

93
24j



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

CRITERIOS HEURISTICOS
APLICADOS AL DISEÑO DE TUBERIAS

TESIS

presentada para obtener el título de Ingeniero Químico

RICARDO RIVERO RODRIGUEZ



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PROLOGO

Este trabajo surgió como un proyecto de libro, cuyo tema global serían los CRITERIOS HEURISTICOS APLICADOS A LA INGENIERIA QUIMICA.

Sin embargo, debido a la gran cantidad de tiempo que es necesario dedicar a un proyecto de tal magnitud, se decidió delimitarlo al campo del Flujo de Fluídos, y aún más, al Diseño de Tuberías.

Además, el enfoque principal de dicho proyecto sería de evaluación y escalación dinámica de los criterios, de modo que es entendible que su realización requiera de una buena experiencia profesional y de un contacto directo con aquellas áreas en las que se muestra más claramente el uso de los criterios heurísticos.

La gran cantidad de información, aunque difícil de detectar, hizo posible la realización de esta tesis, enfocada a una actividad propia de los Ingenieros Químicos, que se aplica frecuentemente en el ejercicio de esta profesión, el Diseño de Tuberías.

No es necesario resaltar aquí, la importancia que tiene el diseño de tuberías dentro de cualquier proceso, ya que esto se discutirá en el desarrollo de la tesis, baste señalar que las tuberías representan la proporción más importante de la inversión en bienes de capital en el mundo, consumiendo

además una proporción muy significativa de los costos de Ingeniería de todo proyecto industrial.

Con respecto al trabajo realizado, es importante señalar algunos aspectos del mismo.

Debido a las muy diversas fuentes de información que se requieren, primeramente para localizar los criterios y después para evaluarlos o analizarlos, este trabajo no tiene una congruencia estricta en cuanto al sistema de unidades. Todas las referencias bibliográficas que se emplearon fueron escritas en el idioma inglés, de manera que se respetaron las unidades indicadas por los autores correspondientes.

Otro aspecto importante es el esquema de los capítulos. Los criterios heurísticos nunca se presentan aislados del contexto del cual forman parte, por lo que resultó relativamente difícil el escribir esta tesis, tratando de enfocarla directamente a los criterios en sí. No obstante, no tendría caso describir el contexto, dado que ése es el objeto de muchos otros escritos sobre el particular.

Los criterios heurísticos que se presentan en este trabajo no son todos, aunque sí los más relevantes que se aplican en el diseño de tuberías. Además, cada día surgen nuevas experiencias que generan nuevos criterios heurísticos o modificaciones a los anteriores. Los criterios que aquí se presentan son los más ampliamente usados durante los últimos años, en los que se ha demostrado su aplicabilidad.

Este escrito tiene la finalidad de servir como guía y complemento para estudiantes y profesionistas que se interesen en el diseño de sistemas de tuberías e instrumentos. Los principios teóricos básicos del Flujo de Fluidos, deberán estar bien entendidos, para que esta tesis pueda cumplir con su objetivo.

Para facilitar una rápida consulta, se emplearon en los capítulos uno a seis una gran cantidad de gráficas y tablas como herramientas de presentación, sacrificando, en ocasiones, las ventajas que representa un texto explicativo de los conceptos. Si se desea profundizar, es conveniente referirse a la bibliografía indicada en cada capítulo.

Se delimitó la instrumentación que puede existir en una tubería, a las válvulas de control y los medidores de flujo, debido a que son fundamentales dentro de cualquier sistema.

Trato de evitarse en lo posible, la presentación de ecuaciones que requirieran una extensa explicación de los conceptos en los que se basan; se presentan sólo aquellas que utilizan explícitamente algún criterio heurístico y nuevamente es necesario referirse a la bibliografía si se desea profundizar.

Este trabajo no hubiera podido realizarse sin la valiosa cooperación de muchas personas a las que deseo mencionar.

A los distinguidos profesionistas norteamericanos que tan amablemente accedieron a compartir algunos de sus amplios conocimientos, al disponer de un poco de su tiempo para conceder las entrevistas que fueron fundamentales en la realización de la tesis:

Mr. Stanley S. Grossel, miembro de la Sección de Métodos de Diseño y Estandarización de Hoffmann - La Roche, en Nutley, New Jersey, y miembro del Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos, (AIChE).

Mr. Shmariahu Yedidiah, especialista hidráulico de la compañía Worthington, en East Orange, New Jersey.

Mr. Eugene F. Newman, ingeniero de aplicación de la compañía Worthington, en Harrison, New Jersey.

Mr. Hernan Mujica, ingeniero de productos de la compañía Worthington, en Harrison, New Jersey.

Al Ing. Alberto Urbina del Razo, Director Técnico de SOMEX y maestro emérito de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, mi más profundo agradecimiento por la entrevista concedida, en la que pude constatar su altísima calidad humana y su enorme experiencia; sus conceptos fueron fundamentales en el enfoque dado a la tesis y en la realización del último capítulo.

Al Ing. Ernesto Rios Montero, Vicepresidente de Bufete Industrial, mil gracias por la entrevista concedida y por las facilidades brindadas para la obtención de información, en esa prestigiada firma de ingeniería.

Al Ing. Jaime Toral G., Gerente de Proceso de Bufete Industrial y profesor de Flujo de Fluidos en la Universidad La Salle, mi agradecimiento por su amabilidad y por los amplios conocimientos técnicos y conceptos, que compartió conmigo en la entrevista realizada. Gracias también por su revisión y comentarios al borrador final de la tesis.

Al Dr. Francisco Barnés de Castro, Director General de la Industria Paraestatal, Química y Petroquímica Secundaria de la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal, y Presidente Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, mi agradecimiento especial por su disponibilidad para concederme la entrevista, sacrificando un poco de su tiempo y de sus importantísimas ocupaciones. Los conceptos y consejos recibidos fueron fundamentales para el capítulo siete de la tesis y serán también fundamentales para mi desarrollo profesional de aquí en adelante.

Al Ing. Pablo Barroeta González, Sub-Gerente de Planeación Comercial de Petróleos Mexicanos y Profesor de la Facultad de Química, gracias por los conocimientos impartidos en clase y por la entrevista concedida. Sus opiniones y conceptos fueron de gran valor para entender la Heurística de una manera más profunda; el capítulo siete de esta tesis analiza algunos de sus conceptos. Gracias además por su apoyo, consejos y amabilidad de siempre.

Al Ing. César Octavio Baptista, Fundador y Primer Presidente del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, Ex-Subdirector General de Petróleos Mexicanos y Asesor Personal del Secretario de Energía, Minas e Industria Paraestatal; su enorme experiencia y amor a la vida, que en parte me transmitió durante la entrevista concedida, fueron muy importantes para el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Alejandro Anaya Durand, Gerente de Proceso y Bienes de Capital del Instituto Mexicano del Petróleo y Profesor de la Facultad de Química, mi agradecimiento, admiración y respeto. Su contribución a mi formación académica durante los cursos en los que fué mi profesor, y a mi desarrollo profesional en mis inicios como Ingeniero Químico, ha sido decisiva en mi vida. Agradezco la oportunidad que me dió de realizar mi tesis de licenciatura bajo su dirección y las diferentes entrevistas que me concedió durante el desarrollo de la misma; entre las cuales destaca la concedida, al igual que los distinguidos profesionistas que ya he mencionado, para la realización del capítulo siete de este trabajo. Gracias también por la revisión final de la tesis.

Quiero agradecer además a Mr. Edward Margus, Vicepresidente de Ingeniería de Vanton Pump and Equipment Corporation, Hillside, New Jersey, por la valiosa información que me proporcionó por correspondencia.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Ignacio Rangel Esquivel, por ese último empujón que fué decisivo para poder concluir este trabajo, por sus valiosos comentarios y por su ayuda constante e incondicional; por darle significado claro y concreto a la palabra amigo; sin quien esta tesis no hubiera podido terminarse ni en el tiempo, ni en la forma, en que se hizo. Gracias también por la revisión final de la tesis.

A los sinodales designados, quiero agradecer la revisión detallada y los comentarios y observaciones que hicieron a esta tesis:

Al Ing. Claudio Aguilar Martínez, por la información proporcionada al inicio de la realización de la tesis.

Al Ing. Manuel Vázquez Islas, por los conocimientos impartidos en los cursos en los que tuve la fortuna de tenerlo como profesor.

Al Ing. Guillermo José Valenzuela, por acceder a revisar este trabajo.

Al Ing. Gilberto Fabila Carrera, por la amabilidad y el interés que mostró al revisar la tesis.

A los ingenieros Marcial López Huerta y Jorge León Gutierrez, prestigiados especialistas en tuberías e instrumentos, respectivamente, del Instituto Mexicano del Petróleo, mi agradecimiento por su buena disposición y sus valiosos comentarios.

Mi agradecimiento a la Sra. Laura Boeta Arellano, por el mecanografiado de diez de las tablas que aparecen en este trabajo; y mi reconocimiento al Sr. Abundio Hernández Pliego, por su excelente calidad en la elaboración de los numerosos dibujos y gráficas, que contribuyeron notablemente en la presentación de la tesis. Gracias también al Sr. Ricardo Yañez Torres por la elaboración de los dibujos que aparecen en los apéndices.

Agradezco al Ing. Gabriel Delgado Parra, las facilidades brindadas para el fotocopiado del original de esta tesis.

Quiero ahora agradecer a las siguientes personas, que de una u otra manera contribuyeron en la obtención de la información requerida para realizar este trabajo, por orden alfabético:

Ing. Ricardo Arreguin Sánchez
Ing. Juan Luis Caltenco Estevez
Ing. Horacio Escudero Dettling
Ing. Edmundo Fuentes Cardona
Ing. Hazael Medina Sánchez
Ing. Virginia Morales Morales
Ing. Miguel Muñoz Caraveo
Ing. Enrique Navarro López
Ing. Arturo Ortega Díaz
Ing. Jorge Pasquel González
Ing. Martín Rey Morán
Ing. Raúl Santiago Dorantes
Ing. Irma Santos Guerrero
Ing. Blanca Vázquez Martínez
Ing. Rogelio Velazco Gutiérrez
Ing. Roberto Zuzuárregui

Al Ing. José Martín Rivero Rodríguez, por su inapreciable asesoría en los capítulos que hablan sobre instrumentos (cuatro, cinco y seis), por su apoyo de siempre como hermano mayor y como Ingeniero Químico y por la revisión final de este trabajo. Ejemplo de honestidad, dedicación y profesionalismo.

Agradezco a la M. en C. Natalia de la Torre Aceves, Jefa del Departamento de Química General y Físicoquímica de la Facultad de Química de la UNAM, su contribución a mi preparación académica como profesora y como coordinadora de mi servicio social, así como por su apoyo y el interés que siempre ha mostrado hacia mí. Un ejemplo de docencia en la Facultad de Química.

Igualmente quiero agradecer a aquellos profesores que más honda huella dejaron en mí, durante mi estancia en la Facultad; por impartir de manera tan brillante sus conocimientos. Espero que sigan formando por siempre a los estudiantes de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. En orden alfabético:

Q. Alicia Benitez Romandía
Q. Héctor C. Bolivar Terrazas
Ing. Jaime Briman Epelstein
Mat. Edna Cárdenas C.
M. en C. Antonio Frías Mendoza
Ing. Manuel Gabiño [q.e.p.d.]
Ing. Gustavo Garduño
Dr. José F. Herrán Arellano [q.e.p.d.]
Ing. Jorge T. Martínez Montes
Fis. Alejandro Mendoza Allende
Dr. Rodolfo Mora Vallejo
M. en C. Caritino Moreno Padilla
Q. Elizabeth Nieto Calleja
Ing. Eduardo Rojo de Regil
Ing. Silvia L. Tejada Castañeda

A mi amiga y compañera la Ing. Rebeca García-Price Villarreal, por su compañía y apoyo durante la carrera, en el ejercicio profesional y durante la realización de la tesis; mil gracias.

A mi madre, la Sra. Martha Rodríguez Vda. de Rivero, por el amor de siempre, por mantener vivo en mí el recuerdo de mi padre, el Dr. José Martín Rivero Toriz, y por formar esta familia a la que aprecio y quiero tanto.

A mis hermanos Hilda, Héctor y Lilia, y también a Magali, Pepe y Blanca, mi agradecimiento por su comprensión, apoyo y cariño.

Y finalmente, a la persona a quien dedico esta tesis, a mi hermana Araceli Rivero Rodríguez, quien representa para mi lo más hermoso que me ha ocurrido en la vida. Este trabajo, culminación de varios años de preparación académica, es poco para ofrecer en comparación con lo que toda mi vida he recibido de ella.

Ciudad de México
Julio de 1985.

RICARDO RIVERO RODRIGUEZ

INDICE

INDICE

PROLOGO	6
INTRODUCCION	21
CAPITULO UNO	
CRITERIOS PARA LA SELECCION DEL MATERIAL DE UNA TUBERIA	27
Criterios para Seleccionar Materiales para Tuberías	29
Resistencia a la Corrosión de Diferentes Tipos de Materiales Metálicos para la Construcción de Tuberías	37
Recomendaciones para Seleccionar una Tubería No Metálica	39
Criterios de Selección de Tuberías Metálicas, No Metálicas y Recubiertas	41
Recomendaciones para Seleccionar Tuberías para Refinerías y Plantas Petroquímicas	53
Bibliografía	57
CAPITULO DOS	
CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE UNA TUBERIA	60
Velocidades Típicas y Máximas para Fluídos en Tuberías	62
Velocidades Recomendadas para Fluídos en Tuberías de Diferentes Materiales	67
Velocidades Económicas de "Regla de Dedo" para Dimensionar Tuberías de Acero	71
Velocidades Permisibles Usuales para Sistemas de Ductos y Tuberías	72

Velocidades de Diseño Típicas para Vapor	73
Velocidades Recomendadas para Líneas de Vapor que Conectan a Turbinas de Vapor	74
Velocidades Recomendadas para Flúidos en Refinerías	75
Velocidades Típicas de Diseño para Aplicaciones en Procesos	77
Velocidades Económicas de Fluido en Tuberías	79
Velocidades y Caídas de Presión Máximas Recomendadas para Líneas de Gases y Líneas de Vapor	80
Rango Económico para la Caída de Presión en Tuberías para Líquidos	82
Velocidades y Caídas de Presión Recomendadas para Tuberías de Succión y Descarga de Bombas	83
Caída de Presión Permisible para Dimensionamiento Preliminar de Tuberías	88
Bibliografía	90

CAPITULO TRES

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION EN UNA TUBERIA	93
Factores de Seguridad Aplicados al Cálculo de la Caída de Presión en una Tubería	95
Criterios para Determinar la Fricción en Válvulas y Accesorios	98
Criterios de Selección de Métodos de Cálculo de la Caída de Presión en Tuberías que Manejan Flúidos Compresibles	101
Criterios Aplicados a la Determinación de la Caída de Presión para Flujo a Dos Fases	103
Criterios de Selección de Métodos para la Determinación de la Caída de Presión en Flujo a Dos Fases	105
Bibliografía	108

CAPITULO CUATRO

CRITERIOS DE SELECCION DE VALVULAS Y MEDIDORES DE FLUJO	111
Criterios para Seleccionar Válvulas	113
Guía de Selección de Válvulas	118
Criterios para Seleccionar Válvulas de Control	133

Criterios para Seleccionar un Medidor de Flujo	135
Criterios de Selección de Elementos Primarios de Medición	142
Bibliografía	147

CAPITULO CINCO

CRITERIOS APLICADOS AL DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS DE CONTROL Y MEDIDORES DE FLUJO	150
Caída de Presión en Válvulas de Control	152
Caída de Presión de Diseño en Válvulas de Control para Líquidos	154
Flujo, Capacidad y Abertura de Diseño de Válvulas de Control	159
Criterios para Seleccionar la Característica de una Válvula de Control	160
Velocidades de Diseño de Válvulas de Mariposa	165
Determinación del Rango Diferencial para Medición de Flujo de Líquidos	166
Recomendaciones para Dimensionar Placas de Orificio de Bordes Rectangulares	167
Dimensiones Recomendadas de Elementos Primarios de Medición	169
Bibliografía	184

CAPITULO SEIS

CRITERIOS APLICADOS A SISTEMAS ESPECIFICOS DE TUBERIAS	187
Criterios para Diseñar Tuberías de Succión de Bombas	189
Criterios para Diseñar Tuberías de Descarga de Bombas	197
Criterios para Diseñar Tuberías Alrededor de Válvulas de Control	201
Criterios para Diseñar Tuberías Alrededor de Medidores de Flujo	208
Criterios para Diseñar Sistemas que Manejan Suspensiones	254
Criterios Aplicados a Líneas de Retorno de Vapor Condensado	258
Recomendaciones para Diseñar Distribuidores	259
Bibliografía	261

CAPITULO SIETE

ANALISIS Y EVALUACION DE CRITERIOS HEURISTICOS	265
Criterios de Selección de Materiales	270
Valores Recomendados de Velocidades y Caídas de Presión	275
Factores de Seguridad	281
Criterios de Determinación de la Caída de Presión	287
Criterios Aplicados a Válvulas y Medidores de Flujo	290
Criterios para Diseñar Tuberías de Succión y Descarga de Bombas ..	293
Criterios para Diseñar Tuberías Alrededor de Medidores de Flujo	295
Normas, Estándares y Especificaciones	297
Criterios Heurísticos: Opiniones	299
Heurística y Criterios Heurísticos: Un Problema de Definición	302
Los Criterios Heurísticos en la Ingeniería Química	305
Criterios Heurísticos: Cuándo Sí y Cuándo No	308
Computación y Optimización: ¿Enemigos de Criterios Heurísticos?	313
Los Criterios Heurísticos en el Ejercicio Profesional del Ingeniero Químico	315
Colaboradores	317

CAPITULO OCHO

CONCLUSIONES	320
Apéndice A Códigos de Tubería	325
Apéndice B Selección de Bridas	340
Apéndice C Nomenclatura y Simbología de Accesorios de Tubería	346
EPILOGO	356
Indice de Tablas	361
Indice de Figuras	365
Indice Temático	370

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Este trabajo está enfocado hacia los CRITERIOS HEURISTICOS que se aplican cuando se realiza el DISEÑO DE TUBERIAS.

