tubería y el aislamiento, sólo donde sea especificado.
- Peso de los fluidos contenidos en la línea, basado en agua o el fluido contenido; el que sea mayor. Cuando las líneas no son probadas hidrostáticamente, el peso del contenido de la línea puede ser basado sólo en los fluidos contenidos.
- Las cargas laterales ocasionadas por el movimiento de la línea o soportes.

El cálculo de las cargas de diseño para soportes puede determinarse por los métodos usuales de la estática. Obviamente, esto requiere que primero se seleccionen todas las ubicaciones de los soportes para la línea en consideración. Hay métodos de cálculo con calculadoras manuales, sin embargo, son tediosos cuando involucran configuraciones complejas de tubería. Cuando se presenta esta situación o para el caso de una tubería pegada a un equipo capaz de absorber cargas, se sugiere usar los programas de computación de flexibilidad en tuberías que existen, para determinar todas las reacciones de carga en los soportes.

3.7 Selección de soportes

La selección del tipo de soporte apropiado para cualquier aplicación dada, es gobernada por la configuración en particular de la tubería y las condiciones de operación.

Los tipos de soportes utilizados son clasificados generalmente de la siguiente manera:

3.7.1 Soportes flexibles

Cuando una tubería lineal se defleca verticalmente como resultado de la expansión térmica, es necesario proveer soportes flexibles. Estos aplican la fuerza soportante aunque la expansión y contracción ciclen al sistema.

Los soportes flexibles se subdividen en dos tipos: de carga constante y de carga variable.

3.7.1.1 Soportes flexibles de carga constante

Los 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 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.

3.7.1.2 Soportes flexibles de carga variable

Los 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.

La variación de la carga es igual al producto de la deflexión vertical y la constante del resorte. Puesto que el peso de la tubería es el mismo durante cualquier condición, en frío o en operación, la variación en la carga conlleva a la transferencia del peso de la tubería a equipos y soportes adyacentes y por

consecuencia se generan esfuerzos adicionales en el sistema de tuberías. Cuando un soporte flexible de carga variable es usado, el efecto de esta variación debe ser considerado.

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.

3.7.2 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. El material de la abrazadera de la tubería es usualmente acero al carbono para temperaturas de hasta 750°F (398.89°C), acero aleado para temperaturas superiores a 750°F (398.89°C) o hierro forjado para temperaturas de hasta 450°F (232.22°C)

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.

En algunas instancias, el soporte rígido además de ser usado como soporte del peso de la tubería, es también adecuado como una restricción del movimiento vertical de la tubería. En estos casos el ingeniero debe ejecutar con sumo cuidado la localización de los soportes rígidos y la carga de diseño que se use para seleccionar los componentes adecuados.

La instalación indiscriminada de un artefacto restrictor 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. Otra clasificación de soportes para tuberías es la siguiente:

3.7.3 Colgantes

Se usan para soportar el peso de sistemas de tuberías. Si se encuentran colocados por encima se denominan colgadores y, si están por debajo se denominan soportes. Los colgadores o soportes a su vez se clasifican en:

- *Colgantes tipo soporte rígido:* Para puntos libres de desplazamiento vertical.
- *Amortiguadores de resorte:* Puntos con desplazamientos menores a 2" (50.8 mm) en servicios no críticos.
- *Colgantes tipo soporte de carga variable:* Puntos con desplazamientos mayores a 2" (50.8 mm)
- *Colgantes tipo soporte de carga constante:* Puntos con desplazamiento vertical en servicios críticos.

3.7.4 Restricciones

Para restringir o limitar el movimiento de sistemas de tuberías debido a expansión térmica. Las restricciones se clasifican en:

- *Anclajes:* Para fijar completamente la tubería en ciertos puntos.
- *Topes:* Para prevenir el movimiento longitudinal de la tubería permitiéndole rotar.
- *Guías:* Para permitir desplazamientos en una dirección específica.
- *Amortiguadores:* Para limitar el movimiento de la tubería debido a fuerzas diferentes al peso y a la expansión térmica.
- *Clasificación de los Amortiguadores o Snubbers:*
- *Controladores de vibraciones:* Para prevenir o disminuir vibraciones.
- *Amortiguadores hidráulicos o mecánicos:* Para suprimir el movimiento debido a terremotos, golpes de ariete, sin restringir la expansión térmica.

4 PROYECCIÓN DEL ARREGLO DE TUBERÍAS

Después de que el diámetro y el material de la tubería han sido seleccionados, la lista de soportes básicos ha sido generada, de que el espesor requerido de pared de los tubos y el rango de bridas han sido establecidas, el diseñador de la tubería tendrá que elaborar una disposición económica de tuberías para el nuevo sistema. Además, el diseñador de tuberías debe familiarizarse con los problemas de soporteria, los tipos disponibles de soportes y su aplicación. A toda esta actividad se le llama proyección del arreglo de tuberías. Por ejemplo, las líneas de tubería deben ser proyectadas usando las estructuras existentes en los alrededores para proveer puntos lógicos de soporte, si hay espacio disponible en tales estructuras y se puede usar el soporte apropiado.

Para lograr este acometido se utilizaran varios documentos, dibujos principalmente, que, al final de la ingeniería de detalle serán emitidos (editados) como documentos oficiales para que sean construidos durante la fase de construcción.

Además de estos documentos existen documentos administrativos que el diseñador debe de llevar a cabo, estos son:

- El libro de trabajo del proyecto, en este se lleva el registro de las bases de diseño, la documentación entregada de ingeniería de detalle, el plan de actividades, el plan de calidad sus procedimientos, la distribución de "horas hombre" destinadas para cada área del proyecto, el contrato de trabajo, el alcance del proyecto, las especificaciones y estándares del cliente, etc. Comúnmente lo administra el líder de tuberías del proyecto, y todos los diseñadores deben tener acceso a él.

- La carpeta de la partición en donde se documentara la historia de todos los cambios y solicitudes hechas por el cliente, por el supervisor o por otras disciplinas, sketches, isométricos, dibujos de detalle, planos de equipo, avances de entrega del proyecto, etc. El diseñador del área es el responsable de administrar este documento y de entregarlo al final del diseño,

- La lista de líneas.- es un documento generado por ingeniería de proceso, que lista el número de líneas a diseñar identificadas con una nomenclatura definida por el cliente en las bases de diseño o algún otro documento específico para este menester. Debe indicar el punto de inicio donde parte la línea de tubería y cual será su punto de conexión final, las características de operación, y diseño de la tubería, si requiere análisis flexible por ser una línea crítica o no, diámetro nominal, especificación del material, requerimientos de limpieza química o sandblasteado, etc.

- El detalle de avance, modelado, y extracción de isométricos y planos, cada diseñador debe llevar un control sobre cuanto y cual es el avance de todos y cada uno de los documentos (dibujos) que deba entregar para el cierre de su área.

- El control personal de avances y requisiciones, este puede ser un documento oficial para el proyecto, sin embargo, sea oficial o no lo sea, es altamente recomendable llevarlo a cabo debido a que el diseñador es responsable de una gran cantidad de documentos y es muy fácil olvidar lo que se ha hecho durante el diseño. Por ello, el llevar esta bitácora puede ayudar al diseñador a registrar soluciones a problemas complejos que se le lleguen a presentar y, en caso de que en un futuro se vuelva a presentar un problema igual o parecido, el diseñador tenga una referencia clara de cómo poder aplicar la solución.

4.1 Tipos de dibujo

El diseñador de tuberías debe ser hábil para plasmar sus ideas en un dibujo, ya que éste será su medio de comunicación con las otras disciplinas en el proyecto y con los mismos diseñadores con quienes debe tener contacto profesional.

Existen tres principales tipos de dibujo que el diseñador debe conocer:

1) Los sketeches de diseño.- en el lenguaje coloquial son llamados “changos”. Son croquis (dibujos a mano alzada) donde el diseñador plasma una idea antes de representarla en un dibujo que pueda ser emitido de manera oficial, generalmente se usan para hacer las trasposiciones iniciales, las propuestas de ruteo, o para indicar las características de un arreglo sin detallar o entrar tanto en la configuración del mismo. Es muy común que los supervisores de diseño usen estos documentos para transmitir la idea de cómo debe de ser el arreglo de una línea, antes de que el diseñador comience a modelarla (proyectarla) en el dibujo isométrico o en el software de diseño pertinente al proyecto.

Su principal aplicación es durante el trabajo en campo, al hacer levantamientos. Debido a que es muy difícil llevar el equipo necesario para hacer un dibujo de calidad en el sitio (campo) generalmente se hace un croquis de la línea de la que se hará el levantamiento, y posteriormente, ya en la oficina, se realiza el dibujo isométrico con la calidad que se debe.

2) Los dibujos Isométricos.- Son el documento más importante para el diseñador de tuberías, con este dibujo se hará realidad su idea, es el documento que se entrega al constructor para que erija la línea, por lo tanto debe de ir con una calidad y una presión impecables, es un documento, no muy complejo, pero de alta importancia, de manera sencilla lo puede llamar “el producto de un diseñador de tuberías” ya que este será el que se entregue al cliente y además

es por lo que se obtiene una remuneración económica. Debe de contener ciertos datos básicos:

- Indicado el norte de la planta. (Generalmente se indica hacia arriba y a la derecha, en la parte superior izquierda del dibujo)
- El nombre (en iniciales) y firma del diseñador, checador, analista flexible, ingeniero de materiales y del supervisor de diseño.
- Los datos y condiciones de operación y diseño de la línea.
- La presión de prueba hidrostática.
- Los detalles especiales de fabricación de la línea.
- El arreglo de tuberías.
- La lista de materiales a usar.
- Las especificaciones de pintura y soldadura.
- Las coordenadas de conexión a equipos y/o a continuaciones de línea.
- Las soldaduras de campo y de taller.
- Las acotaciones respectivas del arreglo de tuberías.
- El plano de localización en la planta (en caso de ser requerido).
- Las notas especiales que puedan ser de importancia durante la construcción de la línea.
- La localización de los soportes con la nomenclatura indicada en los detalles de fabricación de los mismos.
- El sentido de flujo de la línea.
- El número de línea.
- El tipo de aislamiento y su espesor (sí es que lo requiere).
- El diámetro de la línea.
- Indicar si la línea llevara traza o no.
- Si el material llevara tratamiento térmico posterior a la soldadura de la línea
- El lugar de construcción: Campo o Taller
- El tipo de fluido que llevara la tubería (servicio)
- Las coordenadas de conexión a instrumentos y el número o tipo de instrumento.
- Fecha de emisión y de aprobación para construcción.

El dibujo isométrico representa el trabajo final del diseñador, es por ello que su calidad y presentación deben de ser de las mas altas.

3) Los planos de tuberías.- son como su nombre lo dice planos (dibujos ortogonales) que se emiten de manera oficial al terminar la fase de ingeniería de detalle del proyecto.

En ellos se muestra una composición general de cómo debería de quedar construido el arreglo de todas las tuberías en la nueva planta.

Es buena practica usar los planos como referencias durante la construcción, y como en todo buen plano dirigido a construcción deben de tener cierto contenido:

- Identificación de la vista, Planta elevación y dirección de la elevación.
- Localización de estaciones de servicio y copas de drenaje, ya sea a cerrado o abierto.
- Debe de mostrar los edificios estructuras y equipos principales.
- Coordenadas de localización equipos y de tuberías.
- Numero de línea con flecha de flujo y diámetro de la línea, así como indicaciones que identifiquen si lleva traza o aislamiento.
- Líneas de limite de baterías y de división de particiones (solo como ayuda para el keyplan) y las coordenadas de unión entre planos.
- Norte de la planta y croquis de localización de la misma.
- Acotaciones mínimas necesarias y simbología de identificación.
- Escala y sistema de acotación.
- Indicación de plataformas, niveles en edificios, áreas de mantenimiento bien acotadas, así como escaleras y rutas de acceso y evacuación.
- No se deben de mostrar líneas ocultas. (A menos que el cliente lo requiera)
- El nombre (en iniciales) y firma del diseñador, checador, analista flexible, ingeniero de materiales y del supervisor de diseño.
- Fecha de emisión y de aprobación para construcción.

Extras a estos tres tipos de dibujo principales, el diseñador de tuberías debe de ser capaz de comprender e interpretar planos de arreglo de equipos, planos estructurales, planos civiles, diagramas de instrumentos, diagramas de flujo, diagramas de tuberías e instrumentación, por mencionar algunos.

4.1.1 Terminología de dibujo

En el idioma del diseñador de tuberías existen varios términos técnicos, a continuación se enlistan los principales:

a) Norte de planta.- es un punto de referencia (una dirección de hecho) que es designada durante la fase de ingeniería básica del proyecto, indica la posición norte de la planta que se usara durante el diseño. Por convención en el diseño de plantas industriales se usan coordenadas cartesianas y espaciales para identificar la localización de equipos, tuberías, estructuras, etc.; para ello se da una punto a nivel de piso, la izquierda y al sur de la localización real de la planta, este punto será tomado como la coordenada origen (N0, E0,EI.0) durante el desarrollo de la ingeniería básica, de detalle y la construcción del proyecto, con el fin de que no existan coordenadas negativas y facilitar el desarrollo del proyecto. Usando las coordenadas X,Y,Z el cliente designa a alguna de estas como el norte de la planta, (general mente Y o las ordenadas viendo desde una

vista aérea el punto origen para el diseño de la planta), y las restantes serán el este y la elevación.

b) Vistas.- se le llama vistas a las representaciones en dibujo de un arreglo de tuberías equipo o edificio en dos dimensiones (dibujo ortogonal), para ello se usan dos tipos:

Vista en planta.- es una vista como si el dibujante proyectista o el diseñador se colocara viendo desde el aire y hacia abajo la planta o el área que se desea proyectar. Es necesario indicar la elevación del nivel que se está proyectando, por ejemplo: PLANTA ELEVACIÓN 100.000

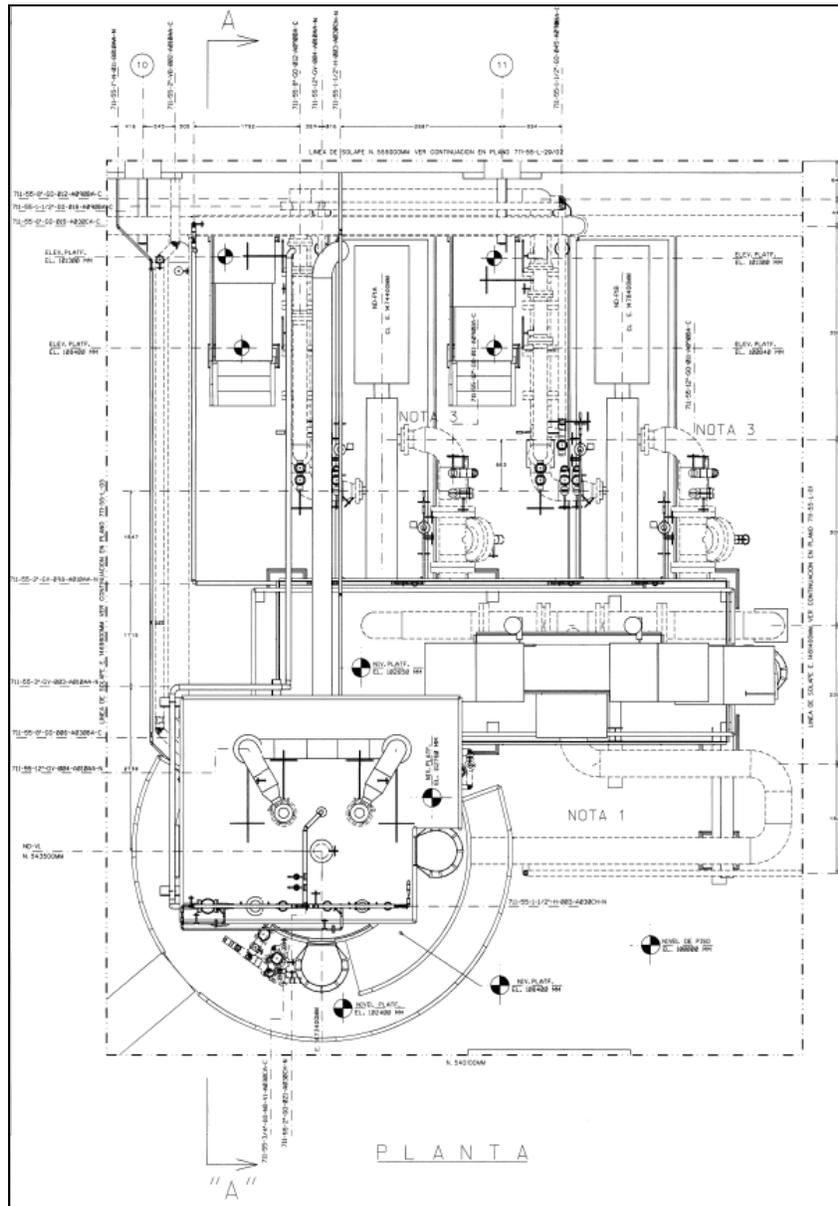


Fig. 7.1 Arreglo general de un reactor y sus bombas. Vista en planta

Vista de elevación: es la vista que se obtiene al proyectar una representación de cómo se vería el área, línea edificio, equipo o lo que se desee proyectar, si uno la viera de frente. Es decir, como si te pararas enfrente de un edificio y solo miraras hacia el frente de ti. Es imprescindible indicar la dirección en la que se esté proyectando, por ejemplo: ELEVACIÓN VISTA AL ESTE.

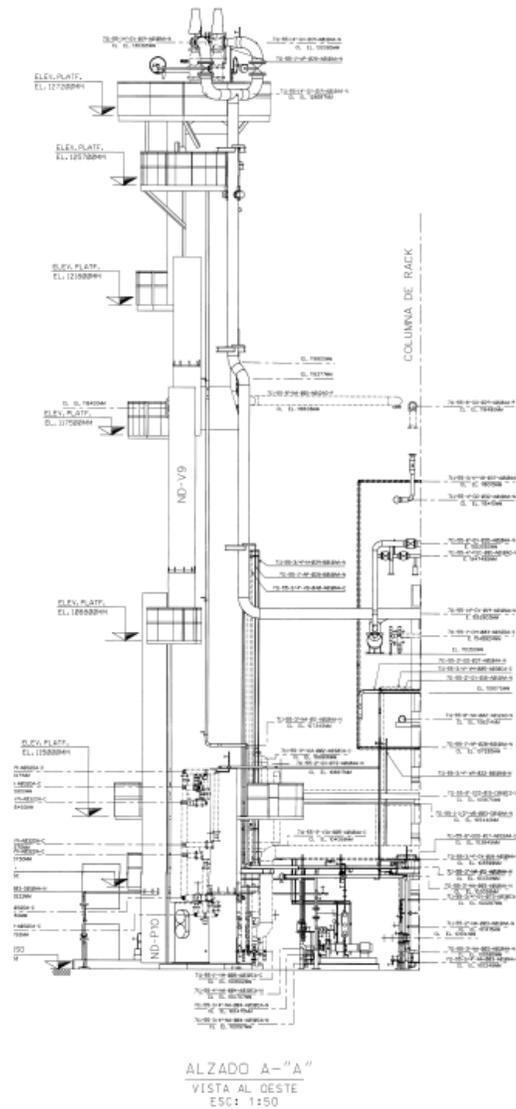


Fig. 7.2 Vista en elevación de una torre de enfriamiento

c) Línea.- al contrario de lo que se piense, una línea es la tubería en si, desde el punto de origen de la tubería hasta el ultimo punto de conexión de la misma. Solo que como la proyección de las tuberías se hace por medio de líneas unifilares, se acostumbra llamarlas así, simplemente LINEAS. Es importante no confundir este termino con él termino línea usado en dibujo.

d) Isométrico.- Es la representación unifilar de una tubería, o tramo de ella, en proyección isométrica, es decir tridimensionalmente localizando cada plano dimensional a un ángulo de 120° con respecto del otro. Generalmente una línea se divide en varias hojas para su representación y por cada hoja se genera un isométrico, así es más fácil su representación y trabajo.

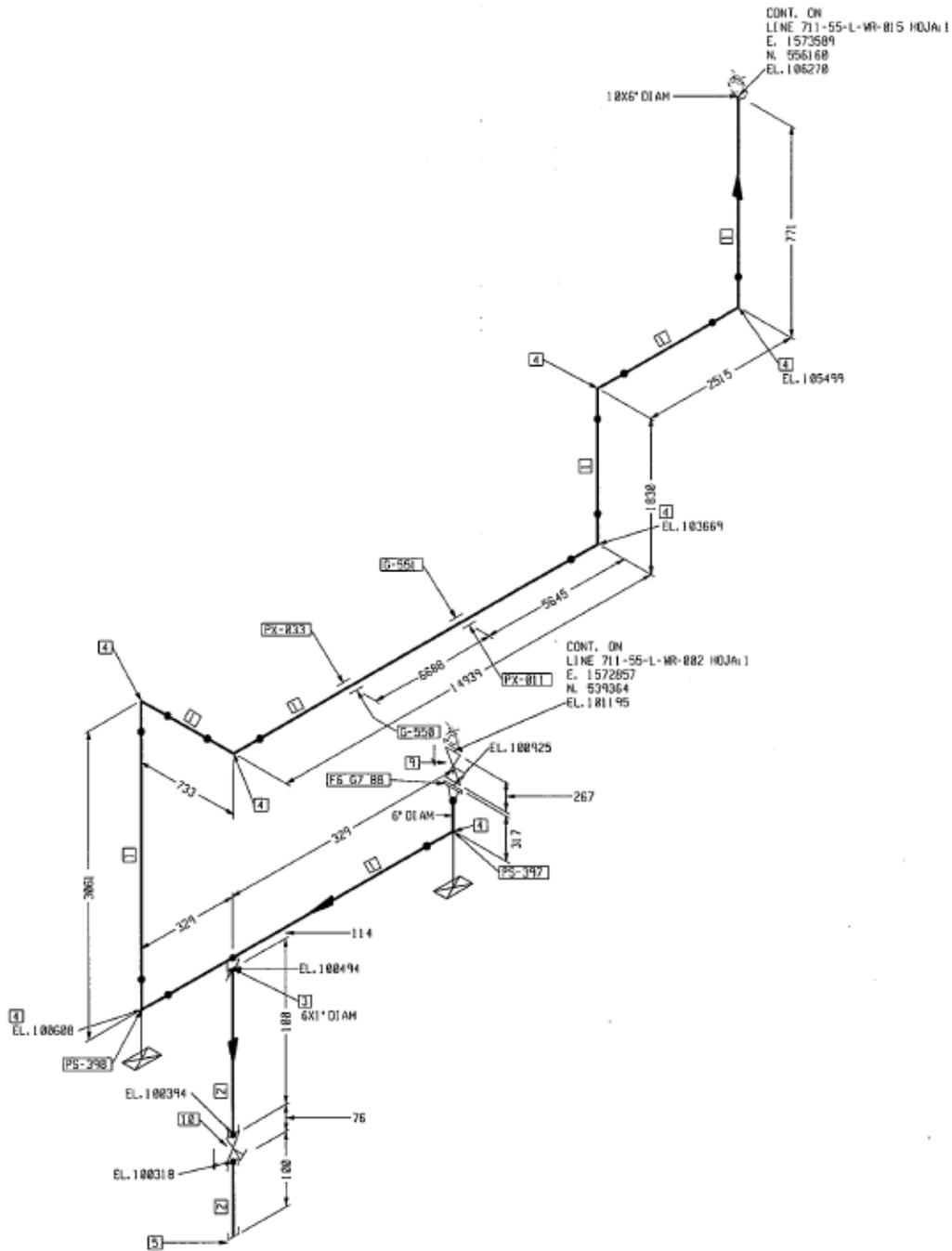


Fig. 7.3 Isométrico de tuberías

e) Paso de tubería.- en un isométrico, cuando una tubería atraviese una plataforma, esta debe de ser indicada, a esto le llaman paso de tubería y se debe de indicar el dato de la elevación de la plataforma que este atravesando

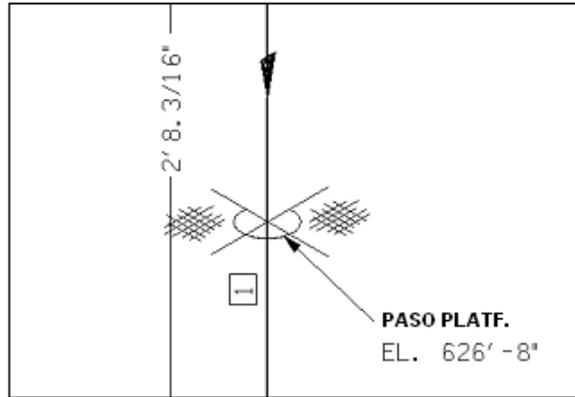


Fig. 7.4 Representación en isométrico de un paso de tuberías

f) Cambio de especificación.- para indicar cuando una tubería cambia de rango de presión y por lo tanto de tipo de material a usar, se debe de indicar en el isométrico una bandera con el cambio de especificación, estas banderas también se utilizan para indicar el límite de alcance entre disciplinas, entre compañías, un cambio de tipo o espesor de aislamiento, por mencionar los más básicos.

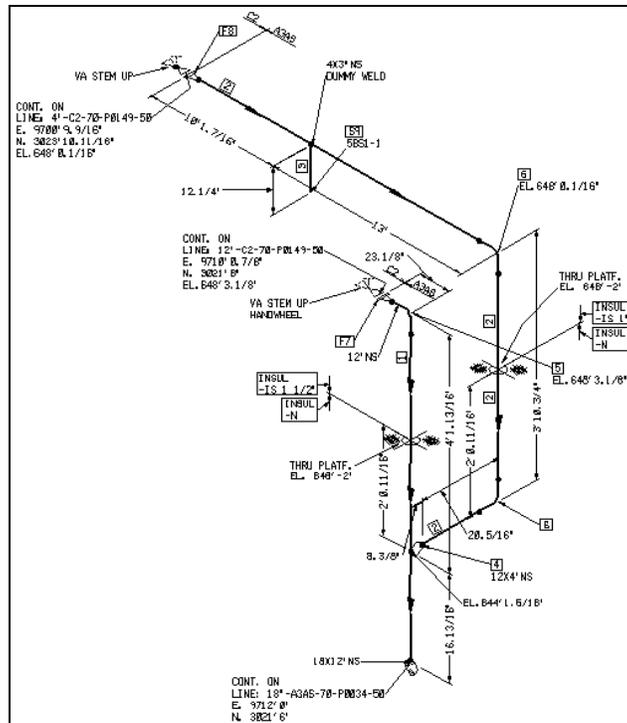


Fig. 7.5 Representación en isométrico de un cambio de especificación

g) Flecha de flujo: es una flecha que se usa para indicar el sentido del flujo del fluido que llevara la tubería, se debe de indicar después de colicar una derivación, en las válvulas check, en las válvulas de control y en la misma derivación si es que la hay. No puede emitirse un isométrico a construcción sin este dato indicado correctamente.

g) Nubes y triángulos de revisión.- Cuando un isométrico ya ha sido emitido como un documento oficial a construcción, no ha sido construido, y es necesario hacerle un cambio por alguna razón, se dice que se le hará una revisión. Esta revisión debe de ser indicada por medio de triángulos que indiquen el número o letra de la revisión y el cambio hecho en el dibujo encerrado en una nube para poder identificarlo con facilidad. Las nubes también pueden ser utilizadas para indicar notas en el dibujo.

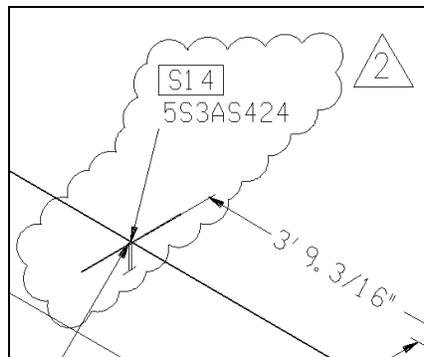
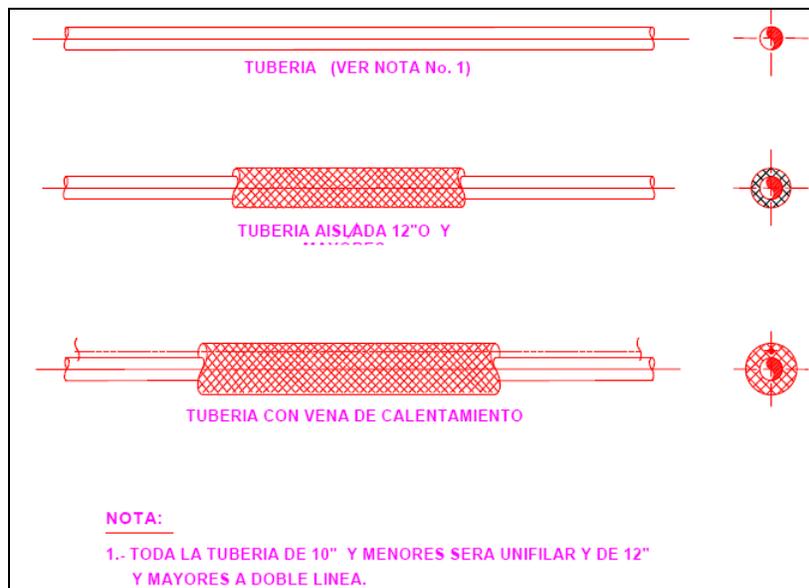


Fig. 7.6 Representacion grafica indicando una nube de revision

4.1.2 Tipos de línea para proyectar.



Durante la proyección del diseño, un dibujante proyectista, un modelador o incluso el mismo diseñador de tuberías es el indicado para plasmar las ideas en los dibujos o en los planos.

Para elaborar este trabajo se requiere conocer la simbología y las convenciones que existen para el dibujo de tuberías en dos y tres dimensiones.

Las tuberías se pueden proyectar de dos maneras, en forma unifilar, es decir representadas con una sola línea, o a doble línea.