La palabra criterio proviene del griego kriteriôn, de krinein, juzgar. Un criterio es una norma o regla que se usa para establecer un juicio con el fin de llegar a la verdad.

La heurística es el arte de inventar, la palabra proviene del griego heuriskein, que significa hallar, encontrar, inventar.

Por lo tanto, se entienden como criterios heurísticos, todas aquellas normas o reglas encontradas o inventadas, que se utilizan en el ejercicio de la Ingeniería Química.

En ocasiones, los criterios heurísticos se confunden con las "Reglas de Dado", debido a su carácter aparentemente arbitrario, sin embargo, como se verá en el desarrollo de esta tesis, este carácter no es en realidad tan arbitrario como parece. Los criterios heurísticos pueden provenir directamente de la experiencia, o bien obtenerse mediante cálculos. La mayoría de las veces son consecuencia de una combinación de estos dos aspectos.

La Ingeniería en general, y la Ingeniería Química en particular, tienen una gran cantidad de aplicaciones en las que la experiencia y el ingenio [Ingeniería proviene de ingenio] han sido las fuentes del conocimiento; en muchos casos no se ha podido deducir una teoría que describa estrictamente el comportamiento real de muchos fenómenos.

La Ingeniería Química tiene dos componentes principales, la técnica y la ciencia, puesto que muchas de las operaciones unitarias se aplicaron antes de que existiera una teoría científica al respecto.

Ahora bien, el carácter empírico de la Ingeniería Química, hace que los criterios y procedimientos que se aplican durante el ejercicio de esta rama de la Ingeniería, no sean absolutos y estén sujetos, en algunos casos, a nuevas experiencias que van modificándolos. El análisis de validez de estos criterios es el objeto de este trabajo.

La amplitud del tema hace que no sea posible el análisis de todos y cada uno de los criterios que existen, ya que muchos de ellos se detectan sólo cuando se tiene una gran experiencia profesional, y generalmente ésta se adquiere en una rama muy específica.

El ejercicio de la Ingeniería Química no es un campo pequeño; en realidad, la gran variedad de actividades que puede realizar un Ingeniero Químico, hace que cada día la especialización sea más y más profunda. Dentro de esta gran gama de actividades, tal vez en el área en la que se muestra más patente el uso de los Criterios Heurísticos, es en el Diseño.

Este trabajo se encuentra inscrito en una de las Operaciones Unitarias de la Ingeniería Química, conocida como Flujo de Fluídos.

La aplicación del Flujo de Fluídos es generalizada, no existiendo ningún proceso químico o industrial que no involucre el movimiento de un fluido.

Un fluido puede definirse como un material o sustancia que no resiste permanentemente la distorsión; se caracteriza por la facilidad con la que se mueven sus partes constituyentes, por lo que se adapta a la forma del recipiente que lo contiene.

En general, aunque los dos estados fluídos que existen son el líquido y el gaseoso, aún los sólidos pueden alcanzar estos estados a temperaturas lo suficientemente elevadas, siempre y cuando no se descompongan. En el estado gaseoso las partículas constituyentes se encuentran totalmente separadas, de manera que los gases no tienen ni forma ni volumen definido. Los líquidos tienen volumen definido, pero no forma.

Además de los líquidos y los gases, se consideran como fluídos, las emulsiones, las suspensiones, las pastas, etc..

El flujo de fluídos puede efectuarse a través de varios tipos de ductos o conductos, siendo las tuberías [sección transversal circular], el medio más ampliamente utilizado.

Otro tipo de conductos, como los de sección cuadrada o rectangular, se utilizan limitadamente para sistemas de acondicionamiento de aire, ductos de precalentadores de aire en calderas y hornos de proceso, canales de desagüe para el drenaje de plantas, etc..

Los primeros aspectos que un Ingeniero Químico debe abarcar en este campo son: la selección del material de la tubería, la determinación del diámetro de la misma, el cálculo de la caída de presión para flujo a una o más fases y la selección e instalación de válvulas y accesorios.

Por otro lado, dependiendo de las condiciones de proceso, es siempre necesario colocar instrumentos que puedan controlar o medir el flujo dentro

de una tubería. Uno de estos instrumentos es la válvula de control, que sirve como su nombre lo indica, para controlar el flujo, en base a señales eléctricas o neumáticas de las variables de operación del sistema, como pueden ser la temperatura, la presión, el nivel en un recipiente, etcétera. Otro tipo de instrumentos son los medidores de flujo, que mediante la medición de una propiedad del fluido, pueden indirectamente medir el flujo en una tubería; estos instrumentos pueden ser placas de orificio, toberas de flujo, venturís, tubos pitot, rotámetros, etc..

En esta tesis, se presenta primeramente, una recopilación de los Criterios Heurísticos Aplicados al Diseño de Tuberías, encontrados comunmente en la literatura abierta, y algunos otros detectados mediante entrevistas realizadas con profesionales especializados en esta rama de la Ingeniería Química.

En el primer capítulo se presentan los criterios de selección de materiales de construcción de tuberías; en el segundo, los criterios aplicados al dimensionamiento de tuberías; en el tercero, los criterios para determinar la caída de presión en tuberías; en el cuarto, los criterios de selección de válvulas y medidores de flujo; en el quinto, los criterios de dimensionamiento de válvulas de control y medidores de flujo; y en el sexto, los criterios aplicados a sistemas específicos de tuberías. Cada capítulo cuenta con una lista de referencias bibliográficas al final.

En el capítulo siete se presenta el análisis y la evaluación de los criterios recopilados, haciendo énfasis en las variables que los determinan. Este capítulo está basado en entrevistas logradas con profesionistas especializados y de alto prestigio de México y Estados Unidos, así como en los puntos de vista propios del autor.

El capítulo ocho contiene las conclusiones de este trabajo, con respecto a los Criterios Heurísticos Aplicados al Diseño de Tuberías, y en relación a la aplicación de la Heurística en la Ingeniería Química en general.

Después se presentan tres apéndices. El primero concerniente a Códigos de Tubería; el segundo sobre Selección de Bridas; y el tercero con respecto a la Nomenclatura y Simbología de Accesorios de Tubería.

También se presenta un epílogo con las reflexiones a cerca de la realización de esta tesis.

Finalmente se presentan varios índices que pretenden facilitar la consulta de este trabajo.

CRITERIOS PARA LA SELECCION
DEL MATERIAL DE UNA TUBERIA

CAPITULO UNO

CRITERIOS PARA LA SELECCION DEL MATERIAL DE UNA TUBERIA

La selección del material de construcción de una tubería, no tiene, para algunas personas, un carácter claramente heurístico; sin embargo, se considera que existen dos maneras principales para efectuar esta selección, y en ambas, es notorio el papel que juegan los criterios establecidos en base a la experiencia.

La primera manera, consiste en hacer una selección rápida, en base a la experiencia previa de otras personas, ya sea reportada en la literatura o bien verbalmente. Esto tiene un carácter heurístico, puesto que se siguen reglas de dedo ya establecidas, sin profundizar mucho en los principios que les dieron origen.

La segunda manera, consiste en efectuar un estudio riguroso, en base a las características del fluido a manejar y en base a las condiciones específicas de operación del proceso en cuestión. Debe analizarse la corrosividad y erosividad del fluido, y la resistencia del material a los niveles de temperatura y presión a que se someterá la tubería. Otro parámetro sería la vida esperada que se desea del sistema. En este sentido, no se aprecia claramente el carácter

heurístico de la selección; sin embargo, una vez efectuado el estudio, es probable que existan varios materiales capaces de funcionar adecuadamente; la selección de entre estos materiales susceptibles de utilizarse puede ser económica, pero generalmente involucrará criterios heurísticos adicionales, como puede ser la certeza de que el material ha sido usado con anterioridad para el mismo servicio y que ha funcionado bien.

Desde cualquier punto de vista, se aprecia que en este campo, los criterios heurísticos tienen una gran aplicación, sea cual sea la aproximación que se haga al efectuar la selección. Indudablemente, la segunda manera es la mejor, pero lamentablemente no siempre se dispone del tiempo ni de los recursos necesarios para llevarla a cabo.

En este capítulo se presentan recomendaciones prácticas para la selección de materiales para tuberías, incluyendo materiales metálicos y no metálicos.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR MATERIALES PARA TUBERIAS

La experiencia de muchos años, y de muchas personas, ha producido una gran cantidad de criterios muy útiles, que deben aplicarse cuando se selecciona el material de una tubería.

Existen consideraciones generales y precauciones específicas para cada tipo de material, como las que se muestran a continuación.

CONSIDERACIONES GENERALES

A continuación se presentan seis consideraciones básicas que deben evaluarse al seleccionar el material de una tubería.

- Exposición del material al fuego. Si existe esta posibilidad, deberá evaluarse la pérdida de fuerza del material en esas condiciones; y algunas propiedades del material de la tubería o del material soporte, como son, la temperatura de degradación, el punto de fusión y la combustibilidad.
- Aislamiento térmico. Debe evaluarse la disponibilidad de materiales aislantes térmicos para proteger a la tubería de una posible exposición al fuego.
- Fragilidad del material. Debe evaluarse la susceptibilidad del material a romperse (peligros de fragmentación) y las fallas por choque térmico cuando la tubería está expuesta al fuego.

- Suceptibilidad del material a agrietarse por corrosión en puntos estancados (juntas roscadas) y efectos electrolíticos adversos cuando se tienen diferentes materiales metálicos en contacto.
- Confiabilidad de los empaques, sellos y lubricantes o selladores que se usan en las conexiones, así como su compatibilidad con el fluido a manejarse.
- El efecto refrigerante que se produce cuando hay una caída brusca de presión al manejar líquidos volátiles, determinando la temperatura mínima esperada de servicio.

PRECAUCIONES ESPECIFICAS

I TUBERIAS METALICAS

Fierro: fundido, maleable y alto silicio (14.5%)

Falta de ductibilidad y sensibilidad a choques térmicos y mecánicos.

Acero al carbón y aceros de baja y de media

- Fragilidad cuando se manejan fluidos alcalinos o fuertemente caústicos.
- Posible conversión de carburos a grafito durante largas exposiciones a temperaturas arriba de 427 °C (800 °F) para aceros al carbón, acero con base de níquel, acero carbón-manganeso, acero manganeso-vanadio y acero carbón-silicio.
- Posible conversión de carburos a grafito durante largas exposiciones a temperaturas arriba de 468 °C (875 °F) para acero carbón-molibdeno, acero manganeso-molibdeno-vanadio y acero cromo-vanadio.

- Ventajas del acero al carbón silicio -mate (0.1% de silicio mínimo) para temperaturas arriba de 480 °C (900 °F).
- Posibilidad de daño por hidrógeno cuando el material de la tubería está expuesto a hidrógeno o a soluciones acuosas ácidas bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.
- Posibilidad de deterioro del material cuando se maneja ácido sulfhídrico.

Aceros de alta (inoxidables)

- Posibilidad de rompimiento por corrosión de aceros inoxidables austeníticos expuestos a medios tales como cloruros u otros haluros ya sea interna o externamente. El daño por exposición externa puede resultar de una selección o instalación inadecuadas de aislamientos térmicos.
- Suceptibilidad de aceros inoxidables austeníticos a sufrir corrosión intergranular después de una exposición suficiente a temperaturas entre 427 °C y 871 °C (800 °F y 1600 °F) a menos que se usen aceros de grados estabilizado o bajo-carbón.
- Suceptibilidad de aceros inoxidables austeníticos a sufrir ataques intercristalinos en contacto con cinc o plomo a temperaturas superiores a sus puntos de fusión o con muchos compuestos de plomo y cinc a temperaturas igualmente elevadas.
- Fragilidad de aceros inoxidables ferríticos a temperatura ambiente después de un servicio a temperaturas superiores a los 370 °C (700 °F).

Níquel y aleaciones con base de níquel

- Suceptibilidad del níquel y de las aleaciones con base de níquel que no contengan cromo, a ataques granulares, cuando se encuentran expuestos a pequeñas cantidades de azufre a temperaturas arriba de 315 °C (600 °F).

- Suceptibilidad del níquel y de las aleaciones con base de níquel que sí contengan cromo, a ataques granulares, cuando se encuentran expuestos a condiciones reductoras a temperaturas arriba de 595 °C (1100 °F) y cuando se encuentran expuestos a condiciones oxidantes a temperaturas arriba de 760 °C (1400 °F).
- Posibilidad de rompimiento por corrosión de aleaciones de níquel y cobre (70 Ni, 30 Cu) en vapores de ácido fluorhídrico, si la aleación está muy tensionada o contiene tensiones residuales de fabricación o soldadura.

Aluminio y aleaciones de aluminio

- Compatibilidad de los compuestos usados en las conexiones, con el aluminio, para prevenir la formación de ligas.
- Posibilidad de corrosión por materiales usados en los edificios y otras estructuras, tales como concreto, cemento, cal, yeso y otros materiales alcalinos.
- Suceptibilidad de las aleaciones 5154, 5087, 5083 y 5456 a ataques intergranulares; la temperatura máxima a la que puede evitarse este deterioro es de 65 °C (150 °F).

Cobre y aleaciones de cobre

- Posibilidad de descincificación de aleaciones de latón.
- Suceptibilidad de las aleaciones con base de cobre a rompimientos por corrosión.
- Posibilidad de formación de acetiluros inestables cuando se maneja acetileno.

Titanio y aleaciones de titanio

Posibilidad de deterioro del titanio y de sus aleaciones a temperaturas arriba de 315 °C (600 °F).

Circonio y aleaciones de circonio

Posibilidad de deterioro del circonio y de sus aleaciones a temperaturas superiores a los 315 °C (600 °F).

Tantalio

- Posibilidad de reactividad del tantalio con todos los gases, excepto los inertes, a temperaturas arriba de 300 °C (570 °F).
- Fragilidad del tantalio al manejar hidrógeno nascente (monoatómico, pero no molecular) a temperaturas menores a 300 °C (570 °F). (El hidrógeno nascente se produce por acción galvánica o como producto de la corrosión de ciertos químicos).

II TUBERIAS NO METALICAS

Termoplásticos

- Si la tubería termoplástica se usa subterráneamente para manejar aire comprimido u otros gases comprimidos, deben observarse precauciones especiales. Puede considerarse la instalación de una co- raza protectora de la tubería.
- La tabla que se muestra a continuación, enlista los límites de temperatura máximos y mínimos recomendados para materiales termoplásticos de tubería. Estas recomendaciones son para aplicaciones a baja presión con agua y otros fluídos que no afecten significativamente las propiedades de un material termoplástico en particular. Los límites superiores pueden reducirse a presiones mayores, dependiendo de la combinación del tipo de fluído y de la vida esperada de servicio. Los límites inferiores están limitados más por la instalación, el ambiente y la seguridad, que por la fuerza del material.^{1.4}

LIMITES DE TEMPERATURA PARA TUBERIAS TERMOPLASTICAS

Material (Tipo genérico)	Límites de Temperatura Recomendados			
	Mínimo		Máximo	
	°F	°C	°F	°C
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	-30	-34	180	82
Celulosa acetato-butilato (CAB)	0	-18	140	60
Poliéster clorinado	0	-18	210	99
Poliacetal	0	-18	170	77
Poliétileno				
PE 1404	-30	-34	100	38
PE 2305	-30	-34	120	49
PE 2306	-30	-34	140	60
PE 3306	-30	-34	160	71
PE 3406	-30	-34	180	82
Polipropileno	30	-1	210	99
Policloruro de vinilo				
PVC 1120	0	-18	150	66
PVC 1220	0	-18	150	66
PVC 2110	0	-18	130	54
PVC 2112	0	-18	130	54
PVC 2116	0	-18	150	66
PVC 2120	0	-18	150	66
Policloruro de vinilo clorinado				
CPVC 4120	0	-18	210	99
Policloruro de vinilideno	40	4	160	71
Polifluoruro de vinilideno	0	-18	275	135
Nylon	-30	-34	180	82
Polibutileno	0	-18	210	99
Polióxido de fenileno				
POP 2125	30	-1	210	99

- La tabla que se muestra a continuación, enlista los límites de temperatura máximos y mínimos recomendados para materiales termoplásticos usados como recubrimientos adherentes sin presión. Los límites enlistados aplican sólo para el material del recubrimiento y están basados en pruebas de material, no reflejan necesariamente la evidencia de un uso exitoso como recubrimiento de componentes de tubería a estas temperaturas. El diseñador debe consultar a los fabricantes para aplicaciones específicas, particularmente si se encuentra próximo a los límites.^{1.4}

LIMITES DE TEMPERATURA PARA RECUBRIMIENTOS TERMOPLASTICOS

Material (tipo genérico)	TEMPERATURA			
	mínima		máxima	
	°F	°C	°F	°C
Poli tetrafluoroetileno	-325	-198	500	260
Poli etilenpropileno fluorinado	-325	-198	400	204
Poli vinilidencloruro	0	-18	175	79
Poli vinilidenfluoruro	0	-18	275	135
Poli propileno	0	-18	225	107
Poli perfluoroalcoxi	-325	-198	500	260

Resinas termofijas reforzadas

La tabla que se muestra a continuación, enlista los límites máximos de temperatura normalmente aceptados para resinas termofijas reforzadas. En todos los casos, la temperatura mínima recomendada es de -29 °C (-20 °F).^{1.4}

LIMITES DE TEMPERATURA PARA RESINAS TERMOFIJAS REFORZADAS

Material (tipo genérico)	Temperatura Máxima	
	°C	°F
Epóxica, fibra de vidrio reforzada	149	300
Poliéster, fibra de vidrio reforzada	93	200
Furan, fibra de vidrio reforzada	93	200
Furan, carbón-reforzada	93	200

Asbesto-cemento

Los límites de temperatura normalmente aceptados para tuberías de asbesto-cemento son de -18 °C (0 °F) como mínimo y 93 °C (200 °F) como máximo.

Vidrio borosilicato y grafito impregnado

Debe tomarse en cuenta su falta de ductibilidad y su sensibilidad a choques térmicos y mecánicos.

RESISTENCIA A LA CORROSION DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES METALICOS PARA LA CONSTRUCCION DE TUBERIAS

A continuación se presenta una tabla en la que se indican las características de resistencia a la corrosión de ciertos fluídos, para diferentes materiales metálicos de construcción de tuberías, excluyendo al acero al carbón y al hierro, que se usan extensamente.^{1,1}

Los tipos de materiales considerados en la tabla son: acero inoxidable; aluminio; cobre y sus aleaciones; níquel y las aleaciones con base de níquel, como el monel, el inconel y el hastelloy; titanio; circonio; y tantalio.

Todos los materiales mencionados se usan para fabricación de tuberías y dentro de cada tipo existen una gran cantidad de especificaciones diferentes, para obtener información de cada material específico es necesario consultar a los fabricantes; es por eso que se presentan como tipos de materiales, indicando a qué fluídos pueden manejar o no.

Obviamente, la información presentada no es suficiente para efectuar una selección, ya que no se consideran las condiciones específicas de operación del proceso en cuestión, ni los límites de resistencia mecánica de cada material. Sin embargo, la tabla puede servir como una guía para tener una idea de qué tipo de material podría ser útil, en función del fluído a manejarse.

RESISTENCIA A LA CORROSION DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA TUBERIAS

TIPO DE MATERIAL	RESISTE LA CORROSION DE:	NO RESISTE LA CORROSION DE:
ACERO INOXIDABLE	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDO NITRICO - ACIDO SULFURICO DILUIDO A TEMPERATURA AMBIENTE SI ES AEREAO - LA MAYORIA DE LOS ACIDOS ORGANICOS INCLUYENDO LOS ACIDOS ALIMENTICIOS - ALCALIS, EXCEPTO BAJA TENSION EN CAUSTICA CONCENTRADA - CALIENTE 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS CLORHIDRICO Y FLUORHIDRICO DILUIDOS O CONCENTRADOS - CLORURO SODICO - ALFALIS ORGANICOS, INCLUYENDO (NITRICO, FORMICO Y LACTICO)
ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none"> - HIDROXIDO DE AMONIO (CALIENTE O FRIO) - ACIDO ACETICO (CALIENTE O FRIO) - ACIDOS CITRICO, TARTARICO Y MALICO - ACIDOS GRASOS - ACIDO NITRICO AL 60% HASTA 1200 F - AGUA DESTILADA - AZUFRE Y SUS COMPUSTOS 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS SULFURICO, CLORHIDRICO Y FLUORHIDRICO - BASES FUERTES - MERCURIO Y SUS SALES - SOLVENTES CLORINADOS - AGUA MARINA
COPRE Y SUS ALEACIONES	<ul style="list-style-type: none"> - AGUA MARINA - INTERFERIE - ACIDOS SULFURICO Y FOSFORICO DILUIDOS DESAEREAOS Y OTROS ACIDOS NO OXIDANTES 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS OXIDANTES COMO EL NITRICO - HIDROXIDO DE AMONIO CON CALOR (LO QUE PUEDE PREVENIR FUTURAS) - ACIDO SULFURICO, AZUFRE Y SUS COMPUSTOS
NIQUEL	<ul style="list-style-type: none"> - ALCALIS CALIENTES Y FRIOS - ACIDOS ORGANICOS E INORGANICOS NO OXIDANTES DILUIDOS - OXIDACION EN AJRE A TEMPERATURAS ELEVADAS 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS OXIDANTES COMO EL NITRICO - SALES OXIDANTES, COMO EL CLORURO FERROSO - HIDROXIDO DE AMONIO AEREAO - AGUA DE MAR - AZUFRE O AMBIENTES AZUFREOS REDUCTORES (A MAS DE 600°F)
MONEL (70% NI, 30% CU)	<ul style="list-style-type: none"> - AGUA MARINA A ALTAS VELOCIDADES - ACIDO SULFURICO EN EBULLICION A CONCENTRACIONES MENORES AL 20% - ACIDO FLUORHIDRICO DESAEREAO - ALCALIS, EXCEPTO CAUSTICA CONCENTRADA CALIENTE 	
INCOHEL (NI, Fe, Cr)	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS ORGANICOS - SOLUCIONES ALCALINAS DE AZUFRE 	<ul style="list-style-type: none"> - FERROUSO - ACIDO SULFURICO
HASTELLOY B	<ul style="list-style-type: none"> - QUIMICOS REDUCTORES COMO EL ACIDO CLORHIDRICO - ACIDO SULFURICO EN EBULLICION A CONCENTRACIONES DE HASTA 60% 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS OXIDANTES COMO EL ACIDO NITRICO
HASTELLOY C	<ul style="list-style-type: none"> - CLORO GASEOSO HUMEDO - SOLUCIONES DE HIPOCLORITOS - SOLUCIONES DE DIOXIDO DE CLORO - SOLUCIONES FUERTEMENTE OXIDANTES - AGUA MARINA 	
TITANIO	<ul style="list-style-type: none"> - MEDIOS OXIDANTES EN PRESENCIA DE ION CLORURO - AGUA PEGIA A TEMPERATURA AMBIENTE - CLORO HUMEDO - ACIDO NITRICO A TEMPERATURAS ELEVADAS - AGUA MARINA 	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDO FLUORHIDRICO - COMPUSTOS CLORINADOS SECOS
CIRCONIO	<ul style="list-style-type: none"> - TODAS LAS CONCENTRACIONES DE ALCALIS HASTA SU PUNTO DE EBULLICION - ACIDO CLORHIDRICO - ACIDO NITRICO - ACIDO SULFURICO A CONCENTRACIONES MENORES AL 70% (EN EBULLICION) - ACIDO FOSFORICO A CONCENTRACIONES MENORES AL 50% (EN EBULLICION) 	<ul style="list-style-type: none"> - CLORURO DE HIERRO - ACIDO FLUORHIDRICO - AGUA PEGIA - ACIDO NITRICO (EN EBULLICION)
TANTALIO	<ul style="list-style-type: none"> - ACIDOS CLORHIDRICO, NITRICO Y SULFURICO, EXCEPTO FUERTE A TODAS LAS CONCENTRACIONES Y HASTA SUS PUNTOS DE EBULLICION 	<ul style="list-style-type: none"> - ALCALIS - ACIDO FLUORHIDRICO - ACIDO SULFURICO FUERTE

RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR UNA TUBERIA NO METALICA

- Las tuberías plásticas son aplicables en el rango de temperaturas y presiones bajas, puesto que son de peso ligero, bajo costo de instalación, bajo costo inicial comparado con aleaciones metálicas resistentes a la corrosión, y buena resistencia a muchos químicos corrosivos.
- Los materiales plásticos disponibles para fabricación de tuberías, tienen grados diferentes de resistencia al ataque de ácidos, álcalis y compuestos orgánicos. Los plásticos fluorocarbonados son los más resistentes a todo tipo de ataque químico. En general, puede decirse que los plásticos sustituyen y superan a los metales, en el rango en el que los metales son atacados más fuertemente. Los ácidos diluídos, por ejemplo, no atacan a la mayoría de los plásticos, pero atacan fuertemente a los metales. En contraste, los ácidos y álcalis fuertes pueden dañar a los plásticos, pero no afectan a muchos metales. Los compuestos orgánicos, tales como los productos petrolíferos, los aromáticos y los hidrocarburos clorinados, son también manejados adecuadamente en tuberías metálicas, pero no en todos los plásticos. Además, muchos plásticos se deterioran gradualmente cuando están expuestos al sol. Como guías para seleccionar una tubería plástica, deben utilizarse las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia en operación.
- Los plásticos pueden usarse en servicios a baja temperatura y alta presión, como recubrimientos para tuberías de acero.

- Los cauchos sintéticos de varios tipos, tienen una buena resistencia a los compuestos orgánicos, y usualmente se utilizan como recubrimientos de tuberías de acero, sin embargo, pueden utilizarse como material de construcción para tuberías a bajas presiones.

- El vidrio resiste el ataque de más ácidos y sustancias ácidas, que cualquier otro material de tubería. Sin embargo, no puede usarse para ácido fluorhídrico, ni para fluor que contenga ácido fosfórico, ni para soluciones alcalinas a más de 100 °F. Para muchos otros flúidos, el vidrio es adecuado hasta una temperatura de 450 °F, y tiene la ventaja de que puede observarse el contenido de la tubería, lo cual puede ser necesario en algunos procesos.

CRITERIOS DE SELECCION DE TUBERIAS METALICAS, NO METALICAS Y RECUBIERTAS

Las tuberías se utilizan en todas las industrias de proceso; aún en los procesos que involucran principalmente el manejo de sólidos, se requiere una gran cantidad de tuberías para servicios. Por lo tanto, no es sorprendente que se disponga de tuberías en un amplio arreglo de materiales, tamaños y resistencias mecánicas.

De los muchos materiales metálicos disponibles, los aceros en varios grados son, por mucho, los más ampliamente usados; su variedad aumenta día con día, dado que los fabricantes intentan proveer al mercado de mejores materiales para aplicaciones particulares.

La elección de materiales para tuberías en servicios a baja presión, no corrosivos y a temperaturas moderadas, no presenta prácticamente ningún problema. Sin embargo, a temperaturas elevadas la situación cambia drásticamente debido al comportamiento que siguen los materiales.

A continuación se presenta una lista de algunos materiales metálicos para construcción de sistemas de tuberías, en la que se indican las características y aplicaciones de los diferentes metales.

Aleación 70 Cu, 29 Zn, 1 Sn.

Usada para tubos de intercambiadores en contacto con agua fresca o salada, vapor, petróleo y otros líquidos a temperaturas menores a 500 °F.

Aluminio 2S.

Bajo en resistencia mecánica, es el aluminio más fácilmente soldable. Usado en plantas de alimentos. Resistente a formaldehído, amoníaco, colorantes, fenol y ácido sulfhídrico.

Aluminio 3S.

Tiene mejores propiedades mecánicas que el aluminio 2S, debido a su contenido de manganeso.

Latón 71 Cu, 28 Zn, 1 Sn.

Resistente a aguas corrosivas, tiene las mismas aplicaciones que la aleación 70 Cu, 29 Zn, 1 Sn.

Latón, aluminado.

Buena resistencia a la corrosión y buena retención de dureza a temperaturas elevadas.

Bronce, silicio .

Usado para tanques y equipos de proceso, debido a su alta resistencia y dureza. Resiste salmueras, soluciones de sulfitos, soluciones de azúcar y ácidos orgánicos.

Cobre.

Resistente a aguas corrosivas. Usado para tubos de condensadores y cambiadores de calor.

Cupro-Níquel 70-30.

Resiste la corrosión de agua salada que pase a través de tubos de cambiadores de calor a alta velocidad.

Duriron.

Disponibile solamente en forma fundida. Resiste a ácidos como nítrico, sulfúrico y acético, pero no ácido fluorhídrico ni sulfúrico fumeante.

Durimet 20.

Extremadamente resistente a ácido sulfúrico en todas las concentraciones, excepto de 60 a 90% a temperaturas de ebullición.

Durimet T.

Aleación austenítica de Cr-Ni con buenas propiedades de resistencia a la corrosión.

Hastelloy B.

Usado para manejar ácido clorhídrico en ebullición y vapores húmedos de ácido clorhídrico.

Hastelloy C.

Soporta agentes oxidantes fuertes, como el ácido nítrico y el cloro libre. Resistente también a ácidos fosfórico, acético, fórmico y sulfuroso.

Inconel.

Aleación de cromo y níquel con pequeños porcentajes de hierro. El contenido de cromo lo hace resistente a soluciones oxidantes y reductoras a temperaturas elevadas. Evita la contaminación y el ensuciamiento por sustancias que se manejan en las industrias de jabón y alimentos.

Fierro fundido.

Buena resistencia a la corrosión interna o externa. Usado extensivamente para distribución de agua y gas, y para sistemas de drenaje de ciudades.

Plomo.

Alta resistencia a la corrosión cuando se forman recubrimientos insolubles tales como sulfato, carbonato y fosfato de plomo. La resistencia a la corrosión no es buena cuando se forman sales solubles por la acción del ácido nítrico, tales como el nitrato de plomo.

Monel 400.

Aleación de níquel y cobre con alta fuerza, usada principalmente para manejar soluciones alcalinas cuando la contaminación por cobre no es importante. Tiene una resistencia excelente a la corrosión de muchos ácidos desaeerados, soluciones cáusticas, álcalis, soluciones salinas, productos alimenticios y

otras sustancias orgánicas. Recomendado generalmente, al igual que el níquel comercial, para condiciones reductoras, más que para condiciones oxidantes.

Monel K-500.

Conserva su fuerza a temperaturas elevadas.

Níquel 200.

Altamente resistente a la corrosión. Usado más frecuentemente cuando el contenido de cobre del monel es indeseable. Puede manejar concentraciones altas de sales cáusticas calientes y de sales neutras.

Níquel, plata 18%.

Llamado plata alemana, es altamente resistente a la corrosión. Usado para productos alimenticios con contacto atmosférico.

NI resistente tipo 1.

Usado para manejar ácido sulfúrico, disponible como tubería y como cuerpo de válvulas.

Acero, ASTM A587-68.

Tiene una alta ductibilidad y resistencia al paso del tiempo. Puede curvarse considerablemente más que otros aceros.

Acero Inoxidable, AISI tipo 304 o ASTM A312-64, Gr. TP-304.

Es el más común de los aceros inoxidables. Resiste la corrosión de muchas sustancias; provee condiciones sanitarias para las industrias farmacéuticas y de alimentos.

Acero Inoxidable, AISI tipo 316 o ASTM A312-64, Gr. TP-316.

Es el acero inoxidable más resistente a la corrosión y uno de los más costosos.

Tantalio.

Resistente al ácido nítrico y a otros ácidos.

Titanio, Ti-50A.

Tiene una alta resistencia a la corrosión en medios oxidantes. Resiste hipocloritos, ácido sulfúrico al 30% y percloratos. También resiste la abrasión y erosión por cavitación.