Convencionalmente, en un dibujo de dos dimensiones (proyección ortogonal), las tuberías de diámetro nominal 4" y mayores son representadas a doble línea simulando el espacio que ocuparan por su diámetro exterior, incluyendo el espesor del asilamiento si es que lo llevaran.

Para tuberías de 4" y menores se usa la línea unifilar, como en el caso de las líneas para estaciones de servicio.

Ahora, las tuberías se dibujan usando diferentes tipos de línea, los convencionalmente usados son:

Línea continua.- es una línea sin interrupciones que se usa para el contorno de la tubería (el caso de tuberías mayores) o para la proyección unifilar usada para las tuberías menores. Es muy acostumbrado usar este tipo de línea para representar las tuberías aéreas, es decir las que se encuentran hacia arriba a partir del nivel de piso terminado (N.P.T.) indicado para el proyecto.

Línea gruesa	
Línea mediana	
Línea fina	

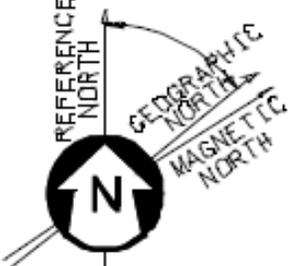
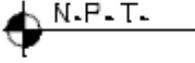
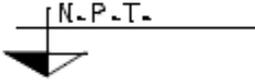
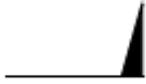
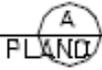
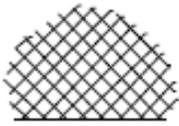
Línea Punteada.- se usa para indicar tuberías enterradas simulando que están cultas bajo alguna plataforma o el N.P.T.

Línea punteada	
----------------	--

Línea – punto -línea o línea de centros.- también llamada línea mixta, se usa para representar los centros de línea de tuberías y equipos, convencionalmente se usa la simbología CL para representar el centro de línea de un equipo o tubería, y es un estándar usar esta línea para indicar la coordenada de localización de un equipo o tubería.

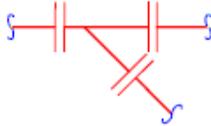
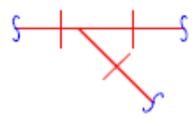
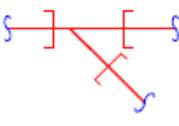
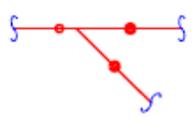
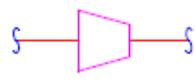
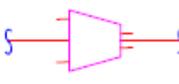
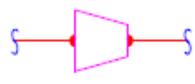
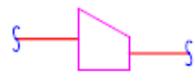
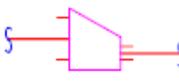
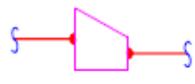
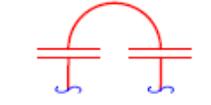
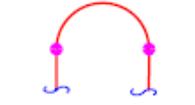
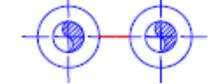
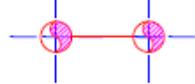
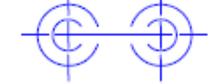
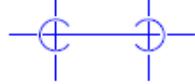
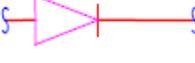
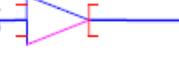
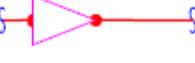
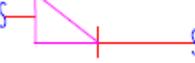
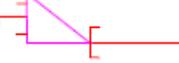
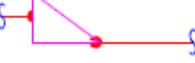
Línea de centros	
------------------	--

4.2.1 Símbolos Generales

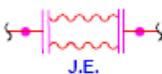
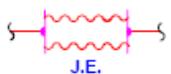
 <p>REFERENCE NORTH GEOGRAPHIC NORTH MAGNETIC NORTH</p> <p>NORTE PLANTA</p>	 <p>N.P.T.</p> <p>NIVEL DE PISO TERMINADO PLANTA</p>	 <p>N.P.T.</p> <p>NIVEL DE PISO TERMINADO ELEVACION</p>
 <p>SÍMBOLO DE EJE</p>	 <p>PLANO</p> <p>SÍMBOLO DE CORTE</p>	 <p>SÍMBOLO DE DIRECCION DEL CORTE</p>
<p>DETALLE</p>  <p>PLANO</p> <p>SÍMBOLO DE DETALLE</p>	<p>TITULO</p>  <p>PLANO</p> <p>ESC. 1:1</p> <p>SÍMBOLO PARA TITULO DE CORTE O DETALLE</p>	 <p>PLATAFORMA</p>
 <p>TIERRA</p>	 <p>CORTE TUBO</p>	 <p>SENTIDO DE FLUJO</p>

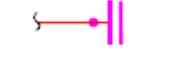
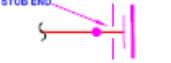
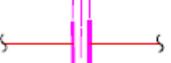
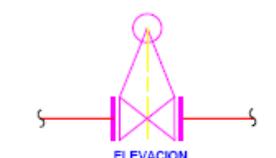
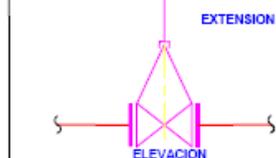
4.2.2 Simbología de conexiones en proyección unifilar

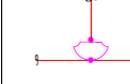
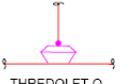
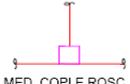
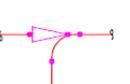
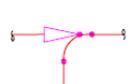
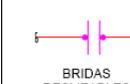
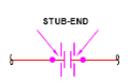
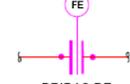
DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
CODO DE 90 °R.L.				
CODO HACIA ARRIBA				
CODO HACIA ABAJO				
CODO 90° RADIO CORTO				
CODO DE 45°				
TE				
TE HACIA ARRIBA				
TE HACIA ABAJO				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
CONEXION LATERAL				
REDUCCION CONCENTRICA				
REDUCCION EXCENTRICA				
CODO 180° RADIO LARGO RADIO CORTO				
CODO 180° HACIA ARRIBA				
CODO 180° HACIA ABAJO				
REDUCCION SUAJE CONCENTRICA				
REDUCCION SUAJE EXCENTRICA				

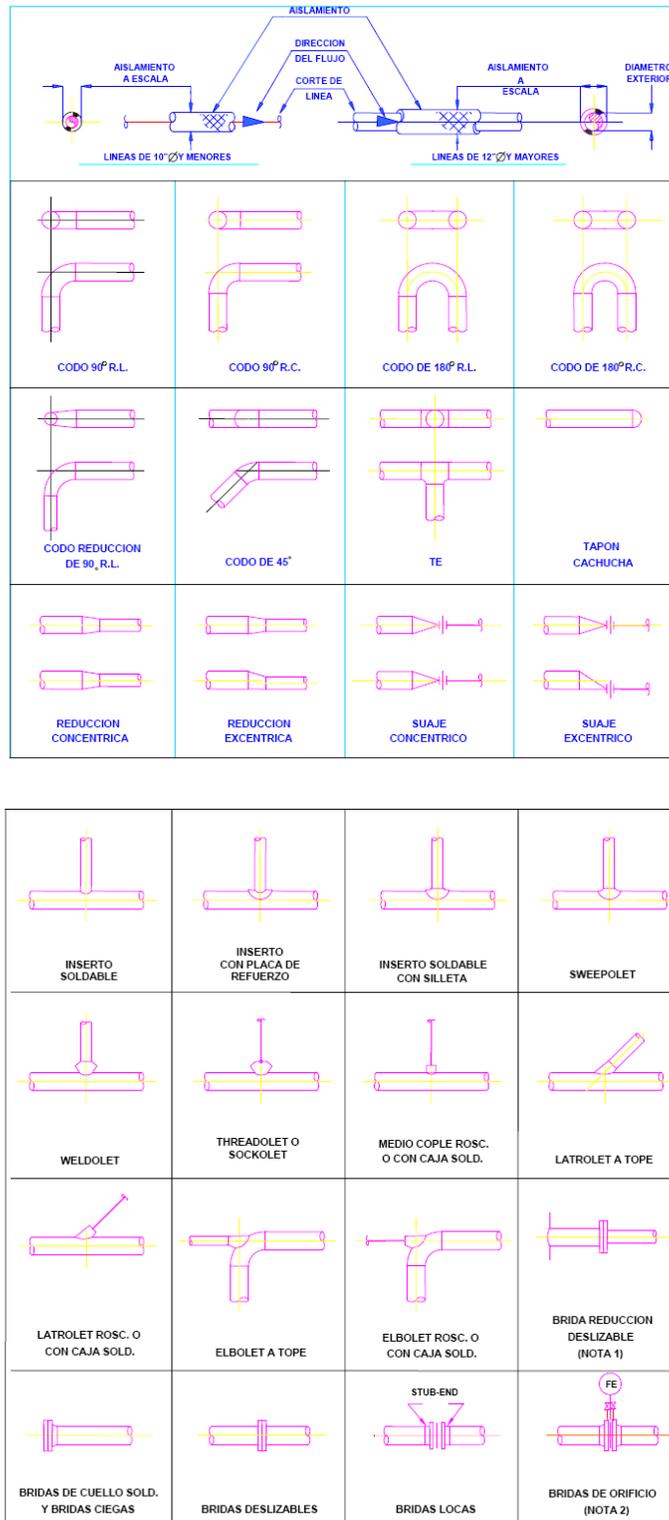
DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
REDUCCIONES		<p>BUSHING 1" 3/4"</p>	<p>INSERTO SOLD. 3/4" 1"</p>	
MEDIO COPLE		<p>1" 3"</p>	<p>3/4" 3"</p>	
COUPLE UNION				
UNION EN TRES PIEZAS (TUERCA UNION)				
TAPON				
CONEXION PARA MANGUERA				
FILTRO TIPO "Y" (STRAINER)				
FILTRO TIPO "T"				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
FILTRO CONICO (TEMPORAL)				
JUNTA DE EXPANSION				

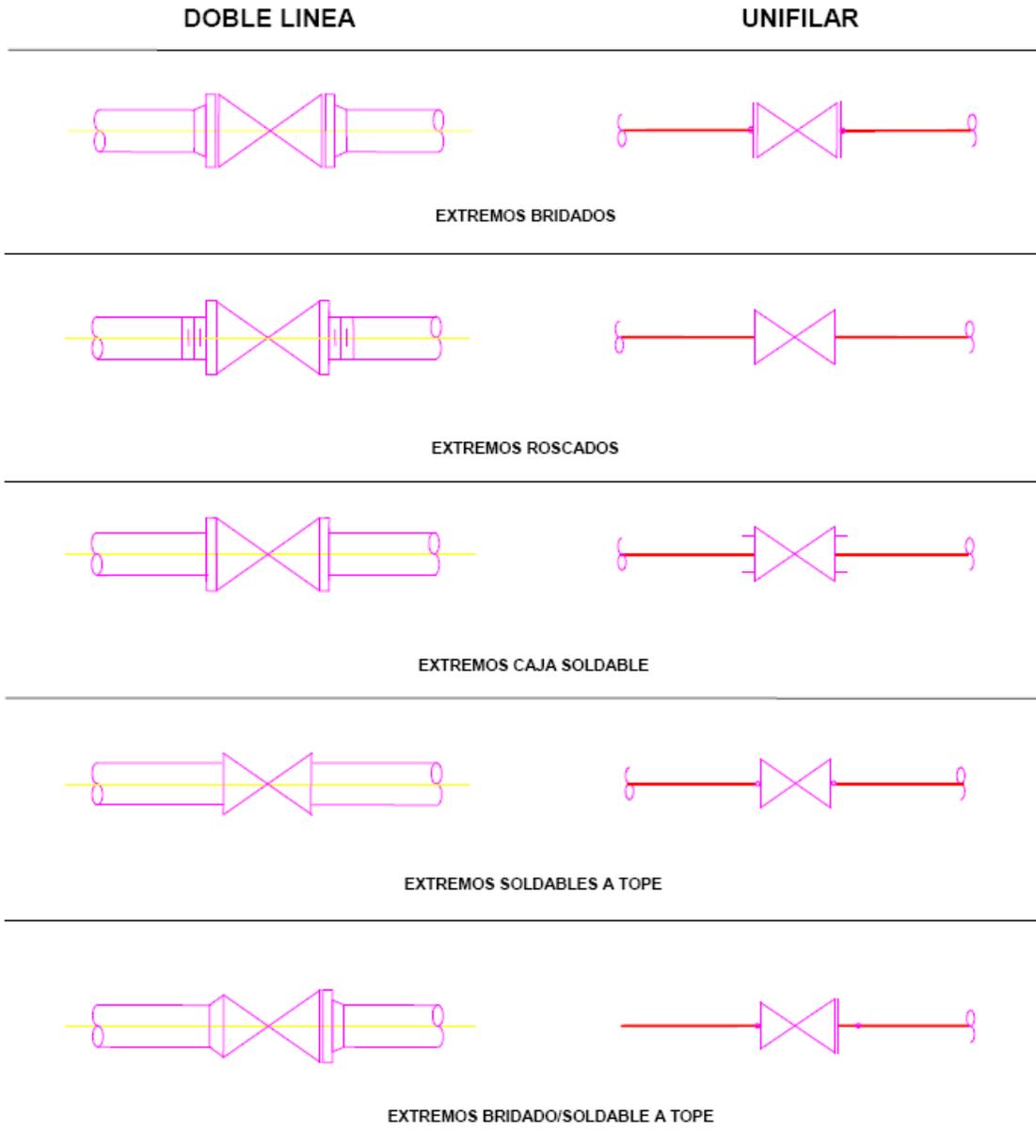
BRIDAS	 CUELLO W.N.	 DESIZABLE S.O.	 CAJA SOLD. S.W.	 ROSCADA THR.D.	 REDUCCION 4" 2" W.N. Y L.J.
	 CIEGA B.F.	 TRASLAPE L.J.	 DE ORIFICIO FE	 OCHO	
VOLANTES	 ACCIONADO/CADENA PLANTA		 ACCIONADO/ENGRANES ELEVACION		 EXTENSION ELEVACION