Worthite.

Usado para manejar ácido sulfúrico y soluciones concentradas de ácido acético y de ácido fosfórico.

TUBERIAS NO METALICAS

Excepto por los plásticos, la lista de materiales no metálicos disponibles en la industria, no ha cambiado mucho en los últimos 40 años. Los más comunes son: asbesto-cemento, barro, concreto, vidrio, grafito y carbón, porcelana, caucho, cerámica y madera.

Cuando se tiene que seleccionar uno de estos materiales, el ingeniero debe recurrir principalmente a la experiencia de otras personas.

No existe en realidad un solo material de tubería apropiado para una instalación particular, y aunque lo hubiera, el encontrarlo podría resultar bastante costoso. El costo total también depende de los costos de ingeniería; ni el ingeniero de proceso ni el ingeniero de diseño pueden enfocarse a investigar a fondo los materiales propuestos, especialmente cuando las posibilidades de elección de entre uno de ellos, son casi ilimitadas y cambian rápidamente.

Una de las herramientas más importantes para seleccionar materiales no metálicos de tubería, es en la actualidad, el conocimiento y la experiencia desarrollados por medio de prueba y error. De hecho, es raro que un ingeniero deba tomar una decisión personal al respecto; las prácticas estándares de las compañías, las preferencias de los compradores y otras prácticas aceptadas, son las que normalmente dictan las decisiones.

Factores en el ensamble de tuberías no metálicas

Existen algunas ventajas y desventajas con respecto a la unión de tramos de tuberías no metálicas.

Muchos sistemas no metálicos pueden instalarse con mucho menos trabajo de campo que el que se necesita para sistemas metálicos soldados o bridados. Ejemplos de esto es la unión en trincheras de tuberías de asbesto-cemento, y la unión de tuberías plásticas por medio de bridas y tapones fundidos. Las tuberías plásticas pueden manejarse generalmente por un solo trabajador porque pesan mucho menos que las tuberías metálicas.

Algunos tipos de tuberías no metálicas pueden dañarse más fácilmente si no se manejan con cuidado. Una brida de grafito rota puede ser difícil de reemplazarse, y los tubos plásticos pueden doblarse si no se cargan apropiadamente.

Las tuberías no metálicas deben tratarse más cuidadosamente que las de fierro o acero, y por otro lado, no se rompen tan fácilmente como las de cobre o plomo.

La cementación o soldado de tuberías plásticas en campo, es práctica, usualmente simple, y teóricamente muy económica. En la práctica, los errores humanos pueden, algunas veces, eliminar las ventajas en costos.

El ensamble de tuberías de poliéster de fibra de vidrio reforzada o de tuberías epóxicas, es más difícil que para tuberías de PVC, dado que los trabajadores están menos familiarizados a trabajar con ellas.

TUBERIAS RECUBIERTAS

La mayoría de los sistemas de tuberías recubiertas, tienen al acero al carbón como componente estructural. La facilidad de fabricación y el bajo costo del acero al carbón, lo hacen susceptible de usarse casi con cualquier tipo de recubrimiento y técnica de fabricación. Sin embargo, algunos recubrimientos

termoplásticos utilizan aluminio como material estructural y otros sistemas emplean al fierro fundido como tal. La falta de flexibilidad del diseño con fierro fundido se compensa por su bajo costo.

Las combinaciones disponibles de recubrimientos y componentes estructurales son casi ilimitadas.

A continuación se presenta una breve descripción de los recubrimientos que han sido los más comunes en los últimos 15 años.

Asfalto, Alquitrán de Hulla y Betún.

Estos son los recubrimientos más viejos y económicos que existen. Pueden aplicarse sobre madera, concreto, acero o fierro fundido; y resisten un amplio rango de ácidos y álcalis hasta su punto de ablandamiento. Recientemente se han desarrollado alquitranes de hulla epóxicos que resisten a todos los solventes comunes y que tienen un límite de temperatura arriba de los 250 °F. Los recubrimientos de alquitrán de hulla deben considerarse siempre para sistemas de drenaje y de tratamiento de efluentes, puesto que prácticamente no existen límites por configuraciones o tamaños de tubería.

Cemento.

Las tuberías recubiertas con cemento son sistemas económicos para servicios salobres o de agua salada. Los recubrimientos se aplican con equipo especial sobre tramos rectos de tubería, mientras que los accesorios y las formas especiales deben recubrirse manualmente. En años recientes, se han desarrollado recubrimientos de cemento que resisten ácidos débiles, álcalis, condensado de calderas y agua desionizada. Estos, son especialmente útiles para sistemas acuosos que contengan solventes hidrocarburos o aromáticos.

Caucho.

Los recubrimientos de caucho son capaces de resistir ácidos fuertes y soluciones alcalinas (caucho duro) o resistentes a la abrasión (caucho suave). En la mayoría de las aplicaciones las tuberías de acero y de fierro fundido se recubren con tubos de hojas de caucho. El recubrimiento se extiende sobre extremos bridados y se usa como empaque. Los largos años de experiencia en el uso del caucho le dan al diseñador una garantía de funcionamiento en muchos ambientes químicos.

Plomo.

La tubería forrada de plomo elimina los problemas de baja resistencia a tensión que tienen las tuberías de plomo puro. Existen dos tipos de tuberías y accesorios en la actualidad, los recubrimientos expandidos y los recubrimientos adheridos. Los recubrimientos de plomo expandidos son satisfactorios cuando la temperatura de proceso es menor a 212 °F. Los recubrimientos adheridos deben utilizarse para temperaturas más altas o cuando se tengan fluctuaciones en temperatura y presión.

Vidrio.

Las tuberías recubiertas con vidrio pueden manejar el más amplio rango de condiciones de temperatura-concentración de cualquier sistema. Esta virtud, sin embargo, se desvirtúa por su baja resistencia al impacto y a los choques térmicos. Las tuberías y los accesorios se fabrican revistiendo al metal base con una pasta acuosa de vidrio y calentando el sistema hasta el punto de fusión del vidrio.

Niquel.

Las tuberías forradas de níquel pueden producirse por electroplateado o a partir de placas revestidas. El níquel electroplateado es difícil de aplicar a formas complejas y el níquel inelétrico contiene trazas de fósforo que lo hacen menos resistente a la corrosión que el níquel puro. Existen procedimientos de soldado de tuberías de acero revestidas de níquel y este tipo de sistemas es más económico para tuberías y accesorios de diámetro grande.

Acero Inoxidable.

El acero inoxidable se usa para revestir tuberías de acero al carbón. En la mayoría de las plantas químicas, los diseñadores han usado tuberías de acero inoxidable de pared ligera debido a la disponibilidad de métodos simples de fabricación para diámetros pequeños. Sin embargo, las plantas grandes requieren diámetros mayores suficientes para hacer que la tubería forrada de acero inoxidable sea práctica.

Titanio, Tantalio y Circonio.

Los recubrimientos de estos metales se agrupan juntos debido a su similitud en los métodos de diseño y fabricación; aunque cada uno tiene características específicas que son las correspondientes de las tuberías de metales puros.

Termoplásticos.

Los recubrimientos termoplásticos tales como PVC, saran, polietileno, polipropileno y polieter clorinado, están disponibles como recubrimientos libres o adheridos. Debido a que estos materiales son fácilmente fundibles, pueden moldearse dentro de accesorios y válvulas de todos tamaños. En general, una tubería de acero recubierta tiene la misma resistencia a la corrosión que la tubería sólida de plástico correspondiente, pero además tiene propiedades físicas superiores arriba de los 150 °F y en tamaños mayores.

Materiales Fluorocarbonados.

Estos materiales son los recubrimientos más resistentes a la corrosión y también los más costosos. Aunque son termoplásticos, tienen altas temperaturas de trabajo y requieren técnicas de fabricación especiales.

Poliésteres, Epóxicos y Fenólicos.

Estos materiales constituyen la mayoría de los recubrimientos termofijos. Estos recubrimientos han sido muy populares en ambientes de salmuera de campos petroleros y de ácido sulfhídrico, aunque los ingenieros de proceso se han resistido un poco a su uso debido a que tienen espesores de 3 a 10 milésimas de pulgada. Se han logrado avances recientemente con recubrimientos epóxicos de 20 a 40 milésimas de pulgada de espesor, que son útiles en las fábricas de papel y en las plantas de tratamiento de efluentes.

SUMARIO DE TUBERIAS METALICAS

MATERIAL	TAMANOS	APLICACIONES TÍPICAS	COMENTARIOS
ALUMINIO		LINEAS CRIOGÉNICAS Y QUÍMICAS; TUBERIAS HIDRAULICAS LIGERAS.	BAJO PISO Y BUENA RESISTENCIA A LA CORROSION.
COBRE	TUBERIAS PEQUEÑAS PRINCIPALMENTE.	APLICACIONES MARINAS, SERVICIOS DOMESTICOS DE AGUA CALIENTE.	RESISTENTE A LA CORROSION, PERO COSTOSO.
HIERRO DUCTIL	HASTA 24 PULGADAS (6000 MM)	SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA Y GAS.	MAS FUERTE QUE EL HIERRO FUNDIDO.
HIERRO FUNDIDO GRTS	HASTA 48 PULGADAS (12000 MM)	SISTEMAS DE AGUA, GAS Y DRENADO.	MATERIAL FRÁGIL.
HIERRO MALLEABLE		USADO PRINCIPALMENTE PARA ACCESORIOS PEQUEÑOS.	MÁS FRÁGIL QUE EL HIERRO FUNDIDO.
ACERO	HASTA 100 PULGADAS (25000 MM)	LINEAS DE GAS Y PETROLIO.	DISPONIBLE EN UNA GRAN VARIEDAD DE RESISTENCIAS MECANICAS.
ACERO INOXIDABLE		LINEAS CRIOGÉNICAS Y QUÍMICAS, TOMAS DE AGUA, PLUMERIA Y CALENTAMIENTO DOMESTICAS.	RESISTENTE A LA CORROSION, PERO DE COSTO ELEVADO.
TUNGSTO	TUBERIAS PEQUEÑAS PRINCIPALMENTE.	APLICACIONES MARINAS, SISTEMAS HIDRAULICOS ESPECIALES.	RESISTENTE A LA CORROSION, AL CALOR Y A LAS CHISPAS.

SUMARIO DE TUBERIAS NO METALICAS

MATERIAL	TAMAÑOS	PESISTENCIA A LA CORROSION	APLICACIONES TÍPICAS	COMENTARIOS
ASESTO-CEMENTO	2 - 42 pulgadas (50 - 1050 mm)	Muy buena en la mayoría de los suelos.	Líneas subterráneas de agua y sistemas de drenaje.	Materia: frágil.
BAPRO		Muy buena.	Líneas y ductos de drenaje.	Materia: frágil. Normalmente vidriado.
CONCRETO	6 - 76 pulgadas (150 - 1950 mm)	Muy buena en la mayoría de los suelos.	Líneas de drenaje.	Producido en forma reforzada y no reforzada.
CONCRETO TEJIDO		Buena resistencia al ataque de sulfatos y gases clorales.	Alcantarillado, drenaje, etc.	Liso, orificio concéntrico. Terminado exterior liso. Alta densidad, reforzado con acero.
CONCRETO PPE - TENSIONADO	Hasta 120 pulgadas (3000 mm)	Muy buena en la mayoría de los suelos.	Líneas grandes de agua y drenaje.	Apropiado para diámetros muy grandes.
PE2 - FIBRA	2 - 9 pulgadas (50 - 225 mm)	Muy buena en la mayoría de los suelos.	Líneas pequeñas de drenaje.	
TUBERIAS PLASTICAS				
ABS	1/2 - 6 pulgadas (12 - 150 mm)	Libre de corrosión pero de menor resistencia química que el PVC.	Alterno al PVC cuando se requieren mejores propiedades mecánicas.	Apropiado para ensamblarse mediante solventes.
GPP	Hasta 150 pulg. (4000 mm)	Libre de corrosión.	Líneas grandes de agua y drenaje.	Materia: termofrágil. Disponible también en otras construcciones de matriz plástica reforzada (PRP). Desventaja: Costo elevado.
POLICLOPUDO DE VINILO U P V C	Hasta 42 pulgadas (1050 mm)	Libre de corrosión.	Líneas de servicios generales, - apropiado para un gran número de aplicaciones interiores y exteriores.	PVC no plastificado. Apropiado para soldarse mediante solventes. Ampliamente disponible.
POLICLOPUDO DE VINILO C P V C	Hasta 14 pulgadas (360 mm)	Libre de corrosión.	Servicios de agua fría y caliente, plomería doméstica, etc.	PVC rígido.
POLIPROPILENO P P	Hasta 40 pulgadas (En el Reino Unido hasta 16 pulg) (1000 mm)	Similar al PE, pero superior para resistencia a detergentes.	Aplicaciones que requieren líneas de combinación de temperatura/presión, efluentes, molinos de pulpa, etc.	Frágil a bajas temperaturas.
POLIPROPILENO P V D F		Alta resistencia química incluyendo ácidos, álcalis e hidrocarburos.	Aplicaciones especiales, temperaturas de servicio más elevadas que las posibles con otras tuberías termoplásticas.	Ensamble por fusión.
POLIPROPILENO CO - PP	Hasta 12 pulgadas (300 mm)			Copolímero del PP con mejor resistencia.
POLITRIPLINO PB	Hasta 24 pulgadas (600 mm)		Poliésteres de alta calidad, - apropiado para temperaturas de hasta 1100 C. (2000 F)	Menos costoso que el PEX, más resistente a la abrasión que el PEX (particularmente a temperaturas elevadas). No puede soldarse mediante solventes.
POLIETILENO PE - PEL	Hasta 8 pulgadas (200 mm)	Libre de corrosión.	Agricultura e irrigación.	Poliétileno de baja densidad: aplicaciones de hasta 6 bar.
POLIETILENO PEH	Hasta 20 pulg. (500 mm)	Libre de corrosión	Distribución de gas. Líneas de - - - - - serv. grales. para aplicaciones interiores y exteriores.	Poliétileno de densidad media: ensamblaje por fusión mediante juntas mecánicas.
POLIETILENO HDPE - PEH	Hasta 48 pulgadas (1200 mm)	Libre de corrosión.		PEH de alta densidad: disponibilidad limitada en forma de tubo y costoso.
PEX			Aplicación de agua caliente.	PE de conexión cruzada.
FLUOROCARBONADOS FEP, PFA, PTFE		Sobresaliente.	Usados como recubrimientos de GPP y tuberías metálicas para una resistencia completa a la corrosión. Disponibilidad limitada en forma de tubo para FEP y PFA.	
POLIETILENO PEH	Hasta 70 pulgadas (1000 mm)	Libre de corrosión.	Distribución de agua, aguas negras, efluentes industriales, etc. - - - - - distribución de gas.	Poliétileno de alta densidad: ensamblaje por fusión mediante juntas mecánicas.

SUMARIO DE RECOMENDACIONES PLASTICOS

RECOMENDACION	RANGO NORMAL DE ESPESOR	RANGO DE TEMPERATURA DE TRABAJO EN AÑOS		RESISTENCIA QUIMICA			RESISTENCIA AL IMPACTO	APLICACIONES
		MINIMA	MAXIMA	ACIDOS DILUIDOS	ALCALIS DILUIDOS	SOLVENTES		
VLASTIC PVC HS 60	0.01 - 0.20 PULG. 1.5 - 5.0 MM	- 40 F - 200 C	1400 F 600 C	EXCELENTE	REGULAR	NO RECOMENDABLE	EXCELENTE	RECOMENDADO INDUSTRIAL PESADO, RESISTENCIA QUIMICA, BUENA RESISTENCIA A AGUA SALADA.
VIFLEX PVC AT 80 S	0.01 - 0.03 PULG. 250 - 750 µM	- 40 F - 200 C	1400 F 600 C	BUENA	REGULAR	NO RECOMENDABLE	BUENA	USADO PARA AGUA POTABLE, NO TOXICO.
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	0.012 - 0.036 PULG. 300 - 900 µM	- 700 F - 600 C	1400 F 600 C	REGULAR	REGULAR	NO RECOMENDABLE	BUENA	RESISTENCIA ELECTRICA Y QUIMICA INDIFERENTE EXCELENTE.
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	0.012 - 0.024 PULG. 300 - 600 µM	- 500 F - 500 C	1400 F 600 C	BUENA	BUENA	NO RECOMENDABLE	BUENA	RESISTENCIA QUIMICA Y ACIDA.
IPOLICIDS	0.01 - 0.020 PULG. 250 - 700 µM	- 400 F - 400 C	1900 F 900 C	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	RESISTENCIA QUIMICA Y ADHESIVA PARA APLICACIONES INDUSTRIALES.
PIPI GEMAL	0.0001 - 0.012 PULG. 15 - 300 µM	- 3700 F - 2000 C	5700 F 3000 C	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENAS PROPIEDADES MECANICAS, ALTA FUERZA DIELECTRICA, LUBRICACION SECA.
PIFCF	0.008 - 0.01 PULG. 200 - 250 µM	- 1120 F - 600 C	3300 F 1650 C	EXCELENTE	EXCELENTE	NO RECOMENDABLE	MUY BUENA	ASELANTE ELECTRICO Y ALTA TEMPERATURA, RESISTENCIA QUIMICA.
POLIPROPILENO	UNA CAPA: 0.012 - 0.026 PULG. 300 - 650 µM DOS CAPAS: 0.024 - 0.09 PULG. 600 - 2000 µM	- 220 F - 300 C	2120 F 1000 C	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	UNA CAPA: TERMINADO DE COATIVO DOS CAPAS: BUENA RESISTENCIA AL IMPACTO, A LA ADHESION Y A QUIMICOS.
FVA	0.01 - 0.012 PULG. 250 - 300 µM	- 700 F - 600 C	1400 F 600 C	BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR	ACCESORIOS DE TUBERIA PARA LA INDUSTRIA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES, EXCELENTE RESISTENCIA AL CLORO, NO TOXICO.
FIP	0.002 - 0.008 PULG. 50 - 2200 µM	- 4100 F - 2400 C	5000 F 2600 C	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	DESARROLLADO PARA SOPORTAR QUIMICOS AGRESIVOS, ES EL MATERIAL FABRICADO MAS IMPIT.
PVDF	0.04 - 6.0 PULG. 1 - 150 MM	- 700 F - 600 C	2500 F 1200 C	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	RESISTENCIA QUIMICA A ALTAS TEMPERATURAS.

RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR TUBERIAS PARA REFINERIAS Y PLANTAS PETROQUIMICAS

El primer aspecto que debe tomarse en cuenta es el material de construcción de la tubería. Los factores a considerar son, la corrosividad del fluido y la resistencia del material a la temperatura y la presión.

Una vez conocidas las características del fluido, es común que existan varios materiales diferentes capaces de resistir la corrosión y los niveles de operación, es entonces cuando los criterios establecidos en base a la experiencia entran en consideración.

En plantas petroquímicas y refinerías, los materiales que se usan comúnmente son, el acero al carbón, los aceros de baja (que contienen hasta un 9% de cromo y de 0.5 a 10% de molibdeno), los aceros inoxidable cromo-ferríticos (serie 400) y los aceros inoxidable austeníticos cromo-níquel (serie 300).

No obstante, hay ocasiones en que podrían usarse otro tipo de materiales, sin embargo, la tendencia es de no seleccionar un material de tubería a menos que se esté seguro de que ha sido utilizado con anterioridad para el servicio que se necesita y de que ha funcionado bien.^{1.9}

De acuerdo con lo anterior, en las tablas que se muestran a continuación, se establece el material de tubería más adecuado en base al servicio dado y dentro de los límites de temperatura y presión que se indican.

Las recomendaciones que se dan en las tablas están basadas en las prácticas establecidas de la industria para plantas petroquímicas y refinerías.

En estas tablas también se tienen valores del margen por corrosión que debe usarse para determinar el espesor de pared de la tubería, así como la cédula de la tubería, que establece ya el espesor estándar de la misma.

GUIA DE SELECCION DE TUBERIAS PARA REFINERIAS Y PLANTAS PETROQUIMICAS

SERVICIO	Amoniaco refrigerante vapor y líquido.	Hidrocarburos, gas rico en hidrógeno a 45%, desafujos a baja temperatura.	Agua desmineralizada, cirro y condensado ácido.
LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION	19.33 Kg/cm ² a (-30 °C hasta -45 °C)	19.33 Kg/cm ² a (101.1 °C hasta 156 °C)	19.33 Kg/cm ² a 30 °C 9.80 Kg/cm ² a 300 °C
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero de aleación ASTM-A-333, grado 1, con costura, extremos planos. 2" a 16" Ø: acero de aleación ASTM-A-333, grado 1, con costura, extremos biselados para soldar.	1/2" Ø: acero inoxidable ASTM-A-312, grado TP-304, soldada, extremos planos. 1/2" a 24" Ø: acero inoxidable ASTM-A-312, grado TP-304, soldada "EP", extremos planos.	1 1/2" Ø y menores: acero inoxidable ASTM-A-312, tipo 321, sin costura, extremos planos. 2" a 20" Ø: acero inoxidable ASTM-A-312, tipo 321, sin costura, extremos biselados para soldar. 22" a 36" Ø: acero inoxidable ASTM-A-312, grado 321, con costura, extremos biselados para soldar.
MARGEN POR CORROSION	0.050"	0.000"	0.000"
ESPESORES	1 1/2" Ø y menores: Cédula 40 2" a 6" Ø: Cédula 40 8" a 12" Ø: Cédula 20 14" a 16" Ø: 0.250"	1/2" a 24" Ø: Cédula 105	12" Ø y menores: Cédula 55 14" a 20": Cédula 105 22" Ø: 0.250" 26" a 30" Ø: 0.312" 36" Ø: 0.375"
SERVICIO	a) Hidrocarburos líquidos no corrosivos o ligeramente corrosivos, vapores, gas natural, gas combustible, combustible, gases inertes, solución de amoníaco, solución de aminas, agua y aire de proceso. b) Vapor, condensado y agua de alimentación a calderas.	Hidrocarburos pesados líquidos con elevado índice de corrosión por azufre.	Butadieno y estireno monómero.
LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION	Para los fluidos descritos en el inciso a): 15.8 Kg/cm ² a 402 °C 50.7 Kg/cm ² a (-29 °C a 38 °C) Para los fluidos descritos en el inciso b): 15.8 Kg/cm ² a 482 °C 50.1 Kg/cm ² a (-29 °C a 38 °C)	Presión: 24.6 Kg/cm ² Temperatura: 482.0 °C	Presión: 50.61 Kg/cm ² Temperatura: -20.9 °C a 43.3 °C
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos planos. 2" a 14" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 16" a 24" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, con o sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero de aleación con 5% Cr y 0.5% Mo, ASTM-A-335, grado PS, sin costura, extremos planos. 2" y mayores: acero de aleación con 5% Cr y 0.5% Mo, ASTM-A-335, grado PS, sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos planos. 2" a 16" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 18" a 30" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, con costura longitudinal, (soldada por resistencia eléctrica), extremos biselados para soldar.
MARGEN POR CORROSION	0.050"	0.050"	0.050"
ESPESORES	Para los fluidos descritos en el inciso a): 1 1/2" Ø y menores: Cédula 60 2" a 6" Ø: Cédula 40 8" a 10" Ø: Cédula 30 12" Ø: Poco estándar 14" a 24" Ø: calcular con un mínimo de 0.250" Para los fluidos descritos en el inciso b): 1 1/2" Ø y menores: Cédula 60 2" a 6" Ø: Cédula 40 10" a 12" Ø: Cédula 30 14" a 18" Ø: Poco estándar 20" a 24" Ø: calcular con un mínimo de 0.250"	1 1/2" Ø y menores: Cédula 60 2" a 8" Ø: Cédula 40 10" Ø y mayores: calcular	1 1/2" Ø y menores: Cédula 60 2" a 10" Ø: Cédula 40 12" a 14" Ø: 0.375" 16" Ø: 0.500" 18" Ø: 0.500" 20" a 22" Ø: 0.625" 24" a 30" Ø: 0.687"

GUÍA DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA REFINERÍAS Y PLANTAS PETROQUÍMICAS

SERVICIO	Agua Cruda, agua tratada (no desmineralizada), agua de enfriamiento, agua de pozos, condensado; agua potable y para sanitarios, sobre y bajo nivel de plan; vapor de escape, aire de servicio y de instrumentos.	Agua de mar.	Hidrocarburos líquidos no corrosivos o ligeramente corrosivos, acetileno combustible, gas condensable, gas natural, condensado, amoníaco refrigerante (vapor o líquido), solución de álcalis, solución de aminas, solución de sulfato, solución de fosfatos y aire de proceso.
LÍMITES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN	1 1/2" Ø y menores: 8.8 kg/cm ² a 178 °C, vapor. 12.3 kg/cm ² a 65.6 °C, agua y aceite. 1 1/2" a 16" Ø: 8.8 kg/cm ² a 178 °C, vapor. 1 1/2" a 24" Ø: 10.5 kg/cm ² a 65.6 °C, agua. 18" a 24" Ø: 7.0 kg/cm ² a 170 °C, vapor. 30" a 54" Ø: 10.5 kg/cm ² a 65.6 °C, agua.	Presión: 7.0 kg/cm ² Temperatura: -300 a 55 °C	7.0 kg/cm ² a 399 °C 10.5 kg/cm ² a 260 °C 19.4 kg/cm ² a (-29 °C a 38 °C)
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado A, con o sin costuras, extremos troncosados. 1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-120, para agua potable y sanitarios. 2" a 24" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, con o sin costura, extremos biselados para soldar. 26" Ø y mayores: acero al carbón ASTM-A-283, grado C, una costura longitudinal, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado A, sin costura, extremos planos. 2" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 3" a 14" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos planos. 2" a 16" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 18" a 24" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, con o sin costura, extremos biselados para soldar. 26" Ø y mayores: acero al carbón ASTM-A-155, grado C55, clase 2, con una soldadura longitudinal, extremos biselados para soldar.
MARGEN POR CORROSIÓN	0.05"	0.25"	0.05"
ESPESORES	3/4" Ø y menores: Cédula 80 1" a 6" Ø: Cédula 40 8" a 10" Ø: Cédula 30 12" a 18" Ø: 0.25" 20" a 30" Ø: 0.312" 36" a 54" Ø: 0.375"	1 1/2" Ø y menores: Cédula 160 2" Ø: Cédula 160 3" a 6" Ø: Cédula 80 8" a 10" Ø: Cédula 40 12" a 14" Ø: Cédula 30	1 1/2" Ø y menores: Cédula 80 2" a 6" Ø: Cédula 40 8" a 12" Ø: Cédula 30 14" a 20" Ø: Cédula 10 24" a 36" Ø: calcular el espesor, con un mínimo de 0.250"

SERVICIO	Hidrocarburos pesados líquidos, con elevado índice de corrosión por azufre.	Destilados primarios de crudo (sistema entre el condensador, el acumulador y la tubería de succión de la bomba de refujo).	Vapor, condensado, agua de proceso y de alimentación a calderas.
LÍMITES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN	Presión: 4.9 kg/cm ² Temperatura: 482 °C	Presión: 9.15 kg/cm ² Temperatura: 315 °C	7.0 kg/cm ² a 399 °C 11.6 kg/cm ² a 232 °C
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero de aleación con 5% Cr y 1/2% Mo, ASTM-A-355, grado PS, sin costura, extremos planos. 2" Ø a 10" Ø: acero de aleación con 5% Cr y 1/2% Mo, ASTM-A-355, grado PS, sin costura. 12" Ø y mayores: acero de aleación con 5% Cr y 1/2% Mo, ASTM-A-355, grado PS, sin costura.	Tubería sin costura o soldada con aleación Cu-Ni (monel), templada (sujeta a tratamiento térmico); ASTM-B-165-581 para tuberías sin costura y ASTM-B-127-581 para tuberías soldadas, rolas en caliente con la placa sujeta a tratamiento térmico. 6" Ø y menores: sin costura. 8" a 18" Ø: placa soldada.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbón ASTM-A-53, grado A, sin costura, extremos planos. 2" a 16" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 18" a 24" Ø: acero al carbón ASTM-A-53, grado B, con una costura longitudinal o sin costura, extremos biselados para soldar.
MARGEN POR CORROSIÓN	0.05"	0.000"	0.05"
ESPESORES	1 1/2" Ø y menores: Cédula 80 2" a 10" Ø: Cédula 40 12" Ø y mayores: calcular espesor.	1 1/2" Ø y menores: Cédula 40S 2" a 6" Ø: Cédula 10 8" Ø: Cédula 10S 10" a 12" Ø: 3/16" 14" a 18" Ø: Cédula 10S	1 1/2" Ø y menores: Cédula 80 2" a 8" Ø: Cédula 40 10" a 12" Ø: Cédula 30 14" a 18" Ø: Cédula 20 20" a 24" Ø: 0.312"

GUIA DE SELECCION DE TUBERIAS PARA REFINERIAS Y PLANTAS PETROQUIMICAS

SEVICIO	Vapor.	Hidrocarburos líquidos no corrosivos o ligeramente corrosivos, vapor, gas natural.	Agua tratada de inyección a pozos de petróleo.
LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESTION	80.05 kg/cm ² a 465 °C 73.82 kg/cm ² a 462 °C 66.79 kg/cm ² a 510 °C 51.25 kg/cm ² a 539 °C	78.3 kg/cm ² a 402 °C	253.0 kg/cm ² a 39 °C 249.0 kg/cm ² a 66 °C 243.0 kg/cm ² a 121 °C
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero de aleación con 1 1/4% Cr y 1/2% Mo, ASTM-A-335, grado P11, sin costura, extremos planos. 2" a 14" Ø: acero de aleación con 1 1/4% Cr y 1/2% Mo, ASTM-A-335, grado P11, sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbono ASTM-A-53, grado A, sin costura, extremos planos. 2" a 12" Ø: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos planos. 2" a 12" Ø: acero al carbono ASTM-A-105, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar.
MARCAEN POR CORROSION	0.0625*	0.050*	0.0625*
ESPEORES	1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 6" Ø: Cálculo 100 8" a 14" Ø: Cálculo 100	1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 1 1/2" Ø y menores, rosca: Cálculo 100 2" a 12" Ø: calcular	1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 12" Ø: Cálculo 100

SEVICIO	a) Hidrocarburos líquidos no corrosivos o ligeramente corrosivos, vapores, gas natural, gas combustible, condensados, gases inertes, solución de ácidos, solución de amoníaco, agua y aire de proceso. b) Vapor, condensado y agua de alimentación a calderas.	a) Hidrocarburos líquidos no corrosivos o ligeramente corrosivos, vapores, gas natural. b) Agua de alimentación a calderas.	Agua salada para inyección a pozos de petróleo.
LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESTION	Para los fluidos descritos en el inciso a): 31.3 kg/cm ² a 482 °C 101.2 kg/cm ² a 39 °C Para los fluidos descritos en el inciso b): 60.0 kg/cm ² a 400 °C (máximo) 101.2 kg/cm ² a 39 °C	Para los fluidos descritos en el inciso a): 47.0 kg/cm ² a 402 °C Para los fluidos descritos en el inciso b): 96.5 kg/cm ² a 400 °C	Presión: 120.0 kg/cm ² Temperatura: 38.0 °C
MATERIALES	1 1/2" Ø y menores: acero al carbono ASTM-A-53, -- grado B, sin costura, extremos planos. 2" a 16" Ø: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 18" Ø: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, con costura longitudinal, extremos biselados para soldar, para los fluidos descritos en el inciso a).	1 1/2" Ø y menores: acero al carbono ASTM-A-53, -- grado A, sin costura, extremos planos. 2" a 12" Ø: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar.	1 1/2" Ø y menores: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos planos. 2" Ø y mayores: acero al carbono ASTM-A-53, grado B, sin costura, extremos biselados para soldar. 2" a 12" Ø: acero al carbono API-5L-X-42, sin costura, extremos biselados para soldar.
MARCAEN POR CORROSION	0.050*	0.050*	0.0625*
ESPEORES	Para los fluidos descritos en el inciso a): 1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 6" Ø: Cálculo 100 8" a 16" Ø: calcular Para los fluidos descritos en el inciso b): 1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 6" Ø: Cálculo 100 8" a 12" Ø: calcular con un espesor mínimo de Cálculo 30. 14" a 18" Ø: calcular con un espesor mínimo de -- Paso estándar.	Para los fluidos descritos en el inciso a): 1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 6" Ø: Cálculo 100 8" a 12" Ø: calcular Para los fluidos descritos en el inciso b): 1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 1 1/2" Ø y menores, rosca: Cálculo 100 2" a 6" Ø: Cálculo 100 8" a 12" Ø: calcular	Para tubería ASTM-A-53, grado A: 1 1/2" Ø y menores: Cálculo 100 2" a 12" Ø: Cálculo 100 Para tubería API-5L-X-42: 2" Ø, 12" Ø: Cálculo 100 2" Ø: 0.196" 4" Ø: 0.196" 6" Ø: 0.214" 8" Ø: 0.232" Para tubería ASTM-A-53, grado B: 1 1/2" Ø: 0.194" 2" Ø: 0.194" 4" Ø: 0.212" 6" Ø: 0.230" 8" Ø: 0.248" 10" Ø: 0.266" 12" Ø: 0.284" 14" Ø: 0.302" 16" Ø: 0.320" 18" Ø: 0.338"

BIBLIOGRAFIA capítulo uno

- 1.1 Bauman, Thomas C.; Overstreet, Leslie T.
CORROSION AND PIPING MATERIALS IN THE CPI
Chemical Engineering, April 3, 1978.
- 1.2 Evans, Frank L., Jr.
EQUIPMENT DESIGN HANDBOOK FOR REFINERIES AND CHEMICAL PLANTS Vol 2, 2nd Ed.
Gulf Publishing Company
Houston, 1980.
p. 288, 289
- 1.3 Masek, John A.
METALLIC PIPING
Chemical Engineering, June 17, 1968.
- 1.4 Perry, Robert H.; Green, Don W.
PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 6th Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1984.
p. 6-38, 6-40, 6-41
- 1.5 Rase, Howard F.
PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS
John Wiley and sons
New York, 1963.
p. 4, 8
- 1.6 Ward, J. R.
LINED-PIPE SYSTEMS
Chemical Engineering, June 17, 1968.