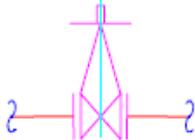
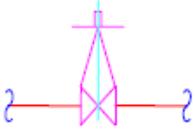
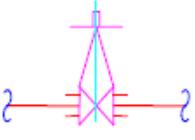
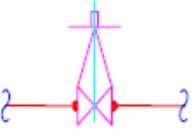
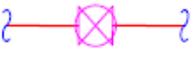
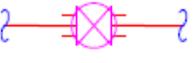
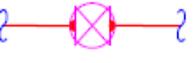
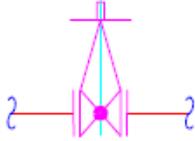
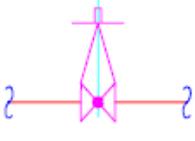
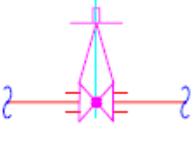
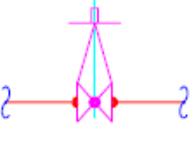
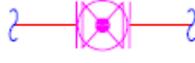
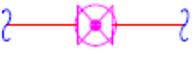
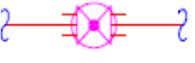
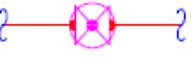
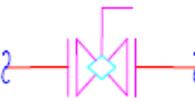
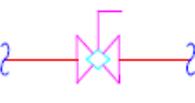
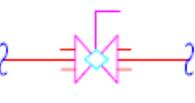
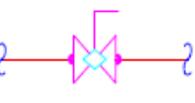
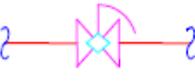
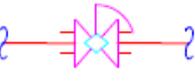
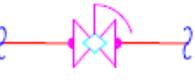
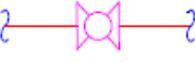
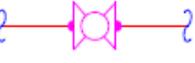
 INSERTO SOLDABLE	 INSERTO SOLD. CON PLACA RFZO.	 INSERTO SOLD. CON SILLETA	 SWEEPOLET
 THREDOLET O SOCKOLET	 MED. COPLE ROSC. O CON CAJA SOLD.	 LATROLET A TOPE	 LATROLET ROSC. O CON CAJA SOLD.
 ELBOLET A TOPE	 ELBOLET ROSC. O CON CAJA SOLD.	 BRIDAS DE CUELLO SOLD. Y BRIDAS DESLIZABLES	 BRIDAS DESLIZABLES
	 STUB-END BRIDAS LOCAS	 FE BRIDAS DE ORIFICIO	

4.2.3 Simbología para conexiones en proyección a doble línea



4.2.4 Válvulas



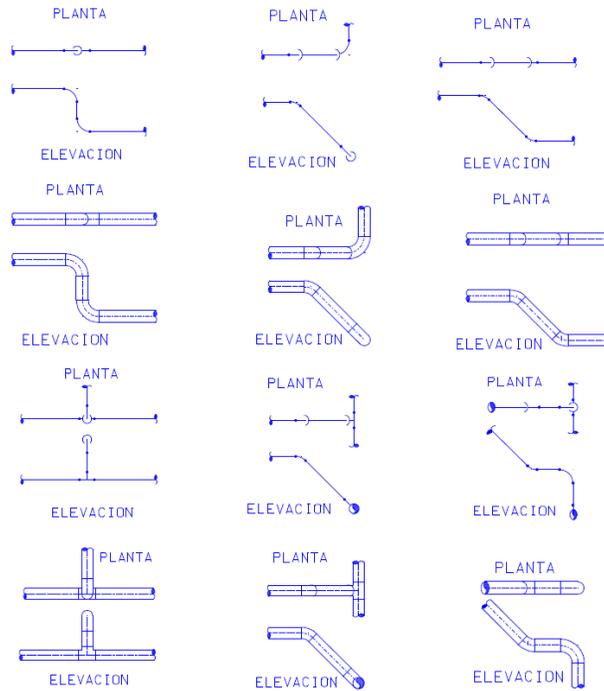
DESCRIPCION	BRIDA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
VALVULA COMPUERTA (ELEVACION)				
VALVULA COMPUERTA (PLANTA)				
VALVULA GLOBO (ELEVACION)				
VALVULA GLOBO (PLANTA)				
VALVULA MACHO (ELEVACION)				
VALVULA MACHO (PLANTA)				
VALVULA DE BOLA (PLANTA)				
VALVULA DE (ELEVACION)				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
VALVULA DE DIAFRAGMA				
VALVULA DE RETENCION (ELEV. O PLANTA)				
VALVULA TIPO " Y "				
VALVULA DE RETENCION TIPO DUO-CHECK				
VALVULA DE ANGULO (ELEVACION)				
VALVULA ANGULO (PLANTA)				
VALVULA 3 VIAS (ELEVACION)				
VALVULA DE AGUJA				

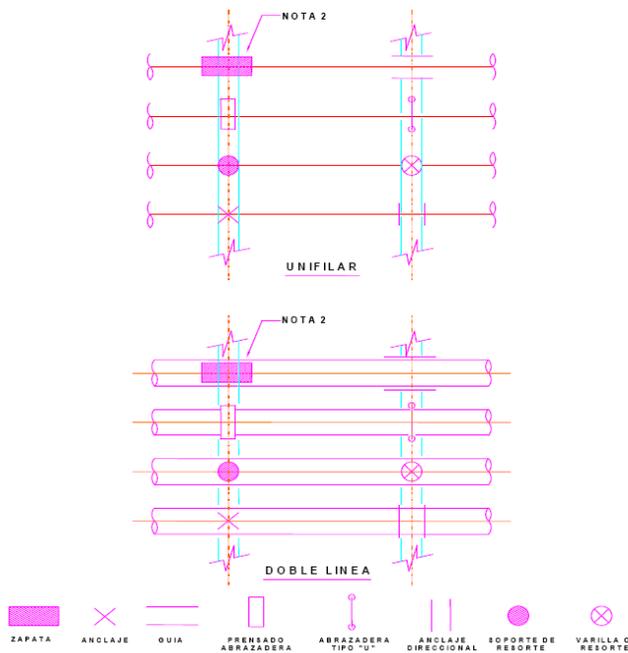
DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
VALVULA DE SEGURIDAD O DE ALIVIO (ELEVACION)				
VALVULA DE CONTROL				
VALVULA DE MARIPOSA (MANUAL)				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLD.	SOLD A TOPE
VALV. COMP. O GLOBO OP./ENGRANES (ELEVACION)				
VALV. COMP. O GLOBO OP./ENGRANES (PLANTA)				
VALV. MACHO C/OPERADOR DE ENGRANES (ELEVACION)				
VALV. MACHO C/OPERADOR DE ENGRANES (PLANTA)				
VALV. BOLA C/OPERADOR DE ENGRANES (ELEVACION)				
VALV. BOLA C/OPERADOR DE ENGRANES (PLANTA)				
V. MARIPOSA C/OPERADOR DE ENGRANES (ELEVACION)				
V. MARIPOSA C/OPERADOR DE ENGRANES (PLANTA)				

4.2.5 Cambios de dirección



4.2.6 Soportes



NOTAS: 1.- EN PLANOS DE TUBERIA, LOS SIMBOLOS INDICADOS SE HACE REFERENCIA AL DETALLE O AL ESTANDAR DE APLICACION.
 2.- EL SIMBOLO DE ZAPATA SOLO SERA USADO EN ESPECIALES JUSTIFICABLES.

4.2.7 Conexiones en isométrico

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADAS	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
CODO 90°				
CODO 45°				
TE				
CONEXION LATERAL				
REDUCCION CONCEN-TRICA		RED. CAMPANA 		
REDUCCION EXCENTRICA				
REDUCCION SUAJE CONCEN-TRICA				
REDUCCION SUAJE EXCENTRICA				
DESCRIPCION	BRIDADO	ROSCADO	CAJA SOLDABLE	A TOPE SOLDABLE
REDUCCIONES		RED. BUSHING 1" 3/4" 	INSERTO RED. 3/4" 1" 	
MEDIO COPLE		1" 3" 	3/4" 3" 	
COPLE UNION				
UNION EN TRES PIEZAS (TUERCA UNION)				
TAPON				
THREDOLET, SOCKLET Y WELDOLET.		THRED. 3/4" 10" x 3/4" 10" 	SOCK. 3/4" 10" x 3/4" 10" 	WELD. 6" 10" x 6" 10"
FILTRO TIPO "Y"				
FILTRO TIPO "T"				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
FILTRO CONICO (TEMPORAL)				
JUNTA DE EXPANSION	J.E. 			J.E.
BRIDAS	CUELLO W.N. 	DESIZABLE S.O. 	CAJA SOLDABLE S.W. 	ROSCADA THR.D.
BRIDAS	CIEGA B.F. 	TRASLAPE (LOCA) L.J. 	CUELLO PORTA ORIFICIO 	OCHO
VOLANTES	ACCIONADO POR CADENA 	ACCIONADO POR ENGRANES 	EXTENSION 	

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
VALVULA COMPUERTA				
VALVULA DE GLOBO				
VALVULA TIPO "Y"				
VALVULA MACHO				
VALVULA DE BOLA				
VALVULA DE DIAFRAGMA				
VALVULA DE RETENCION (CHECK)				
VALVULA DE RETENCION TIPO DUO-CHECK				

DESCRIPCION	BRIDADA	ROSCADA	CAJA SOLDABLE	SOLDABLE A TOPE
VALVULA DE GLOBOS ANGULIC				
VALVULA TRES VAS				
VALVULA INVERTIDA				
VALVULA TIPO GUJA				
VALVULA DE SEGURIDAD DE ALMO				
VALVULA DE CONTROL				

4.3 Abreviaturas usadas en la proyección del diseño de tuberías

Como en todas las áreas del dibujo de proyección, el dibujo de proyección de tuberías necesita utilizar abreviaturas para reducir espacios al usar textos en el dibujo, para ello se muestran a continuación las abreviaturas básicas utilizadas para la proyección del diseño de tuberías:

Iniciales		Significado
Ingles	Español	
GENERALES		
#	#	Libraje
PWHT	TTDS	Tratamiento termico después de soldado
WT	W	Peso
TYP	TIP	Típico
GALV	GALV.	Galvanizado
FS.	AC. FORJ.	Acero Forjado
BLDG EDIF.	EDIF.	Edificio
DIA. ϕ	DIA. ϕ	Diámetro
ELEV	EL.	Elevación
FLG	BRD	Brida

INS	AIS	Aislamiento
PSIG	PSI	Libras por pulgada cuadrada manométrica
°F	°F	Grados Fahrenheit
°C	°C	Grados Centígrados
SPEC	ESPEC.	Especificación
TEMP	TEMP.	Temperatura
BL	LB	Límite de baterías
HPFS	NPT	Nivel de piso terminado
BOP	LBT	Lecho bajo de tubo
TOS	NTP	Nivel tope perfil
BOS	NBP	Nivel bajo perfil
WP	PT	Punto de trabajo
FW	SC	Soldadura de campo
HPSL	NSS	Nivel superior de soporte
CL	CL	Centro de línea
HPPLATF.	N.S.PLATF.	Nivel superior de plataforma
HPGL	NSR	Nivel superior de rejilla
FOF	ECB	Elevación cara de brida
BW	ST	Soldadura a tope
ID ϕ_I	DI ϕ_I	Diámetro Interior
OD ϕ_O	DE ϕ_E	Diámetro Exterior
STMTR	TRZ	Trazado de Vapor
B & S	C Y E	Campana y espiga
B & B	C Y C	Campana y campana
STD	ESTAND.	Estándar
SS	AC.INOX.	Acero Inoxidable
SCH	CED.	Cédula del tubo
EWR	C/C	Tubería con costura
SMLS STL	S/C	Tubería sin costura
HDPE	HDPE	Tubería de polietileno de Alta Densidad
FRP	FRP	Tubería de fibra de vidrio
DIP	HD	Tubería de hierro dúctil
CI	FoFo	Tubería de fierro fundido (Cast-Iron).
CS	AC. C.	Acero al carbón
PVC	PVC	Tubería de Cloruro de Polivinil.
XS	XS	Extra reforzado
XXS	XXS	Doble extra reforzado
TOE	E.R.	Un extremo roscado
NPS	DN	Diámetro nominal
POE	E.P	Un extremo plano
BOE	E.B.	Un extremo biselado
EFW	S.F.E.	Soldadura por fusión eléctrica
ERW	S.E.R.	Soldadura por resistencia eléctrica
GR	GR	Grado

CONEXIONES		
REDC. TEE	TE REDC.	Te reducción
SR ELL	CODO RC	Codo de radio corto
LR ELL	CODO RL	Codo de radio largo
EXP.JNT.	JE	Junta de expansión
ECC.SWG.	SUE	Suaje excéntrico
CONC.SWG.	SUC	Suaje concéntrico
T & C	ROSC.C/CPL	Roscado con cople
SAMP ST	TM	Toma de muestra
LR	RL	Radio Largo
SR	RC	Radio Corto
CONC. RED.	RED. CONC.	Reducción Concéntrica
ECC. RED.	RED. EXC.	Reducción Excéntrica
M & F	M & H	Macho y hembra
NOL	NOL	Nippolet
SOL	SOL	Sockolet
WOL	WOL	Weldolet
SCRD	ROSC.	Roscado
NPT	ROSC	Tubería roscada con desvanecimiento
WNF	BCS	Brida de cuello soldable
SOF	BD	Brida deslizable
THDF	BR	Brida roscada
SWF	BIS	Brida inserto soldable
LJF	BT	Brida traslape
REDC: FLG	BRD REDC:	Brida reducción
BF	BC	Brida ciega
RF	CR	Cara realzada
FF	CP	Cara plana
RTJ	JA	Cara junta de anillo
T&G	CRL	Cara ranura y lengüeta
TORNILLOS, ESPÁRRAGOS Y EMPAQUES		
B HEX NUT	TMH	Tornillo maquinado tuerca hexagonal.
MB HEX NUT	TCH	Tornillo cabeza y tuerca hexagonal.
SB	E & T	Espárrago con tuercas hexagonales.
FFRG	APC	Anillo plano completo
FRG&T	APR	Empaque anillo plano para ranura y lengüeta
RGM&F	APM	Empaque anillo plano para macho / hembra
RGFF	EACP	Empaque tipo anillo cara plana
RGRF	EACR	Empaque tipo anillo, cara realzada
VÁLVULAS		
OS & Y	ROSC. & Y.E.	Rosca y yugo exterior
NC	N.C.	Normalmente cerrada

NO	N.A.	Normalmente abierta
LC	C.C.C.	Cerrada con candado
LO	A.C.C.	Abierta con candado
CH OP	OP.C.C.	Operada con cadena
GEAR OP	OP.ENGR.	Operada con engranes
B B	B B	Bonete atornillado
IBBM	IBBM	Cuerpo de acero, Interiores de bronce
WB	WB	Bonete soldado

4.4 Consideraciones sobre el arreglo general de tuberías

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

Facilidad de Operación.- Los puntos de operación y control tales como aquellos donde están instalados válvulas, bridas, instrumentos, toma-muestras y drenajes, deberán ser ubicados de modo que esas partes del sistema puedan ser operadas con mínima dificultad.

Accesibilidad para Mantenimiento.- El sistema de tubería deberá ser proyectado de manera tal que cada porción del sistema pueda ser reparado o reemplazado con mínima dificultad. Deben proveerse espacios libres, como por ejemplo, en los cabezales o extremos de los intercambiadores de calor, carcasa y tubos, para permitir la remoción del haz tubular.

Economía.- Deben llevarse a cabo estudios de ruta de las tuberías, para determinar el trazado económico del sistema. Existe una tendencia frecuente de parte de algunos diseñadores a prever excesiva flexibilidad en los sistemas de tuberías. Esto puede incrementar los costos de material de fabricación más de lo necesario y algunas veces puede conducir a vibraciones excesivas en el sistema.

Requerimientos Especiales de Proceso.- Para algunos sistemas de tubería, la presión disponible es crítica, de modo que las pérdidas de presión por flujo debido a codos y otros accesorios en la línea deben ser minimizadas.

Ampliaciones Futuras.- En el diseño de un sistema de tubería deben hacerse consideraciones sobre la posibilidad de futuras ampliaciones.

Apariencia.- El sistema de tubería nuevo deberá proyectarse de forma que armonice físicamente con los sistemas de tuberías existentes, con los equipos y los elementos de infraestructura de la refinería, tales como calles, edificios, etc.

Minimizar los Extremos.- Los extremos muertos y bolsas en las partes bajas de los sistemas de tubería deben ser evitados en lo posible. Esas partes ocasionan dificultades en el drenaje de los sistemas de tubería.

Todos los extremos muertos y bolsas en las partes bajas del sistema, así como los puntos altos, deben ser provistos de drenajes adecuados.

Maximizar el Uso de Soportes Existentes.- Donde sea posible, la tubería debe tenderse sobre soportes existentes o extendidos de soportes existentes, con el fin de reducir costos de soporteria. La capacidad de carga de los soportes existentes debe ser evaluada, para asegurarse de que puede soportar la carga adicional de las tuberías nuevas.

Separaciones para Expansión Térmica.- Debe preverse la separación suficiente, entre tuberías adyacentes y entre una tubería y obstrucciones estructurales adyacentes, para tomar en cuenta la libre expansión térmica de la tubería. Las separaciones requeridas deben basarse en las máximas expansiones térmicas diferenciales aun bajo condiciones anormales.

4.5 Ejemplo de aplicación

Ahora, ya con conocimiento de los criterios y herramientas básicas para el diseño de tuberías, desarrollaremos un sistema de tuberías de grado intermedio, es decir, será un sistema de tuberías complejo, el más sencillo de los sistemas complejos a decir verdad, pero no por ello despreciable.

Se trata de uno de los más importantes sistemas de tuberías en plantas industriales: la succión de un par de bombas tipo 50-50, proveniente de la torre de destilados medios, y que transporta diesel de 1ª refinación. Durante el desarrollo se tomará en cuenta que este es un ejemplo de diseño básico, así que supondremos como los correctos y además como los que se usaran durante la construcción:

a) La localización y datos de equipos, estructuras, niveles de elevación de piso terminado, elevaciones de las camas de tuberías y la separación entre marcos del rack de tuberías,

b) Las condiciones de operación y diseño, además de las consideraciones del DTI de proceso.

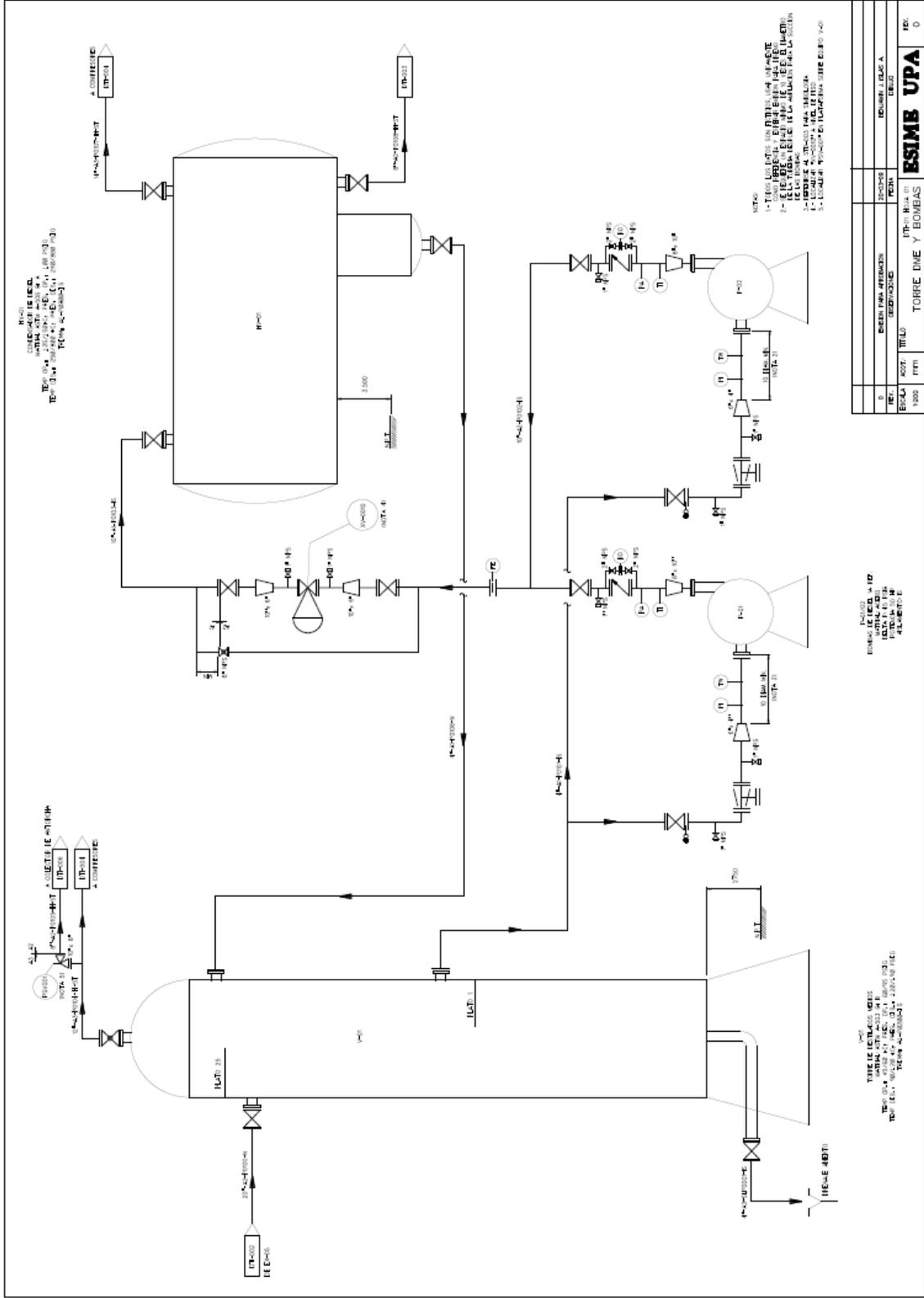
La selección de materiales, análisis de esfuerzos y análisis de logística de materiales no se llevara acabo en este ejemplo, cada uno de estos trabajos representa prácticamente un análisis independiente al que refiere este trabajo, es decir, cada uno representa una tesis por sí mismo. Diseño de tuberías, como tal, no debe inmiscuirse a detalle en estos menesteres, su responsabilidad es la de asegurarse que los análisis y datos obtenidos sean correctos y concordantes con el diseño, mas no la de realizarlos. Sin embargo esto no quiere decir que el diseñador no sea responsable por los errores o aciertos cometidos por las áreas de especialidad adyacentes a su trabajo, como fue mencionado en este documento anteriormente:

“En el diseñador de tuberías recae toda la responsabilidad del diseño, incluyendo cálculos, selección de material, contabilización del material y VoBo de la construcción de la misma”

No importa si el diseñador hizo, o no, el trabajo de calculo, análisis o contabilización del diseño, él es responsable por todo el diseño.

NOTA: Los datos que se usaran son ficticios, así que si desea realizar un diseño, requerirá de información veraz y comprobable para iniciar con el mismo.

Basándonos en las sentencias anteriores, comencemos por analizar el DTI correspondiente



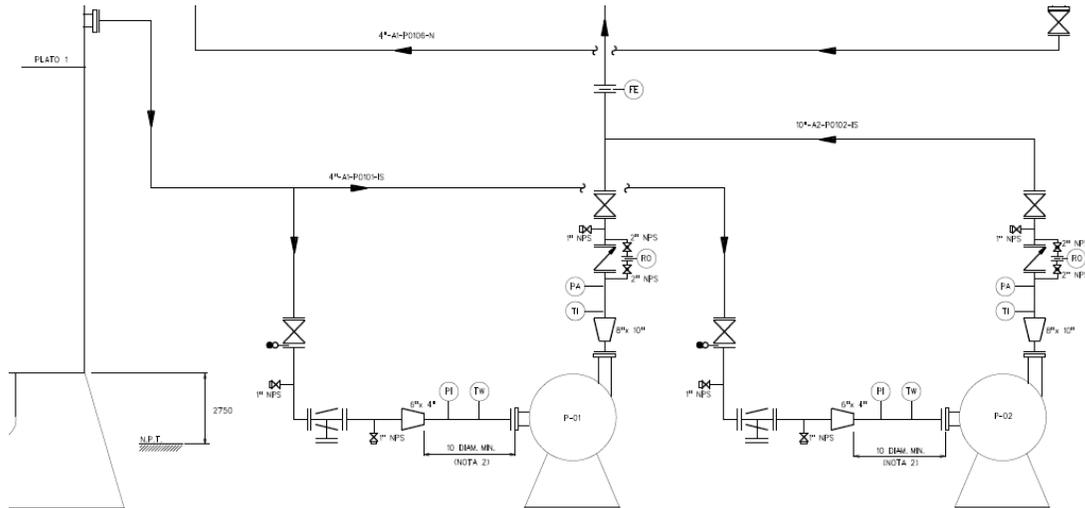
PROYECTO	ESQUEMA DE ALIMENTACION	BOQUE	BOQUE 1 DE LAS A.
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
ESCALA	ESCALA	ESCALA	ESCALA
1:200	1:200	1:200	1:200

TORRE DINE Y BOMBAS
 ESQUEMA DE ALIMENTACION
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.

TORRE DINE Y BOMBAS
 ESQUEMA DE ALIMENTACION
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.
 BOQUE 1 DE LAS A.

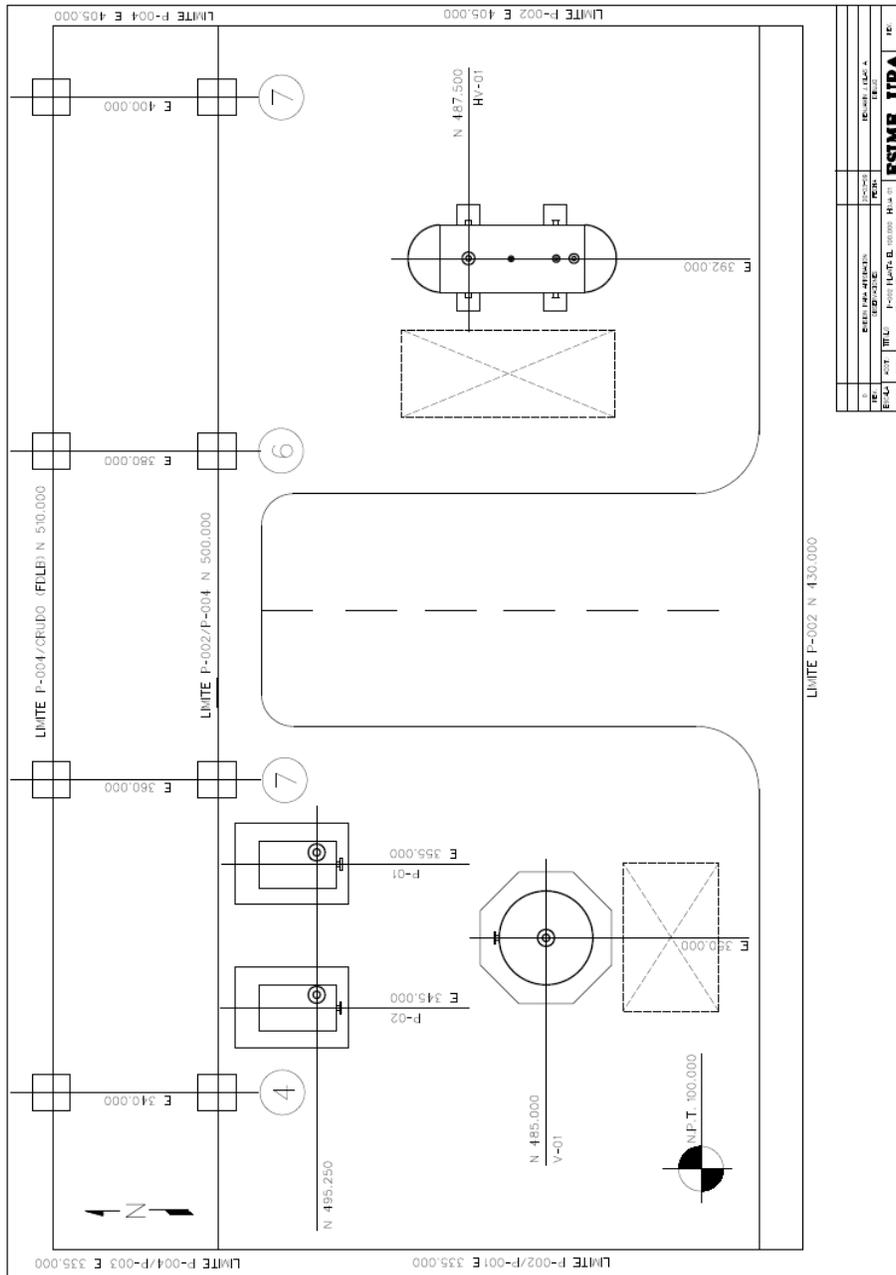
4.5.1 Análisis básico y bocetos (sketches) preliminares

En el DTI anterior se muestran tres equipos: una torre (V-01) dos bombas (P-01/02) y un recipiente horizontal (HV-01), los tags de los equipos, el sentido de flujo entre cada uno de ellos y la instrumentación necesaria para el proceso viene indicada en este documento, ahora aboquémonos a las líneas que salen de la torre (V-01) hacia las bombas (P-01/02):