1.7 Warring, R.H.

HANDBOOK OF VALVES, PIPING AND PIPELINES, 1st Ed.

Gulf Publishing Company

Houston, 1982.

p. 4, 5, 431

1.8 Wright, C.E.

NON METALLIC PIPE

Chemical Engineering, June 17, 1968.

1.9 información técnica obtenida mediante entrevistas.

**CRITERIOS PARA LA DETERMINACION
DEL DIAMETRO DE UNA TUBERIA**

CAPITULO DOS

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE UNA TUBERIA

Aunque la literatura referente al dimensionamiento de tuberías es masiva, los procedimientos que se usan en la práctica diaria se mantienen un poco oscuros.

La mayoría de los diseñadores determinan el diámetro de una tubería mediante reglas de dedo. Es por eso que ésta, es una rama de la Ingeniería Química en la que se muestra más claramente el uso de los criterios heurísticos.

Cuando se diseña una tubería, generalmente se desea determinar el diámetro óptimo, que en ocasiones es el diámetro económico.

La primera aproximación consiste en seleccionar una velocidad de fluido recomendada, económica, permisible, etc., y determinar el diámetro requerido de la tubería para manejar el flujo especificado a la velocidad seleccionada.

Otra alternativa es la caída de presión y el procedimiento es similar.

También pueden utilizarse ecuaciones de diámetro económico que correlacionan costos unitarios de diferentes materiales, aunque muchas veces es necesario establecer también una velocidad de fluido recomendada, y desde luego, se tiene el inconveniente de que no siempre se dispone de información económica actualizada.

En este capítulo se presenta una amplia recopilación de valores recomendados de velocidades, caídas de presión y flujos para dimensionar tuberías.

VELOCIDADES TÍPICAS Y MÁXIMAS PARA FLUIDOS EN TUBERÍAS

Para estimar inicialmente el diámetro de una tubería, puede elegirse una velocidad razonable para un tipo de tubería específica.

A continuación se presentan tres tablas en las que se dan estas velocidades razonables; en la primera, se muestran valores de velocidades prácticos para líneas de líquidos; en la segunda se dan valores para gases y vapores; y en la tercera se dan las velocidades máximas para prevenir la corrosión o erosión para algunas sustancias químicas.^{2.2}

VELOCIDADES TÍPICAS PARA LIQUIDOS EN TUBERIAS DE ACERO

DIAMETRO NOMINAL (in)	2 o menos	3 a 10	10 a 20
SERVICIO	Velocidad Típica (ft./seg)		
Agua			
Succión de bombas	1 a 2	2 a 4	3 a 6
Descarga de bombas (largas)	2 a 3	3 a 5	4 a 7
Descarga de bombas (cortas)	4 a 9	5 a 12	8 a 14
Alimentación a calderas	4 a 9	5 a 12	8 a 14
Drenajes	3 a 4	3 a 5	-
Desagües inclinados	-	3 a 5	4 a 7
Hidrocarburos líquidos (viscosidades normales)			
Succión de bombas	1.5 a 2.5	2 a 4	3 a 6
Descarga (largas)	2.5 a 3.5	3 a 5	4 a 7
Descarga (cortas)	4 a 9	5 a 12	8 a 15
Drenajes	3 a 4	3 a 5	-
Aceites viscosos			
Succión de bombas, viscosidad media	-	1.5 a 3	2.5 a 4
alquitrán y combustibles	-	0.4 a 0.75	0.5 a 1
Descarga (cortas)	-	3 a 5	4 a 6
Drenajes	1	1.5 a 3	-

VELOCIDADES TÍPICAS PARA GASES Y VAPORES

Diámetro Nominal (in)	Saturados baja presión	Sobrecalentados	
	velocidades típicas	presión media	presión alta
	en (ft/seg)		
2 o menos	45 a 100	40 a 80	30 a 60
3 a 4	50 a 110	45 a 90	35 a 70
6	60 a 120	50 a 120	45 a 90
8 a 10	65 a 125	80 a 160	65 a 125
12 a 14	70 a 130	100 a 190	80 a 145
16 a 18	75 a 135	110 a 210	90 a 160
20	80 a 140	120 a 220	100 a 170

Lineas de equipos

Velocidad (ft/seg)

Rehervidor, vertedero (líquido)	3 a 7
Rehervidor, elevador (líquido y vapor)	35 a 45
Condensador superior de torre	25 a 100
Flujo a dos fases	35 a 75
Compresor, succión	75 a 200
Compresor, descarga	100 a 250
Entrada, turbina de vapor	120 a 320
Entrada, turbina de gas	150 a 350
Válvula de relevo, descarga	0.5 Vc *
Válvulas de relevo, punto de entrada	Vc *

* velocidad sónica en ft/seg

VELOCIDADES MAXIMAS PARA PREVENIR EROSION O CORROSION EN TUBERIAS

Velocidad Máxima, ft/seg

=====

Líquidos en tuberías de acero al carbón

Agua fenólica	3
Acido sulfúrico concentrado	4
Agua de torre de enfriamiento	12
Agua salada	6
Salmuera de cloruro de calcio	8
Sosa cáustica (más de 5% vol.)	4
Amina acuosa (mono- o di-etanolamina)	10
Vapor fenólico húmedo	60

Líquidos en tuberías de plástico o forradas de caucho

10

Los datos presentados en las tres tablas anteriores pueden procesarse para obtener ecuaciones, a continuación se presenta una tabla en la que se muestran las ecuaciones para obtener diámetros típicos y mínimos para líquidos y gases en tuberías de acero para diferentes condiciones.

En estas ecuaciones, w es el flujo másico en 1000 lb/h; ρ es la densidad en lb/ft³; D es el diámetro interno en pulgadas; k es el radio de calores específicos; Z es el factor de compresibilidad; y T es la temperatura absoluta en grados Rankine.^{2.1}

ECUACIONES PARA DIAMETROS TIPICOS

LIQUIDOS

$$D = 2.607 \left(\frac{w}{\rho} \right)^{0.434}$$

$$D = 3.522 \left(\frac{w}{\rho} \right)^{0.434} \quad ++$$

GASES

$$D = 1.065 \frac{w^{0.408}}{\rho^{0.343}}$$

$$D = 1.414 \frac{w^{0.408}}{\rho^{0.343}} \quad ++$$

++ Succión, drenaje o ventéo.

ECUACIONES PARA DIAMETRO MINIMO

LIQUIDOS

$$D = 1.030 \frac{w^{1/2}}{\rho^{1/3}} \quad *$$

$$D = 1.457 \frac{w^{1/2}}{\rho^{1/3}} \quad **$$

GASES

$$D = 0.585 \left(\frac{w}{\rho} \right)^{1/2} \left(\frac{m}{kZT} \right)^{1/4} \quad *$$

$$D = 0.827 \left(\frac{w}{\rho} \right)^{1/2} \left(\frac{m}{kZT} \right)^{1/4} \quad **$$

* Fluido limpio.

** Fluido erosivo o corrosivo.

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA FLUIDOS EN TUBERIAS
DE DIFERENTES MATERIALES

Los valores de velocidad que se muestran en la tabla siguiente se recomiendan para hacer un dimensionamiento preliminar de la tubería, sin embargo el tamaño final deberá ser aquel que resulte más adecuado al efectuar un balance económico entre la caída de presión en la línea y la velocidad que se recomienda.^{2,3}

FLUIDO	VELOCIDAD RECOMENDADA		TUBERIA
Acetileno (observa limitaciones por presión)	4000	fpm	acero
Aire (0 a 30 psig)	4000	fpm	acero
Amoniaco: líquido	6	fps	acero
gas	6000	fpm	acero
Benceno	6	fps	acero
Bromo: líquido	4	fps	vidrio
gas	2000	fpm	vidrio
Cloruro de calcio	4	fps	acero
Tetracloruro de carbono	4	fps	acero
Cloro (seco): líquido	5	fps	acero ced 80
gas	2000-5000	fpm	acero ced 80
Cloroformo: líquido	6	fps	cobre, acero
gas	2000	fpm	cobre, acero
Etileno: gas	6000	fpm	acero
Etileno, dibromuro	4	fps	vidrio
Etileno, dicloruro	6	fps	acero
Etilenglicol	6	fps	acero
Hidrógeno	4000	fpm	acero
Acido clorhídrico: líquido	5	fps	forrada de caucho
gas	4000	fpm	forrada de caucho, saran, haveg
Metil cloruro: líquido	6	fps	acero
gas	4000	fpm	acero
Gas natural	6000	fpm	acero

FLUIDO	VELOCIDAD RECOMENDADA		TUBERIA
Aceites lubricantes	6	fps	acero
Oxígeno (temp. ambiente)	1800	fpm max.	acero (300 psig max)
(temp. baja)	4000	fpm	S. S. 304
Propilenglicol	5	fps	acero
Hidróxido de sodio: 0-30%	6	fps	acero, níquel
30-50%	5	fps	acero, níquel
50-73%	4	fps	acero, níquel
Cloruro de sodio acuoso: no sólidos	5	fps	acero
con sólidos	6	fps min.	monel, níquel
	15	fps max.	monel, níquel
	7.5	fps prom.	monel, níquel
Percloroetileno	6	fps	acero
Vapor: 0-30 psi saturado*	4000-6000	fpm	acero
30-150 psi sat. o sobrec.*	6000-10000	fpm	acero
150 psi hasta sobrec.	6500-15000	fpm max.	acero
Dióxido de azufre	4000	fpm	acero
Acido sulfúrico: 88-93%	4	fps	S.S. 316, plomo
93-100%	4	fps	hierro fundido acero cad 80
Estireno	6	fps	acero
Tricloroetileno	6	fps	acero
Cloruro de vinilo	6	fps	acero
Cloruro de vinilideno	6	fps	acero
Agua: servicio promedio	3-8	fps	acero
	6	fps prom.	acero
alimentación a calderas	4-12	fps	acero
succión de bombas	1-5	fps	acero
max. económico (usual)	7-10	fps	acero
agua de mar, agua salobre	5-8	fps	ferrada de caucho, saran
	5-12	fps	transite concreto asfalto
	3	fps min.	

* líneas cortas.

Como se aprecia en la tabla anterior, la velocidad del fluido puede estar relacionada con el material de la tubería, sobretodo cuando se presenta erosión y corrosión a una velocidad determinada.

La mayoría de los metales resistentes a la corrosión, son resistentes porque se forma un recubrimiento superficial pasivo, como un producto inicial de corrosión. Pueden permanecer resistentes a la corrosión mientras esta superficie no se deteriore. Una fuente obvia de deterioro es la erosión causada por la presencia de partículas abrasivas contenidas en el fluido. Otra fuente de corrosión en tuberías que manejan agua, es una velocidad de fluido muy alta, particularmente cuando el agua conlleva aire.

En particular, las tuberías de aleaciones de cobre son susceptibles a esta forma de erosión-corrosión, la magnitud de la cual está relacionada directamente con la velocidad del fluido.

A continuación se presenta una guía general de resistencia a la erosión-corrosión, producida por concepto de la velocidad del fluido, para diferentes materiales metálicos.^{2.8}

RESISTENCIA A LA EROSION-CORROSION PRODUCIDA POR VELOCIDAD DEL FLUIDO

MATERIAL	VELOCIDAD			
	3 ft/seg 1 m/seg	4-7 ft/seg 1-2 m/seg	8-15 ft/seg 2-5 m/seg	más de 15 ft/seg más de 5 m/seg
Cobre	regular	mala	muy mala	muy mala
Latón rojo	buena	mala	muy mala	muy mala
Latón aluminio	excelente	excelente	buena	regular
Bronce fósforo	excelente	excelente	buena	regular
Bronce estaño (más de 5% de estaño)	excelente	excelente	buena	regular
Bronce estaño (menos 5% de estaño)	buena	regular	mala	mala
Bronce sílice	buena	regular	mala	muy mala
Bronce manganeso	buena	buena	buena	buena
Bronce aluminio	buena	buena	buena	buena
cobre/niquel 70/30	excelente	excelente	buena	regular-buena
cobre/niquel 90/10	excelente	excelente	excelente	excelente

VELOCIDADES ECONOMICAS DE "REGLA DE DEDO" PARA DIMENSIONAR
TUBERIAS DE ACERO

A continuación se presentan dos tablas en las que se dan valores de velocidades económicas, ésto es, velocidades que permiten obtener un diseño económicamente aceptable sin realizar un balance económico riguroso. Sin embargo, el usar los valores no garantiza, de ninguna manera, que se obtenga el diseño menos costoso, puesto que se dan rangos.^{2.7}

La primera tabla aplica para fluídos en régimen turbulento y usando accionadores de bombas y compresores de motor eléctrico. Si se usan accionadores de turbina de vapor, los valores deberán multiplicarse por 0.6 para obtener velocidades razonables.

En la segunda tabla se dan valores de velocidades para líquidos viscosos en función de su viscosidad.

TIPO DE FLUIDO	VELOCIDAD RAZONABLE (ft/seg)
Agua o similares	3-10
Vapor de baja presión (25 psig)	50-100
Vapor de alta presión (100 psig o más)	100-200
Aire a presiones ordinarias (25-50 psig)	50-100

DIAMETRO NOMINAL (in)	VELOCIDAD RAZONABLE (ft/seg)		
	50*	100*	1000*
1	1.5-3.0	1.0-2.0	0.3-0.6
2	2.5-3.5	1.5-2.5	0.5-0.8
4	3.5-5.0	2.5-3.5	0.8-1.2
8		4.0-5.0	1.3-1.8

* viscosidad en centipoises

VELOCIDADES PERMISIBLES USUALES PARA SISTEMAS DE DUCTOS Y TUBERIAS

Al igual que en las tablas presentadas anteriormente, los valores que se muestran son sólo una guía primaria, la velocidad final se adecuará a las condiciones del diseño específico que se esté realizando.^{2.3}

SERVICIO/APLICACION	VELOCIDAD (ft/min)
Ductos a tiro forzado	2500-3500
Campanas y ductos para gases de combustión a tiro inducido	2000-3000
Chimeneas	2000
Líneas de agua (max.)	600
Líneas de vapor a alta presión	10000
Líneas de vapor a baja presión	12000-15000
Líneas de vapor al vacío	25000
Líneas de aire comprimido	2000
Líneas de refrigerante vapor alta presión	1000-3000
baja presión	2000-5000
Líneas de refrigerante líquido	200
Líneas de salmuera	400
Ductos de ventilación	1200-3000
Registros de aire	500

VELOCIDADES DE DISEÑO TIPICAS PARA VAPOR

Las velocidades que se muestran en la tabla siguiente son sólo una guía general, la velocidad final y el tamaño de la tubería deberán determinarse de acuerdo a las condiciones específicas del diseño.^{2,3}

En la tabla no están incluidas las líneas de vacío, las cuales generalmente toleran velocidades mayores a las que se muestran.

Para condiciones de alto vacío debe tenerse un cuidado especial en la evaluación de la caída de presión.

FLUIDO	VELOCIDADES (ft/seg)		
	TAMAÑO DE LA TUBERÍA		
	menos de 6"	8 a 12"	mas de 14"
Vapor saturado 0-50 psig	30-115	50-125	60-145
Vapor sobrecalentado			
0-10 psig	50-140	90-190	110-250
11-100 psig	40-115	75-165	95-225
101-900 psig	30-85	60-150	85-165

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA LINEAS DE VAPOR QUE CONECTAN A TURBINAS DE VAPOR

Una turbina de vapor requiere tuberías de entrada y salida. Las tuberías de entrada a turbinas de vapor manejan vapor sobrecalentado. Las de salida pueden manejar vapor saturado o vapor sobrecalentado.