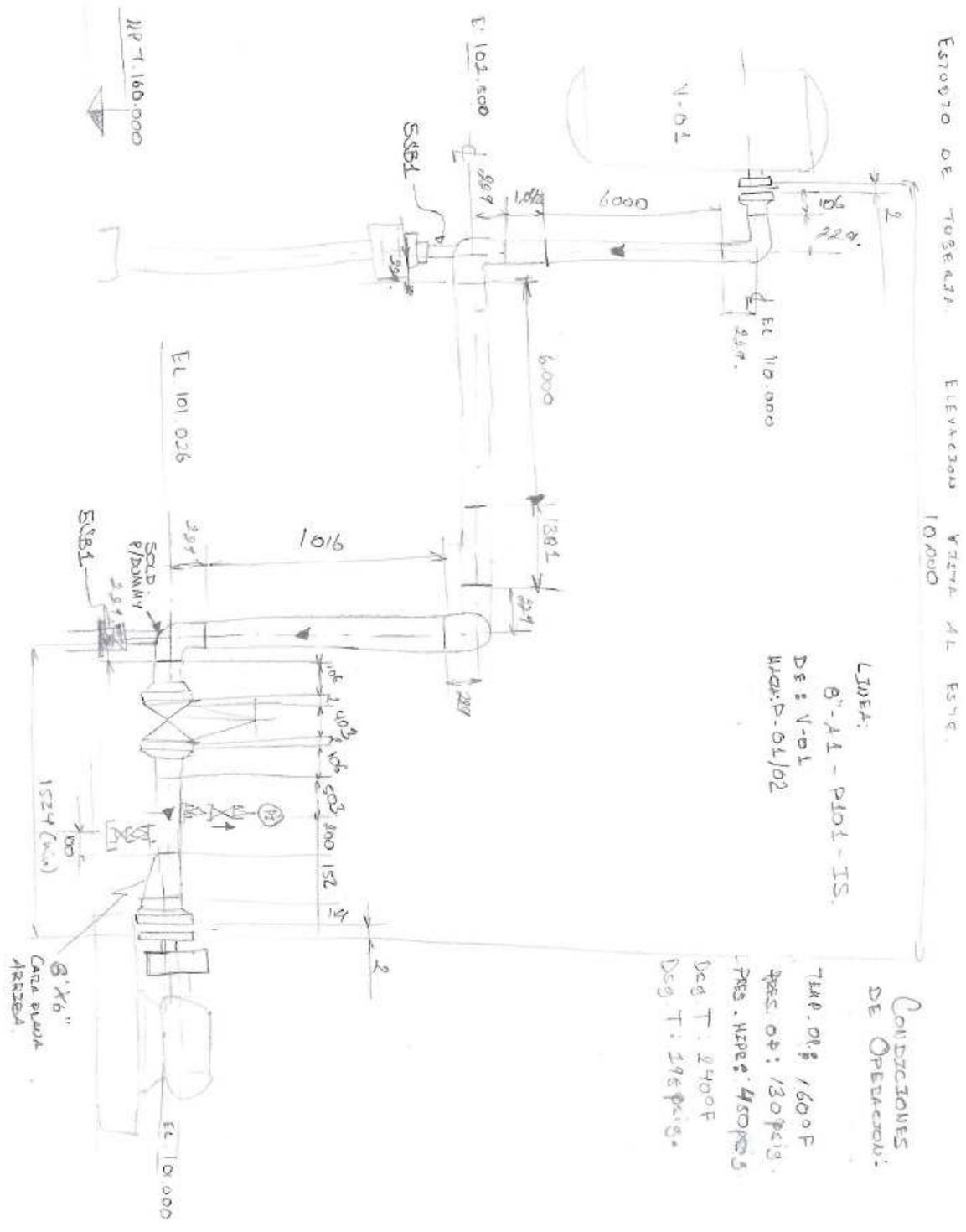


Analicemos el flujo dentro de la tubería: el diesel saldrá caliente a determinada temperatura por una de las boquillas de la torre, la tubería deberá ser de 6" NPS desde este punto, comenzara a bajar hasta un nivel cercano al piso pero con espacio suficiente para que pase una persona o incluso hasta un vehículo por debajo de ella, a partir de esta elevación la tubería llegara al punto más cercano posible a las bombas, para de ahí bifurcar con una "té" 6"x6" justo a la mitad entre las dos bombas (respetando el 50-50, hacemos un arreglo simétrico a espejo) y después bajar hasta el nivel de la boquilla de succión de las bombas, en esta vertical se debe de colocar los primeros componentes: La válvula de bloqueo, una preparación de 1" para una conexión de limpieza, el filtro para canasta tipo cono de bruja y de ahí girar 90° para tomar una trayectoria horizontal, aquí se colocara: un drenaje de 1", una reducción excéntrica con la cara plana hacia arriba de 6" a 4" y por ultimo en un tramo recto no menor de 10 veces el diámetro de la tubería, es decir, la longitud mínima de este tramo deberá ser de 40 pulgadas (1020 mm) desde la soldadura de la reducción hasta la soldadura de la brida de conexión con la boquilla; como la succión de la otra bomba es idéntica y simétrica, por lo que se dice que el arreglo esta "a espejo".

Ahora necesitamos saber cual es la localización de los equipos elementos estructurales y todo lo que nos pueda ayudar o estorbar para el "ruteo" de esta línea, para ello se usa el Plot Plan (Arreglo de plata y equipos) del área a diseñar:



Con esta información hacemos el estudio del arreglo de tubería con la finalidad de comprobar si, con las distancias indicadas en el Plot Plan, es factible colocar la configuración descrita anteriormente y si el espacio es suficiente. En el caso de que no exista espacio suficiente, habrá que mover los equipos o pedir al ingeniero civil que relocalice drenajes, cimientos o columnas. Este trabajo generalmente solo se esboza (sketchea), si es necesario presentarlo con alguien se hace un dibujo de proyección, por ejemplo para presentarlo al diseñador Sr o al líder de diseño.



ESTUDIO DE TORRETA ELEVACION VENTA AL ESTE. 10.000

LINEA:
8" AA - PLOT - IS.
DE: V-01
HORIZ: P-01/02

CONDICIONES DE OPERACION:
TEMP. OP: 160°F
PRES. OP: 130 psig.
PRES. HIER: 450 psig.
DES T: 2400 F
DES T: 296 psig.

8" X 6" CARA PLATA ARREBA

Los datos usados para este estudio se toman de las tablas de componentes y conexiones para tuberías, el contenido de estas tablas debe de estar de acuerdo con la norma ANSI/ASME que corresponda (B16.5 para las bridas por ejemplo) y además se usan los criterios estándar de diseño para realizar el arreglo. Estas tablas las podemos solicitar a los proveedores.

Para los elementos especiales, como son el caso de válvulas especiales, filtros, bombas en línea, trampas de vapor, etc. Es necesario solicitar los datos a un proveedor, o en su caso consultar los catálogos del proveedor específico para cada elemento.

300# RF PIPING DIMENSIONS																															
SIZE	PIPE O.D.	WN FLG	OD FLS	45 ELL	TEE	REDUCER	CAP	LR ELL & WN FLS	TEE & WN FLS	45 ELL & WN FLS	GATE VALVE	CHECK VALVE	GLOBE VALVE	WATER BUTTERFLY VALVE (D)	WATER CHECK VALVE (D)	BALL VALVE (3)								SIZE	STUD BOLT SIZE						
																FULL PORT	RED. PORT	VALVE TO HW (FB)	HW OFFSE T (FB)	HW PROJ (FB)	HW/OD (FB)	HW/OD (FB)	HW/OD (FB)		NO. BOLTS	DIAMETER	LENGTH (4)				
1"	1 5/16	2 7/16	4 7/8	7/8	1 1/2	2	1 1/2	3 15/16	3 15/16	3 5/16							6 1/2								1"	4	5/8	3 1/4			
1 1/2"	1 7/8	2 11/16	6 1/8	1 1/8	2 1/4	2 1/2	1 1/2	4 15/16	4 15/16	3 13/16	7 1/2	16 3/4	8				7 1/2								1 1/2"	4	3/4	3 3/4			
2"	2 3/8	2 3/4	6 1/2	1 3/8	2 1/2	3	1 1/2	5 3/4	5 1/4	4 1/8	8 1/2	18	8	10 1/2	10 1/2	17 3/4	9			2 3/8	8 1/2	8 1/2	4 1/16				23	2"	8	5/8	3 1/2
2 1/2"	2 7/8	3	7 1/2	1 3/4	3	3 1/2	1 1/2	6 3/4	6	4 3/4	9 1/2	19	8	11 1/2	11 1/2	19	10			2 5/8								2 1/2"	8	3/4	4
3"	3 1/2	3 1/8	8 1/4	2	3 3/8	3 1/2	2	7 5/8	6 1/2	5 1/8	11 1/8	23 1/4	9	12 1/2	12 1/2	20 1/2	10	1 7/8	2 7/8	11 1/8	11 1/8	7 1/16	3 1/8	10	1 1/16	17 1/8	33	3"	8	3/4	4 1/4
4"	4 1/2	3 3/8	10	2 1/2	4 1/8	4	2 1/2	9 3/8	7 1/2	5 7/8	12	28 1/4	10	14	14	24 3/4	14	2 1/8	2 7/8	12	12	8					44	4"	8	3/4	4 1/2
6"	6 5/8	3 7/8	12 1/2	3 3/4	5 5/8	5 1/2	3 1/2	12 7/8	9 1/2	7 5/8	15 7/8	38 1/2	14	17 1/2	17 1/2	29 3/4	18	2 5/16	3 7/8	15 7/8	15 7/8	10 13/16	5	11 1/2	24		6"	12	3/4	5	
8"	8 5/8	4 3/8	15	5	7	6	4	16 3/8	11 3/8	9 3/8	16 1/2	47	16	21	22	36 1/2	24	2 7/8	5	19 3/4	19 3/4	12 1/2	5	11 1/2	24		8"	12	7/8	5 1/2	
10"	10 3/4	4 5/8	17 1/2	6 1/4	8 1/2	7	5	19 5/8	13 1/8	10 7/8	18	56 1/2	20	24 1/2			3 5/16	5 3/4	22 3/8	22 3/8	15 5/8	3 11/16	15 15/16	30 1/4		10"	16	1	6 1/4		
12"	12 3/4	5 1/8	20 1/2	7 1/2	10	8	6	23 1/8	15 1/8	12 5/8	19 3/4	64 1/4	20	28			3 5/8	7 1/8	25 1/2	25 1/2	16 13/16	3 11/16	16 15/16	30 1/4		12"	16	1 1/8	6 3/4		
14"	14	5 5/8	23	8 3/4	11	13	8 1/2	26 5/8	16 5/8	14 3/8	30	75 1/4	27				4 5/8	8 3/4	30	30	16 7/16	3 11/16	15 15/16	30 1/4		14"	20	1 1/8	7		
16"	16	5 3/4	25 1/2	10	12	14	7	29 3/4	17 3/4	15 3/4	33	81	27				5 1/4	9 1/8	33	33	20 1/8	3 11/16	16 15/16	30		16"	20	1 1/4	7 1/2		
18"	18	6 1/4	28	11 1/4	13 1/2	15	8	33 1/4	19 3/4	17 1/2	36	91 1/2	30				5 7/8	10 3/8	36	36	24 13/16	4 7/8	21 1/2	39		18"	24	1 1/4	7 3/4		
20"	20	6 3/8	30 1/2	12 1/2	15	20	9	36 3/8	21 3/8	18 7/8	39	99 3/4	36				6 1/4	11 1/2	39	39	16 1/2	4 7/8	21 1/2	39		20"	24	1 1/4	8 1/4		
24"	24	6 5/8	36	15	17	20	10 1/2	42 5/8	23 5/8	21 5/8	45	120 1/2	36				7	12 1/2	45	45	29 5/16	4 7/8	21 1/2	39		24"	24	1 1/2	9 1/4		
26"	26	7 1/4	38 1/4	16	19 1/2	24	10 1/2	46 1/4	26 3/4	23 1/4								14	49		34 1/4	5 3/4	31 3/8	30 1/4		26"	28	1 5/8	10 1/4		
28"	28	7 3/4	40 3/4	17 1/4	20 1/2	24	10 1/2	49 3/4	28 1/4	25									53	53	35 1/8	5 3/4	31 3/8	30 1/4		28"	28	1 5/8	10 3/4		
30"	30	8 1/4	43	18 1/2	22	24	10 1/2	53 1/4	30 1/4	26 3/4							9 1/2	14 1/2	55		37 1/8	5 3/4	31 3/8	30 1/4		30"	28	1 3/4	11 1/2		
36"	36	9 1/2	50	22 1/4	26 1/2	24	10 1/2	63 1/2	36	31 3/4							10 3/4	19	68		40 7/8	16	37 1/4	30 1/4		36"	32	2	13		
42"	42	7 7/8	60 3/4	26	30	24	12	70 7/8	37 7/8	33 7/8									22 3/8								42"	36	2	14	

Ahora que sabemos que sí es factible hacer el arreglo de tuberías sin tener que hacer modificaciones al arreglo de equipos procedemos a generar el sketch (boceto) del sistema para después generar los isométricos y definir el número de hojas que se usaran.

Generalmente para ayuda del constructor el arreglo no se hace en una sola hoja de isométrico sino en varias, así es más fácil su lectura y comprensión, por lo tanto su construcción.

El hacer el boceto de una arreglo para su estudio es un paso imprescindible durante el desarrollo del diseño, si no se hace este paso seguramente habrá problemas al comenzar a hacer los chequeos cruzados con otras disciplinas en donde no encontraremos que tal vez nuestro arreglo ya esta interfiriendo en la ruta de alguna charola de instrumentación o eléctrica, esta golpeando a algún otro equipo, o peor aun, si el proyecto ya esta muy avanzado nos encontramos con que por medidas de componentes (generalmente los actuadores de las válvulas de control) se debe de relocalizar boquillas o hasta equipos.

4.5.2 El Boceto para análisis de flexibilidad (Stress Sketch)

La ingeniera básica (ingeniera de proceso) define cuales son las líneas críticas y cuales no, pero el diseñador de tuberías debe saber identificar cuales son o serán líneas críticas, ya sea por su temperatura, diámetro, o fluido a transportar.

Todas las líneas críticas, todas sin excepción alguna, no importa diámetro, temperatura, presión, material o fluido que transporten, deberán de ser analizadas por el ingeniero de análisis de esfuerzos (flexible).

Para el caso de nuestro ejemplo, el simple hecho de ser líneas de succión de bombas para un servicio de hidrocarburos con temperatura las hace sujetos de análisis flexible, es decir son líneas críticas, por lo tanto se debe de hacer un boceto del arreglo diseñado y pasárselo al analista de esfuerzos para que nos indique donde se colocaran los soportes, guías y paros direccionales, sin que haya peligro de fractura o explosión en la tubería. El diseñador puede proponer soportes, de hecho debe de proponerlos, pero aun así es necesario enviar la línea para su análisis.

El “stress sketch” (boceto) como se le conoce coloquialmente, debe de contener todos los datos, dimensiones y condiciones de operación del sistema completo, solo en el caso de que el sistema sea demasiado extenso, se presenta en varias hojas, pero siempre completo, de otra manera no se puede realizar el análisis. Para el caso de nuestro sistema se hará en una sola hoja, indicando los datos específicos y propondremos:

1.- Un soporte guía con zapato para el tramo vertical que ira junto a la torre. En caso de ser aprobado este soporte, se debe solicitar al ingeniero mecánico encargado del diseño del recipiente (Torre) que coloque un “clip” en la coraza del equipo para soldar el soporte de la tubería indicándole las cargas que llevara este clip. Ningún soporte de tubería debe de soldarse directamente a la coraza del equipo sin previa autorización del fabricante del mismo.

2.- Un soporte estructural, tipo “L” o “Cristo” que debemos de solicitar al ingeniero civil, en caso de ser aprobado en el análisis de flexibilidad, este soporte se deberá de colocar lo más cercano a la torre para guardar espacios. Además servirá para colocar un paro direccional en la tubería que ayudara a absorber el desplazamiento de la tubería a causa de la dilatación que tendrá al momento de operar.

3.- Dos soportes de pie, indispensables para evitar llevar cargas excesivas a la boquilla de succión de las bombas, se colocaran en la vertical que contiene los filtros y las válvulas de compuerta para eliminar toda esta carga, y solamente dejar el peso de la reduccion, el drenaje, los instrumentos y el tramo recto de 10 diámetros, esto elimina esfuerzos.

4.5.3 Edición del isométrico de tuberías

Una vez aprobado el diseño por el ingeniero de flexibilidad se procede a editar el isométrico que será enviado al montador (constructor) para la construcción en sitio.

4.5.3.1 Numero de hojas

Para decidir el número de hojas de isométrico a usar, se hace un análisis rápido de que es lo que contendrá el isométrico, si esta muy cargado de información se debe de partir en varias hojas, tal es el caso de isométricos con varias válvulas, e instrumentos.

Hay que recordar que el isométrico no es una representación a escala, por lo que podemos decidir como se mostrara la información sin rayar en saturar el dibujo y que no sea legible.

Es una buena practica cortar las hojas en las separaciones que no requieran soldadura, esto porque las soldaduras de campo son mas caras, de preferencia hay que cortar en las bridas y en las válvulas bridadas con la condición de que en la lista de material los empaques y espárragos vayan con la válvula, esto facilita el trabajo en la construcción.

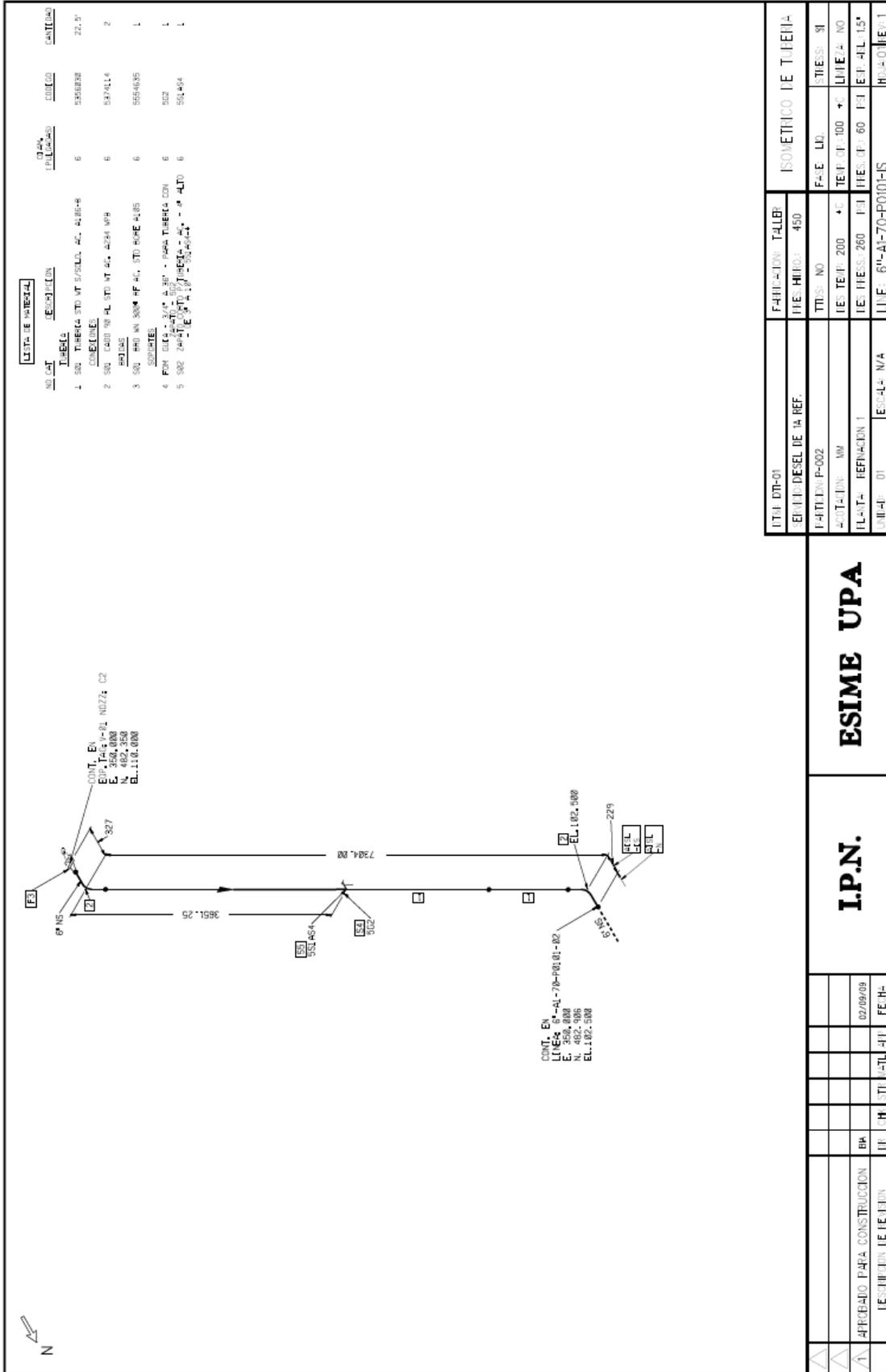
Como criterio general: se debe de numerar las hojas conforme al flujo en la línea y sin saltarlas, solo con el fin de facilitar su administración al momento de contabilizar la cantidad de isométricos totales a entregar.

Para este caso el arreglo de la succión de bombas se partirá en cuatro hojas, 1 para la vertical de la boquilla de la torre hasta el primer giro en horizontal, otra para la bifurcación cerca de las bombas y una para cada succión de las bombas.

4.5.3.2 Isométricos aprobados a construcción

Ya que el diseño ha sido aprobado, por el diseñador líder, el checador, el ingeniero de análisis de flexibilidad, el y contabilizado por control de materiales, se procede a editar el isométrico, o los isométricos, como APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN, con la firma de todos y cada una de las personas responsables del diseño, se marca en el DTI.

Una vez entregado el isométrico con revisión de aprobación a construcción no es posible hacer ningún cambio, para realizar alguna corrección o cambio se debe de emitir una nueva revisión con los cambios indicados con nubes y triángulos de revisión



LISTA DE MATERIALES

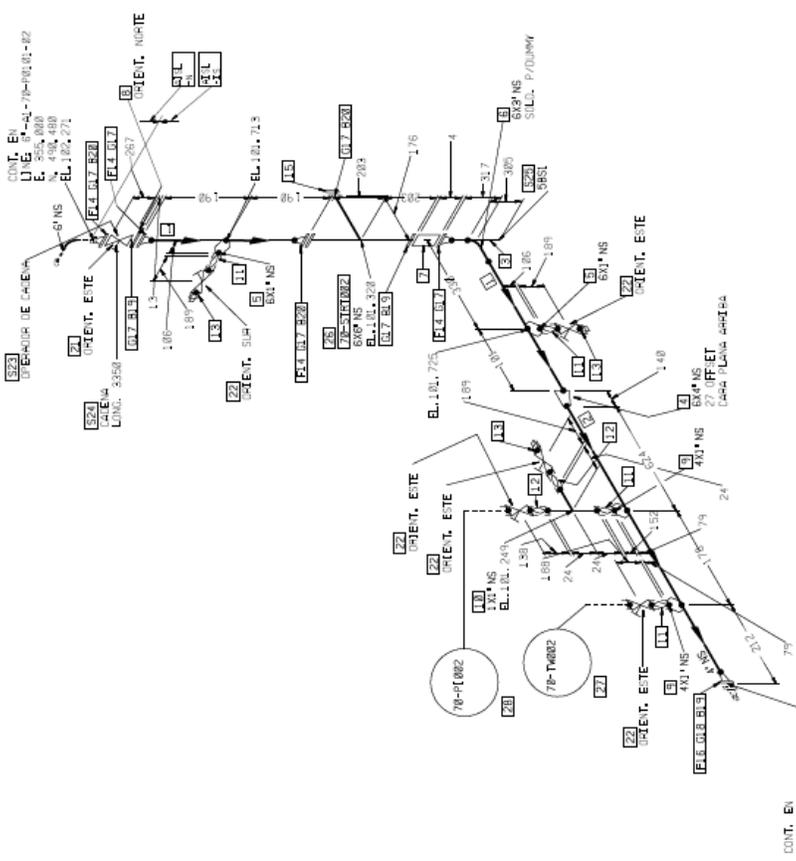
NO. CAT.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	TUBERIA STD. 60 MM. AL. 4.30-4.6	6	556.828
2	TUBERIA STD. 80 MM. AL. 4.30-4.6	6	557.114
3	TUBERIA STD. 100 MM. AL. 4.30-4.6	6	555.435
4	TUBERIA STD. 150 MM. AL. 4.30-4.6	6	552
5	TUBERIA STD. 150 MM. AL. 4.30-4.6	6	551.404

ITEM	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 01	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 02	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 03	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 04	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 05	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA

ESIME UPA

IP.N.

ITEM	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 01	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 02	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 03	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 04	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA
ITEM 05	DESCRIPCION	TALLER	ISOMETRICO	DE TUBERIA



CONT. EN
 LINEA P-42-70-P0101-82
 E. 555.000
 C. 490.450
 EL. 104.271

LISTA DE MEDIDAS

NO. CAT.	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR	COMENTARIO
1	TRABAJA 370 MT 5/30/04 AC. ALBOS	M	370	5566828
2	TRABAJA 370 MT 5/30/04 AC. ALBOS	M	370	5566828
3	TRABAJA 370 MT 5/30/04 AC. ALBOS	M	370	5566828
4	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
5	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
6	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
7	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
8	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
9	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
10	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
11	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
12	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
13	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
14	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
15	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
16	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
17	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
18	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
19	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
20	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
21	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
22	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
23	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
24	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
25	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
26	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
27	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828
28	RECURSOS EN SITIO AC. ALBOS	M	370	5566828

ITEM DT-01	FABRICACION TALLER	ISOMETRICO DE TUBERIA
ELITE-DESEL DE LA REF.	HIE: HIT: 450	
FABRICACION P-002	TUBOS: 100	FABR. L.D.
CONEXION: MW	LES TUB: 200	TEMP: 100
PLANT: REFINACION 1	LES TUB: 260	HIE: HIT: 60
GRUPO: 01	ESCALA: N/A	LINE: 60-AI-70-P0101-S

ESIME UPA	
I.P.N.	FECHA: 02/09/08
APROBADO PARA CONSTRUCCION	FECHA: 02/09/08
REVISADO	FECHA: 02/09/08

4.5.4 Maqueta Electrónica

Actualmente la mayoría de las firmas de ingeniería se ayudan de maquetas electrónicas para el diseño de plantas industriales, este ejemplo fue modelado para su apreciación en PDS (Plant Design System), es una herramienta muy útil para evitar suponer dimensiones inexistentes y ayuda a dimensionar de manera real el arreglo, para cerrar este capítulo dejo algunas fotografías tomadas del modelo de maqueta electrónica para la tubería diseñada.

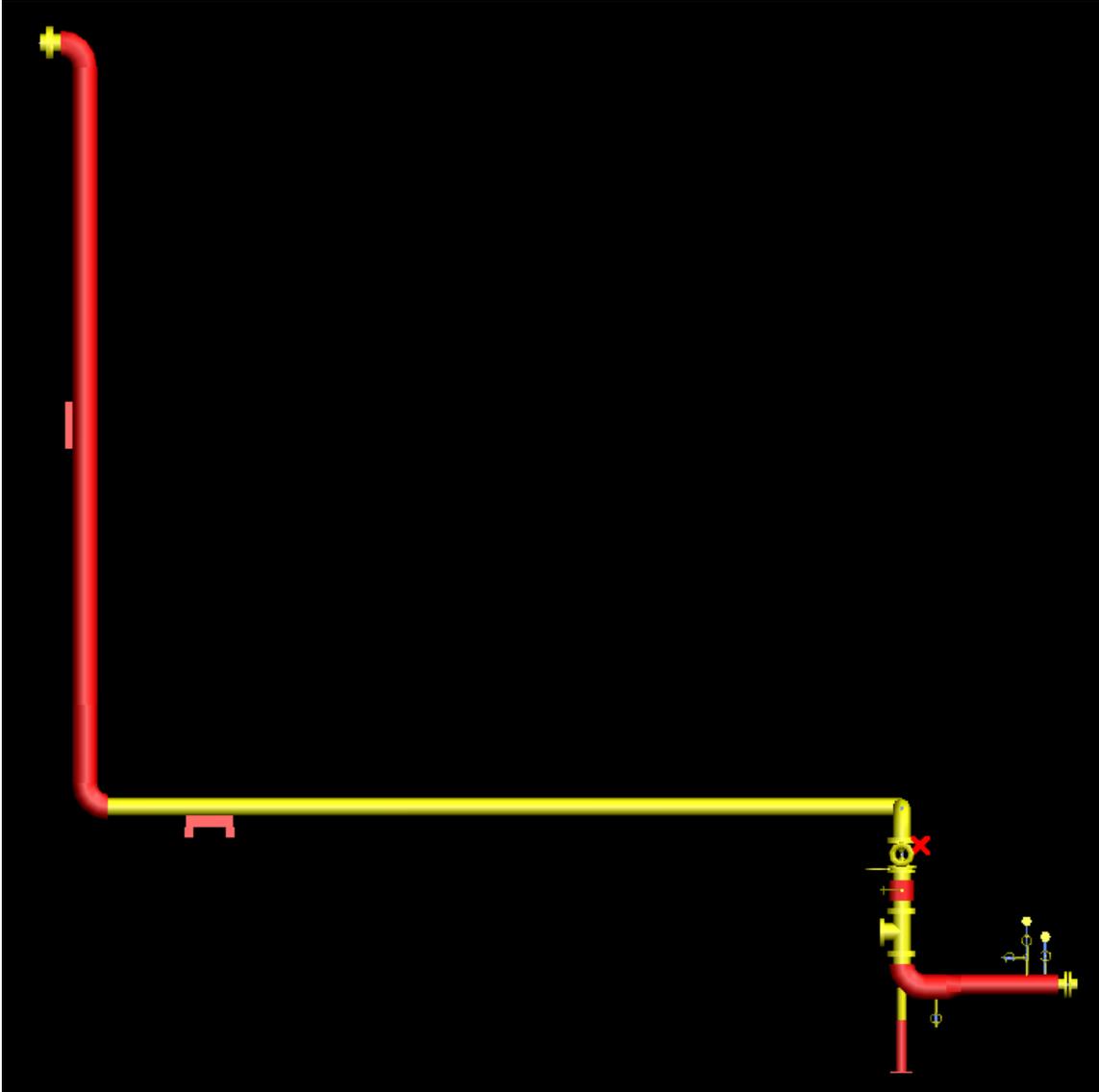


Fig. 8.1 Elevación vista al oeste.