Para estas aplicaciones se muestran valores recomendados de velocidades con los cuales pueden dimensionarse las tuberías de entrada y salida de la turbina, sin embargo el tamaño final deberá adecuarse a la selección de la turbina y haciendo un balance económico.^{2,3}

SERVICIO-VAPOR	RANGO TIPICO (ft/sec)
Entrada a la turbina	100-150
Salida, no saturado	175-200
Salida, saturado	400-500

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA FLUIDOS EN REFINERIAS

En refinerías, las líneas de vapor son relativamente pequeñas y manejan flujos no uniformes, por lo tanto, se utilizan menores velocidades de vapor (tuberías más grandes), que en las plantas de potencia.

Aunque es poco práctico aumentar la velocidad de 800 a 1000 ft/min por cada pulgada de diámetro, para tuberías cortas (menores de 300 ft), pueden usarse valores de 1000 a 1200.

En la tabla que se muestra a continuación, se dan valores de velocidades para líneas de vapor en refinerías en función del diámetro y la longitud de la tubería. Los valores aplican para bombas centrífugas y deberán reducirse en un 35% si se usa equipo recíprocante.^{2.5}

DIAMETRO NOMINAL (in)	líneas muy largas		líneas cortas o regulares	
1½	1500	fpm	1800	fpm
2	1900	fpm	2300	fpm
2½	2200	fpm	2700	fpm
3	2800	fpm	3400	fpm
4	3600	fpm	4400	fpm

Para dimensionar líneas de agua, se considera una caída de presión en la línea de 2.5 ft de cabeza por cada 100 ft de tubería, lo cual significa velocidades de alrededor de 1.5 ft/seg en tubería de 1 in, 4 ft/seg en tubería para cambiadores de calor de 5 in de diámetro y 5 ft/seg en tubería de 14 in de diámetro. En tuberías grandes (4 in de diámetro o más), existe una tendencia a limitar la velocidad a 4 o 5 ft/seg.

En la tabla que se muestra a continuación, se dan valores de flujos recomendados para líneas de petróleo líquido que están basados en caídas de presión de 1 a 4 ft por cada 100 ft de longitud equivalente (0.025 a 0.12 psi por cada 100 ft).^{2.5}

Obviamente, esta tabla no aplica para líneas muy largas como son las tuberías de crudo o de producto, tampoco para líneas de succión ni para líneas principales de proceso.

Viscosidad a la temperatura de bombeo		galones por minuto				
SSU	Centistokes	1½ in	2 in	2½ in	3 in	4 in
30	2	10-30	20-50	40-80	60-140	140-260
50	8	-----	15-40	30-60	50-120	100-240
100	20	-----	5-35	20-55	40-100	80-200
300	65	-----	hasta 25	15-40	35-80	70-180
500	108	-----	-----	10-30	30-70	60-160
1000	216	-----	-----	-----	hasta 4	40-120
1500	324	-----	-----	-----	-----	hasta 80

VELOCIDADES TÍPICAS DE DISEÑO PARA APLICACIONES EN PROCESOS

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan valores de velocidades para fluidos en aplicaciones de proceso.^{2,3}

Aunque los valores son típicos, las condiciones de proceso del sistema a diseñarse pueden hacer que la velocidad final quede fuera de los rangos mostrados en la tabla.

Las limitaciones de aplicación de estos valores son las siguientes:

Para líquidos pesados y viscosos, las velocidades deberán reducirse a $\frac{1}{2}$ de los valores mostrados.

Los fluidos no deberán contener partículas sólidas suspendidas.

SERVICIO	VELOCIDAD (ft/seg)
Líquidos promedio de proceso	4-6.5
Succión de bombas (excepto en ebullición)	1-5
Succión de bombas (en ebullición)	0.5-3
Agua de alimentación de calderas	4-8
Líneas de drenaje	1.5-4
Líquido a rehervidores (sin bomba)	2-7
Mezclas líquido-vapor a la salida de rehervidores	15-30
Vapor a condensadores	15-80
Flujos en separadores por gravedad	0.5-1.5

En la tabla siguiente se muestran valores de velocidad de flúidos en tuberías que son representativos de la práctica común, sin embargo, algunas condiciones especiales pueden establecer velocidades fuera del rango mostrado.^{2,4}

En esta tabla los valores se dan en base al tipo de flúido, así como al tipo de flujo o servicio de que se trate.

Como puede notarse, estos valores no fueron obtenidos a partir de un análisis económico para condiciones promedio, sino como una observación de las velocidades que se tienen en la industria.

FLUIDO	TIPO DE FLUJO	VELOCIDAD (ft/seg)
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5-1.0
	Succión de bombas	1.0-3.0
	Descarga de bombas	4.0-10.0
Líquidos viscosos	Succión de bombas	0.2-0.5
	Descarga de bombas	0.5-2.0
Vapor		30-50
Aire o gas		30-100

VELOCIDADES ECONOMICAS DE FLUIDO EN TUBERIAS

Las velocidades que se muestran en la tabla siguiente pueden usarse para dimensionar tuberías de acero cédula 40 a flujo turbulento.^{2.6}

A partir de ellas se obtiene el diámetro de la tubería correspondiente.

Estas velocidades casi siempre son independientes del diámetro. Una vez calculado el diámetro, debe calcularse el número de Reynolds para asegurarse que el flujo sea turbulento, que es la condición de aplicación de los valores de velocidad económica que se presentan

Los valores se dan en función de las características del fluido, como son la densidad y la viscosidad.

DENSIDAD (lb/ft ³)	VISCOSIDAD (centipoise)	VELOCIDAD ECONOMICA (ft/seg)
100.0	1.0	6.5
62.4	1.0	7.4
50.0	1.0	7.9
1.0	0.02	31.0
0.1	0.02	61.0
0.075	0.02	67.0
0.01	0.02	122.0

VELOCIDADES Y CAIDAS DE PRESION MAXIMAS RECOMENDADAS PARA LINEAS DE GASES Y LINEAS DE VAPOR

En la tabla que se muestra a continuación, se dan valores de velocidades y caídas de presión máximas recomendadas para líneas de gases.^{2.9}

Los valores se presentan en función del servicio de la línea y también en función de la presión de operación.

Estos valores aplican para hacer un dimensionamiento preliminar de tuberías de acero al carbón, y el tamaño final de la misma será aquel que resulte más adecuado después de efectuar un balance económico del sistema.

SERVICIO	Velocidad Recomendada (ft/seg)	Caída de Presión Max. (psi)
Recomendación general:		
presión mayor a 500 psig	-----	2.0
entre 200 y 500 psig	-----	1.5
entre 150 y 200 psig	-----	0.6
entre 50 y 150	-----	0.3
entre 0 y 50 psig	-----	0.15
presión sub-atmosférica	-----	0.1
Líneas de gases dentro del límite de batería	-----	0.5
Tubería de succión de compresores	-----	0.5
Descarga de compresores	-----	1.0
Líneas de succión para refrigerante	15-35	-----
Líneas de descarga para refrigerante	35-60	-----
Tubería superior de torres:		
presión mayor a 50 psia	40-50	0.2-0.5
presión atmosférica	60-100	0.2-0.5
vacío (presión menor a 10 psia)	125-200	0.05-0.1

En la tabla que se muestra a continuación, se dan valores de velocidades y caídas de presión máximas recomendadas para líneas de vapor.^{2.9}

Los valores se presentan en función del servicio de la línea y también en función de la presión de operación.

Estos valores aplican para hacer un dimensionamiento preliminar de tuberías de acero al carbón, y el tamaño final de la misma será aquel que resulte más adecuado después de efectuar un balance económico del sistema.

SERVICIO	Velocidad Recomendada (ft/seg)	Caída de Presión Max. (psi)
Recomendación general:		
Máxima: saturado	200	-----
sobrecalentado	250	-----
Presión del vapor (psig):		
0-50	-----	0.25
50-150	-----	0.50
150-300	-----	1.0
mayor de 300	-----	1.5
Líneas de vapor a alta presión:		
cortas (menos de 600 ft)	-----	1.0
largas (más de 600 ft)	-----	0.5
conexiones cortas	-----	2.5
Líneas de vapor exhausto:		
presión mayor a 1 atm	-----	0.5
conexiones del cabezal	-----	1.5
Líneas de alimentación a máquinas recíprocantes		
	12.5-15.0	-----
Tuberías de proceso y del equipo de la casa de poder (saturado a 25 psia o más)		
	100-170	-----
Conexiones a calderas y turbinas: sobrecalentado a más de 300 psia		
	115-330	3.0

RANGO ECONOMICO PARA LA CAIDA DE PRESION EN TUBERIAS PARA LIQUIDOS

En la tabla siguiente se presentan valores del rango económico para la caída de presión en tuberías que manejan líquidos normales, esto es, líquidos parecidos al agua.^{2.3}

Los valores de dan en psi por cada 100 ft de longitud equivalente y el considerar estos rangos proporciona un diseño económicamente bueno, sin embargo, la aplicación de los valores está limitada por las condiciones específicas del diseño, como pueden ser las características del fluido y los niveles de las variables de operación.

TIPO DE LINEA	CAIDA DE PRESION (psi/100 ft l.e.)
Lineas de Succión de Bombas	0.5 a 1.25
Lineas de Descarga de Bombas	1.0 a 5.00

VELOCIDADES Y CAIDAS DE PRESION RECOMENDADAS PARA TUBERIAS DE SUCCION Y DESCARGA DE BOMBAS

La velocidad de un fluido dentro de una tubería, no es necesariamente un parámetro significativo, excepto cuando gobiernan las pérdidas por fricción.

Para el diseño general de tuberías, normalmente se suponen límites arbitrarios para la velocidad del fluido, por ejemplo, para líneas de agua las velocidades normales de diseño son:^{2.8}

Servicios generales	4 - 10 ft/seg (1.2 - 3 m/seg)
Tomas de agua	hasta 7 ft/seg (hasta 2 m/seg)
Alimentación a calderas	8 - 15 ft/seg (2.5 - 4.5 m/seg)

Normalmente se requiere dar una mayor atención a las velocidades a la succión de las bombas.

En las tablas que se muestran a continuación, se dan recomendaciones específicas para tuberías de succión y descarga de bombas.^{2.8}

Los valores arbitrarios que se presentan están basados en proveer condiciones hidráulicas convenientes en tuberías de succión, y niveles generalmente aceptables de pérdidas por fricción en tuberías de descarga.

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA LINEAS DE SUCCION

DIAMETRO	AGUA	ACEITES LIGEROS	LIQUIDOS SATURADOS	LIQUIDOS VISCOSOS
in (mm)	ft/seg(m/seg)	ft/seg(m/seg)	ft/seg(m/seg)	ft/seg(m/seg)
1 (25)	1.5 (0.5)	1.5 (0.5)	1.0 (0.3)	1.0 (0.3)
2 (50)	1.6 (0.5)	1.5 (0.5)	1.0 (0.3)	1.1 (0.33)
3 (75)	1.7 (0.5)	1.6 (0.5)	1.0 (0.3)	1.2 (0.375)
4 (100)	1.8 (0.55)	1.8 (0.55)	1.0 (0.3)	1.3 (0.4)
6 (150)	2.0 (0.6)	2.0 (0.6)	1.1 (0.35)	1.4 (0.425)
8 (200)	2.5 (0.75)	2.3 (0.7)	1.2 (0.375)	1.5 (0.45)
10 (250)	3.0 (0.9)	3.0 (0.9)	1.5 (0.45)	1.7 (0.5)
12 (300)	4.5 (1.4)	3.0 (0.9)	1.5 (0.45)	1.7 (0.5)
más de 12	5.0 (1.5)			

VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA LINEAS DE DESCARGA

DIAMETRO	AGUA	ACEITES LIGEROS	LIQUIDOS SATURADOS	LIQUIDOS VISCOSOS
in (mm)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)
1 (25)	3.5 (1.00)	3.5 (1.00)	3.5 (1.00)	3.5 (1.00)
2 (50)	3.6 (1.10)	3.6 (1.10)	3.6 (1.10)	3.6 (1.10)
3 (75)	3.8 (1.15)	3.8 (1.15)	3.8 (1.15)	3.7 (1.10)
4 (100)	4.0 (1.25)	4.0 (1.25)	4.0 (1.25)	3.8 (1.15)
6 (150)	4.7 (1.50)	4.7 (1.50)	4.7 (1.50)	3.9 (1.20)
8 (200)	5.5 (1.75)	5.5 (1.75)	5.5 (1.75)	4.0 (1.20)
10 (250)	6.5 (2.00)	6.5 (2.00)	6.5 (2.00)	4.5 (1.30)
12 (300)	8.5 (2.65)	6.5 (2.00)	6.5 (2.00)	4.5 (1.40)
más de 12	10.0 (3.00)			

En sistemas a alta presión, el dimensionamiento es más crítico, y normalmente se determina a partir de valores recomendados de caída de presión, sobretodo cuando se tienen tuberías muy pequeñas o muy grandes.

Para líneas de succión la caída de presión debe ser de 0.05 a 1.0 psi por cada 100 ft de longitud (0.0115 a 0.23 bar por cada 100 m), dependiendo del NPSH disponible.^{2.8}

Para líneas de descarga la caída de presión oscila entre 0.5 y 6 psi por cada 100 ft de longitud (0.115 a 1.4 bar por cada 100 m), dependiendo del flujo:^{2.8}

- 2 - 6 psi/100 ft para flujos de hasta 100 gal/min
(0.46 - 1.4 bar/100 m para flujos de hasta 450 l/min)
- 1.5 - 5 psi/100 ft para flujos de 100 a 200 gal/min
(0.33 - 1.15 bar/100 m para flujos de 450 a 900 l/min)
- 1 - 4 psi/100 ft para flujos de 200 a 500 gal/min
(0.23 - 0.92 bar/100 m para flujos de 900 a 2250 l/min)
- 0.5 - 2 psi/100 ft para flujos de más de 500 gal/min
(0.115 - 0.46 bar/100 m para flujos de más de 2250 l/min)

El tamaño de las líneas de descarga, a veces se basa en una velocidad económica que relaciona la densidad relativa del fluido y el tipo de accionador. Esta velocidad es más realista, puesto que la potencia requerida, y por ende el costo de bombeo, es directamente proporcional a la densidad relativa del fluido, y la velocidad económica varía inversamente con respecto a la rapidez de la bomba.

En la tabla que se muestra a continuación se dan los valores de velocidades recomendadas, en base a la densidad relativa del fluido.^{2.8}

VELOCIDADES RECOMENDADAS EN BASE A LA DENSIDAD RELATIVA DEL FLUIDO

DIAMETRO	BOMBAS ACCIONADAS POR MOTOR			BOMBAS ACCIONADAS POR TURBINA		
	SG = 1.00	SG = 0.75	SG = 0.50	SG = 1.0	SG = 0.75	SG = 0.50
in (mm)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)	ft/seg (m/seg)
2 (50)	6.00 (1.80)	7.00 (2.10)	7.50 (2.30)	5.00 (1.50)	5.50 (1.70)	6.00 (1.80)
3 (75)	7.00 (2.10)	8.00 (2.40)	8.50 (2.60)	5.50 (1.70)	6.00 (1.80)	6.50 (2.00)
4 (100)	8.00 (2.40)	9.00 (2.75)	10.00 (3.00)	6.00 (1.80)	6.50 (2.00)	7.00 (2.15)
6 (150)	9.00 (2.75)	10.00 (3.00)	12.00 (3.65)	6.50 (2.00)	7.00 (2.15)	8.00 (2.40)
8 (200)	10.00 (3.00)	11.25 (3.40)	13.00 (4.00)	6.75 (2.10)	7.50 (2.30)	8.50 (2.60)
10 (250)	11.00 (3.25)	12.00 (3.65)	14.00 (4.20)	7.00 (2.15)	7.75 (2.35)	9.00 ¹ (2.75)
12 (300)	11.50 (3.50)	12.50 (3.80)	14.50 (4.40)	7.00 (2.15)	8.00 (2.40)	9.25 (2.80)
14 (350)	11.75 (3.60)	13.00 (4.00)	15.00 (4.50)	7.00 (2.15)	8.00 (2.40)	9.50 (2.90)
16 o más (400 o más)	12.00 (3.65)	13.00 (4.00)	15.00 (4.60)	7.00 (2.15)	8.00 (2.40)	9.50 (2.90)

CAIDA DE PRESION PERMISIBLE PARA DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE TUBERIAS

Para hacer un dimensionamiento preliminar de una tubería, pueden usarse valores recomendados de caída de presión por cada 100 pies de longitud.