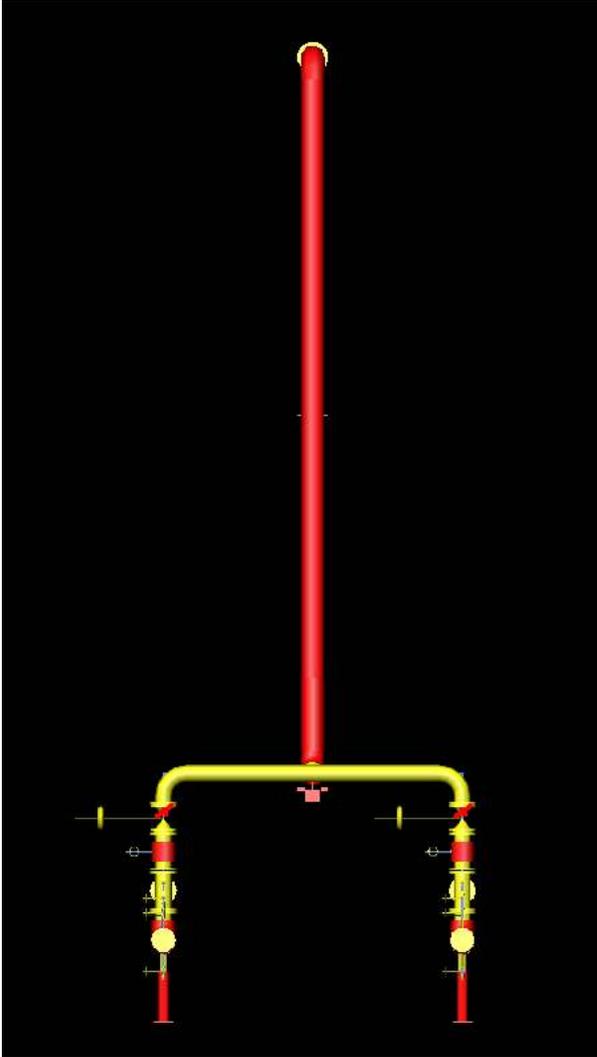


Fig. 8.2 Elevación vista al sur

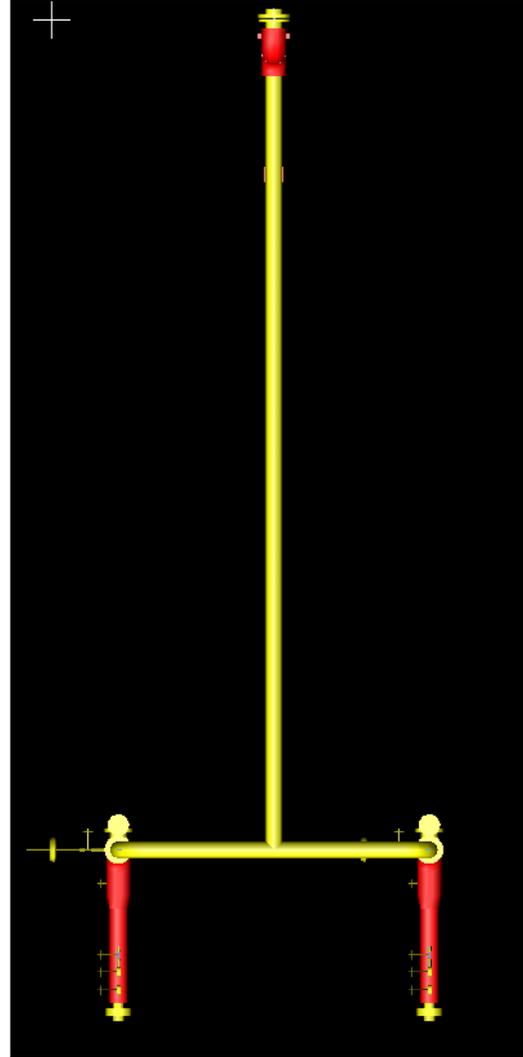


Fig. 8.3 Vista en planta

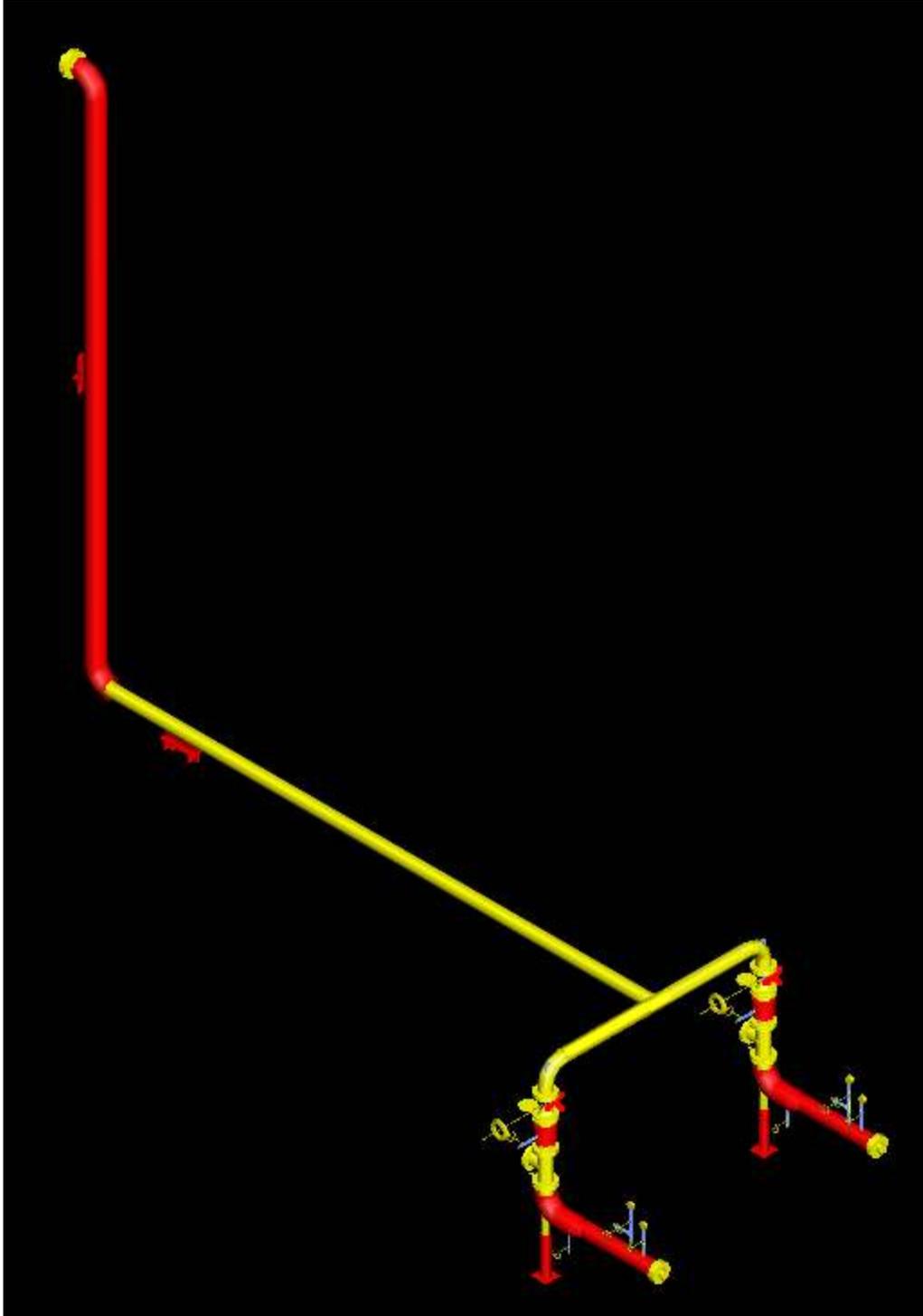


Fig. 8.4 Isométrico en 3D

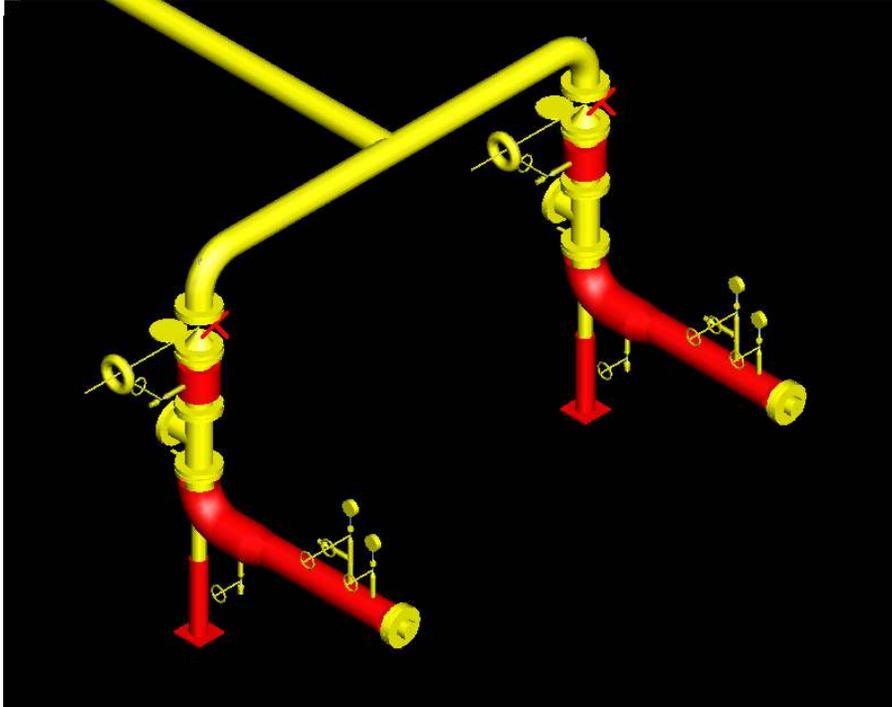


Fig. 8.5 Arreglo tipo espejo

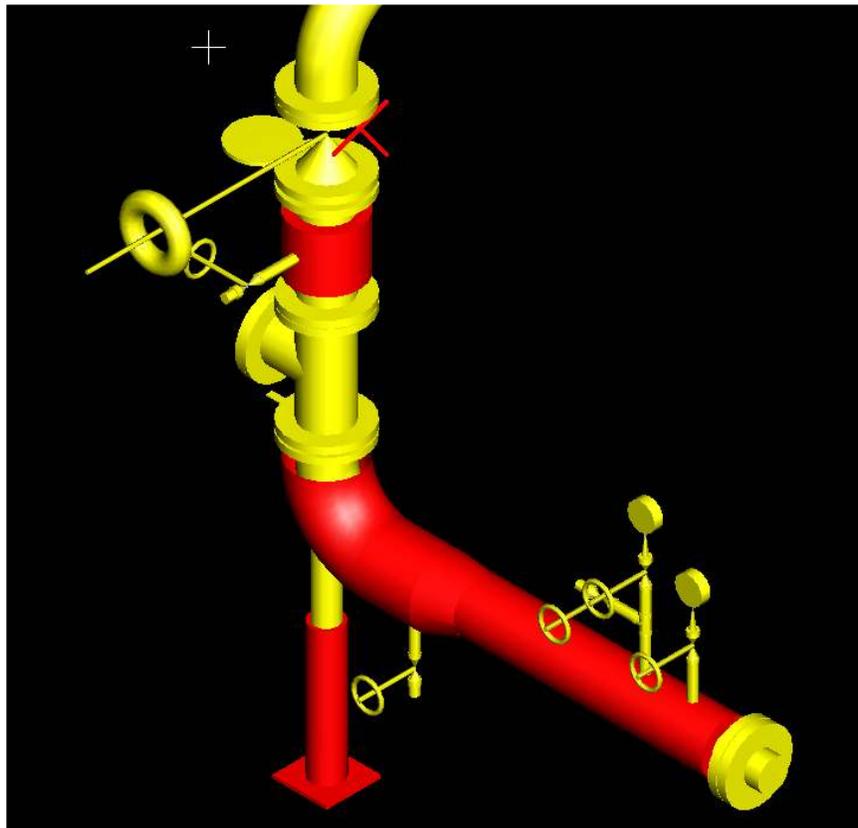


Fig. 8.6 Arreglo clásico de succión de bombas

CONCLUSIONES

Es imperativo indicar de nuevo que este texto es únicamente de carácter informativo y de consulta para diseño BASICO de tuberías, si se requiere profundizar en esta disciplina es recomendable buscar la literatura y apoyo académico adecuado para ello, la disciplina de tuberías es demasiado extensa y tiene un campo de aplicación inmensurablemente extenso por lo cual sería muy improbable concentrar toda la información existente en un solo documento, inclusive en un solo lugar. Espero sea de utilidad este trabajo y sirva como inicio para asentar las bases académicas de esta disciplina en nuestro país.

De acuerdo con todo lo descrito en este documento solo me resta agradecer al lector por su atención y concluir listando las características mínimas con las que debe de cumplir un especialista de diseño de tuberías:

- Debe saber revisar los dibujos de los fabricantes para verificar que estén de acuerdo a las especificaciones requeridas.
- Hábil en la elaboración de dibujos complejos de acuerdo a su especialidad.
- Especialista en la generación de esquemas y conceptos de diseño para problemas difíciles y complejos.
- Ágil y cauteloso al participar en el chequeo cruzado de planos de proveedores y de otras disciplinas.
- Debe tener la capacidad de supervisar el trabajo realizado por el personal a su cargo y retroalimentarlo si existiera alguna falla.
- Mantener interfases interdisciplinarias para evitar errores y disminuir retrabajos.
- Guía en el uso de programas de diseño de 2D, 3D, PDS y paquetes propios de su disciplina al personal a su cargo.
- Desarrollar cursos técnicos para impartirlos al personal con poca experiencia en el área de diseño.
- Proactivo al apoyar al Líder de proyecto en actividades específicas. Conocimiento sólido de las normas, códigos y estándares aplicables.
- Organizado y con conocimientos firmes de técnicas de administración y calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- David R. Sherwood, Dennis J. Whistance (1991), **The “Piping Guide” Vol. I & II.**
- Crane (1969), **Flow of Fluids.**
- Rip Weaver, **Process Piping Design Vol. I & II.**
- Ed Bausbacher & Roger Hunt, **Plant Layout & Piping Design**
- Chapman Román, Stephen (1997). **Uso del Análisis de Flexibilidad de Sistemas de Tubería para la Selección y Especificación de Soportes Dinámicos.**
- Grinnell Corporation (1995). **Piping Design and Engineering.** U.S.A. 7ma Edición.
- Maraven Caron Engineering Practices (MCEP) (1997). **Thermal Insulation for Hot Services.** 30.46.00.31 – Gen Mineral Wool Insulation Thickness For Steam and Condensate Lines.
- Philips G., Rodolfo J. (1997). **Guía del Usuario en AutoPIPE 5.0 para Análisis Vibratorio en Sistemas de Tuberías.**
- Shell International Oil Products B.V (SIOP) (1999). **Design and Engineering Practices.** DEP 31.38.01.29 – Gen Pipe Supports.
- The American Society of Mechanical Engineers (1996). **Process Piping. ASME Code for Pressure Piping B31.3.**
- Ed Bausbacher & Roger Hunt, **Plant layout & Piping design.**
- Trouvay & Cauvyn, **Piping fittings Catalogue 1994.**
- The M.W. Kellogg Company, **Piping technology design guide.**
- Cast Iron Pipe Soil Institute (CIPSI), **Cast iron soil pipe and fittings.**

Referencias de sitios en Internet:

Wikipedia, La enciclopedia libre, <http://es.wikipedia.org/>
La guía de tuberías, <http://www.pipingguide.com>
Piping Design Central, <http://www.pipingdesign.com>
Bentley, CAD solutions, <http://www.bentley.com/>
Armstrong, instruments, <http://www.armstrong.com/>
Anvil International, <http://www.anvilintl.com/>