Para el caso de flujo turbulento, pueden hacerse ciertas consideraciones para obtener una relación que permita encontrar rápidamente, un tamaño de tubería, en base a la caída de presión disponible por cada 100 pies de longitud:^{2.1}

$$D = 1.706 \left(\frac{\mu^{0.16} W^{1.84}}{\rho (\Delta P / 100)} \right)^{0.207}$$

en donde: D = diámetro interno de la tubería (in)

μ = viscosidad del fluido (cp)

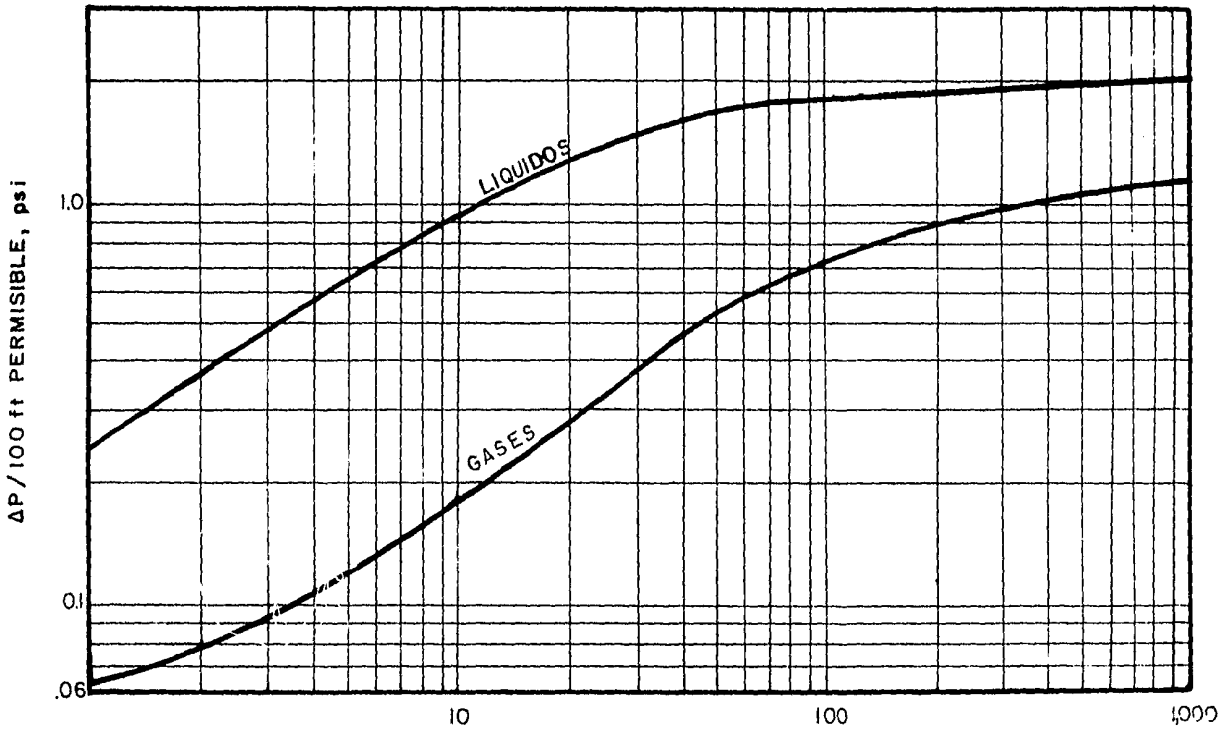
W = flujo másico (1000 lb/h)

ρ = densidad del fluido (lb/ft³)

$\Delta P, 100$ = caída de presión permisible por cada 100 ft de tubería (psi)

Es importante hacer notar que la ecuación anterior sirve solamente para régimen turbulento.

A continuación, se presenta una gráfica en la que se dan valores de caída de presión permisible por cada 100 pies de longitud, en función de la presión del sistema, para gases, y del radio de la presión del sistema a la presión de vapor, para líquidos.^{2.1}



PARA GASES: PRESION DEL SISTEMA (P), psia
 PARA LIQUIDOS: PRESION DEL SISTEMA/PRESION DE VAPOR, (P/P_v)

$$\text{PARA } P > 1000, \frac{\Delta P}{100} = 0.49 P^{0.12}$$

$$\text{PARA } \frac{P}{P_v} > 1000, \frac{\Delta P}{100} = 1.5 \left(\frac{P}{P_v} \right)^{0.042}$$

CAIDA DE PRESION PERMISIBLE PARA LIQUIDOS Y GASES.

BIBLIOGRAFIA capítulo dos

- 2.1 Kent, George R.
PRELIMINARY PIPELINE SIZING
Chemical Engineering, September 25, 1978.
- 2.2 Kern, Robert
USEFUL PROPERTIES OF FLUIDS FOR PIPING DESIGN
Chemical Engineering, December 23, 1974.
- 2.3 Ludwig, Ernest E.
APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS Vol 1. 2nd Ed.
Gulf Publishing Company
Houston, 1977.
p. 48, 54, 55
- 2.4 McCabe, Warren L.; Smith, Julian C.
UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, 2nd Ed.
McGraw-Hill Book Company, Kogakusha Company Ltd.
Tokyo, 1967.
p. 186
- 2.5 Nelson, Wilbur L.
PETROLEUM REFINERY ENGINEERING, 4th Ed.
McGraw-Hill Kogakusha Company Ltd.
Tokyo, 1958.
p. 409, 410

- 2.6 Perry, Robert H.; Chilton, Cecil H.
CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 5th Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1973.
p. 5-32
- 2.7 Peters, Max S.; Timmerhaus, Klaus D.
PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS, 3th Ed.
McGraw-Hill Book Co., Kogakusha Co. Ltd.
Tokyo, 1980.
p. 526
- 2.8 Warring, R.H.
HANDBOOK OF VALVES, PIPING AND PIPELINES, 1st Ed.
Gulf Publishing Company
Houston, 1982.
p. 120, 121, 122, 123, 425
- 2.9 Información técnica obtenida mediante entrevistas.

**CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE
LA CAIDA DE PRESION EN UNA TUBERIA**

CAPITULO TRES

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION EN UNA TUBERIA

La caída de presión en tuberías que manejan líquidos, gases, vapores, suspensiones, flúidos pastosos y muchos otros sistemas de flúidos, ha sido estudiada intensamente, lo que permite determinarla adecuadamente para flúidos Newtonianos. Para flúidos no Newtonianos, también existe una gran cantidad de información, sin embargo, debido a sus propiedades físicas y reológicas, la aplicación de las diferentes correlaciones desarrolladas, no es tan simple.

En este capítulo se consideran los flúidos Newtonianos, excepto cuando se indique lo contrario.

La caída de presión total en un sistema de tuberías, es la suma de las fricciones producidas por la tubería, las válvulas y los accesorios, más la caída a través de válvulas de control, más la caída a través de los equipos que haya en el sistema, más la caída estática debida a la elevación o al nivel de presión.

Estas pérdidas totales de presión no se requieren necesariamente para determinar la pérdida friccional del sistema. Se requieren cuando desea establecerse flujo por gravedad o cuando se determinan los requerimientos de cabeza de succión de bombeo de un sistema completo.

La literatura en cuanto a métodos de determinación de la caída de presión en una tubería es muy extensa; sin embargo, generalmente no se da énfasis a los criterios en los que se basan los métodos, ni tampoco a los criterios de selección de una metodología determinada. Es necesario familiarizarse con los principios de cada método, para seleccionar el adecuado para cada problema específico.

En este capítulo no se intenta presentar los métodos de cálculo, lo cual es el objeto de muchos otros escritos sobre Flujo de Fluidos, sino los criterios heurísticos que pueden aplicarse para utilizar un método, cualquiera que sea este; criterios aplicados a principios básicos como el factor de seguridad, la resistencia por fricción de accesorios y válvulas, y la aplicabilidad de ecuaciones empíricas para la determinación de la caída de presión en tuberías.

FACTORES DE SEGURIDAD APLICADOS AL CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN UNA TUBERIA

Cuando se determina la caída de presión en una tubería, es importante considerar ciertos factores de seguridad, que pueden aplicarse por diferentes razones:

- Factores de seguridad para el manejo de fluidos muy corrosivos o a muy altas temperaturas.
- Factores de seguridad para considerar las diferencias en la calidad o especificación de los materiales de construcción o de los fluidos manejados. Si no se conocen las características exactas de incrustación de los fluidos, pueden tomarse factores más o menos amplios, dependiendo de la información disponible.
- Factores de seguridad para prever incrementos en la capacidad del sistema.
- Factores de seguridad por la incertidumbre de los cálculos. Esto depende de la imprecisión de las fórmulas. Muy frecuentemente deben estimarse algunas propiedades de los fluidos y además ninguna fórmula es exacta, todas tienen un margen de incertidumbre que debe considerarse como un factor de seguridad.

Factores de Seguridad Aplicados al Factor de Fricción

El factor de fricción a usarse para determinar la caída de presión en una tubería, puede ser afectado por factores de seguridad, para considerar diferentes condiciones.

Si se espera una vida de servicio de 5 a 10 años, el factor de fricción debe incrementarse de un 20 a un 30%, para absorber los cambios en las condiciones de rugosidad, para tuberías de acero.

Si se prevén posibles incrementos en la caída de presión ocasionados por incrementos en el flujo, debe aumentarse el factor de fricción en un 10 al 20 %.

El factor de fricción en tuberías largas de acero que manejan gases húmedos (saturados con vapor de agua), tales como hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y similares, debe considerarse cuidadosamente; a menudo, debe incrementarse en un factor de 1.2 a 2.0, para tomar en cuenta la corrosión de los fluidos.

Comparación de la Fricción Producida por Diferentes Materiales

Cuando no se dispone de información sobre la rugosidad de diferentes materiales, es importante considerar las siguientes comparaciones:

Se considera que las pérdidas por fricción en tuberías forradas de caucho, son usualmente equivalentes a las de una tubería de acero nueva de $\frac{1}{2}$ a 1 diámetro nominal menor, y generalmente la rugosidad no tiene variación con el tiempo, a menos que puedan interpolarse algunas condiciones conocidas.

En el rango de flujo turbulento, las pérdidas por fricción en tuberías de vidrio son del orden del 70% al 85% de las de una tubería de acero limpia del mismo diámetro.

En tuberías de vinil, saran o caucho duro, de 2 pulgadas de diámetro nominal o mayores, las pérdidas por fricción no exceden a las de una tubería de acero limpia.

En tuberías forradas de saran y caucho, las pérdidas son casi iguales a las de una tubería de acero limpia, en diámetros de $2\frac{1}{2}$ pulgadas, y en tuberías de 1 pulgada se incrementan de 2 a 4 veces.

CRITERIOS PARA DETERMINAR LA FRICCIÓN EN VALVULAS Y ACCESORIOS

La fricción causada por válvulas y accesorios puede representarse usando dos conceptos, el coeficiente de resistencia "K" y la longitud equivalente "L/D". Ambos conceptos están relacionados entre sí mediante el factor de fricción y existen numerosas referencias bibliográficas para obtener valores de K y L/D, que han sido determinados experimentalmente.

Cuando se intenta que los valores reportados en diferentes fuentes coincidan, el resultado nunca es positivo. Los valores difieren siempre, y como los cálculos para los que se usarán no pueden ser más precisos que la información básica, deben utilizarse valores redondeados a no más de una cifra decimal al hacer los cálculos de caída de presión.

Si se requiere de una mayor precisión, debe seleccionarse una sola fuente de información de valores, y esta fuente debe cubrir absolutamente todos los requerimientos de información, esto es, debe tener valores de todos y cada uno de los accesorios y válvulas del sistema en consideración.

Por otro lado, es importante definir la aplicabilidad de uno y otro conceptos, K y L/D; debe evitarse el uso del concepto de longitud equivalente para flujo turbulento en accesorios de diámetro grande y para accesorios de cualquier diámetro cuando se presente flujo laminar. Los coeficientes de resistencia son más confiables que los de longitud equivalente, ya que para calcular estos últimos, se requerirá suponer un factor de fricción constante, aun sabiendo que el factor varía con el flujo. Los valores de K, además, permanecen relativamente constantes a números de Reynolds mayores a 1000.

Generalmente, los valores reportados de K para válvulas y accesorios, están referidos a flujo turbulento; si se presenta flujo laminar, la fricción aumenta. A continuación se presenta una tabla en la que se dan valores de K que deben sumarse a los valores para flujo turbulento, para algunas válvulas y accesorios, en función del número de Reynolds.^{3.7}

**PERDIDAS FRICCIONALES ADICIONALES PARA FLUJO LAMINAR
EN VALVULAS Y ACCESORIOS**

Accesorio	K adicional			
	Re = 1000	Re = 500	Re = 100	Re = 50
Codo de 90° de radio corto	0.9	1.0	7.5	16.0
Válvula de compuerta	1.2	1.7	9.9	24.0
Válvula de globo	11.0	12.0	20.0	30.0
Válvula de macho	12.0	14.0	19.0	27.0
Válvula de ángulo	8.0	8.5	11.0	19.0
Válvula de retención de columpio	4.0	4.5	17.0	55.0

Usualmente las válvulas y accesorios bridados exhiben coeficientes de resistencia menores a las válvulas y accesorios roscados.

Para la mayoría de las válvulas y accesorios, el coeficiente de resistencia es inversamente proporcional al diámetro.

Los coeficientes de resistencia para codos de tubería estándar, pueden aplicarse también para codos bridados y codos tipo drenaje de hierro fundido.

CRITERIOS DE SELECCION DE METODOS DE CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN TUBERIAS QUE MANEJAN FLUIDOS COMPRESIBLES

Para el cálculo de la caída de presión en líneas de gases y vapores, la ecuación de Darcy, desarrollada para fluidos incompresibles, es una buena herramienta, aunque tiene varias limitaciones.

La caída de presión total debe ser menor o igual al 40% de la presión a la entrada, ya que las variaciones en densidad y aceleración, pueden despreciarse hasta este límite. Debe considerarse la densidad promedio en la tubería.

Cuando se tienen tuberías muy largas, en las que la caída de presión exceda este porcentaje, puede dividirse la tubería en tramos, de manera que cada uno tenga una caída de presión menor o igual al 40% de la presión a la entrada y considerando la densidad promedio. Desde luego, las densidades deben ser diferentes en cada tramo.

Si la caída de presión es menor o igual al 10% de la presión de salida de la tubería, no necesita calcularse la densidad promedio; puede usarse la densidad a la entrada o a la salida.

En el caso específico de flujo de vapor de agua, la ecuación de Darcy aplica para las condiciones citadas anteriormente. Si la caída de presión excede el 40% de la presión a la entrada, se recomienda usar la fórmula de Babcock para vapor, que es una ecuación empírica con resultados confiables a presiones de hasta 500 psia. Sin embargo, para líneas menores a 4 pulgadas de diámetro, los resultados pueden estar por arriba de la realidad en hasta un 40%.

Cuando se maneja gas natural, se recomienda utilizar la ecuación empírica de Weymouth, que da buenos resultados para líneas de 6 pulgadas de diámetro.

tro y mayores, que operan a régimen permanente a presiones de 30 a 600 psig. Algunas personas recomiendan la fórmula para líneas de 4 a 24 pulgadas, con densidades relativas cercanas a 0.6 y velocidades de 15 a 30 pies por segundo, a 60° F.

Otra opción para gas natural es la fórmula de Panhandle, aplicable a números de Reynolds de 5 a 14 millones, en tuberías de 6 a 24 pulgadas de diámetro. Además, el gas debe tener una densidad relativa de 0.6 y manejarse a 60°F. Esta ecuación implementa un factor de eficiencia de flujo que oscila entre 0.85 y 1.0.

Para gases a baja presión, menos de 1 psig, puede usarse la fórmula de Spitzglass si la temperatura es de 60°F.

CRITERIOS APLICADOS A LA DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION PARA FLUJO A DOS FASES

Cuando se presenta flujo a dos fases, líquido-vapor, la determinación de la caída de presión en una tubería se complica considerablemente. Si el contenido de vapor es menor de 7 u 8% en peso, la caída de presión puede calcularse para flujo líquido, sin considerar el contenido de vapor. Cuando se exceden estos porcentajes, el análisis deberá hacerse para flujo a dos fases.

Existen diferentes patrones de flujo definidos para flujo líquido-vapor en tuberías horizontales, de los cuales los menos recomendables son el flujo tapón y el flujo slug, que ocasionan fluctuaciones de la presión en la tubería, produciendo condiciones de operación indeseables y lecturas inconvenientes de los instrumentos.

Para evitar estos patrones de flujo en una tubería, pueden considerarse los siguientes arreglos:

- Reducir el tamaño de la tubería al mínimo permitido por la caída de presión disponible.
- Diseñar un sistema de tuberías en paralelo que incremente la capacidad sin aumentar la caída de presión.
- Utilizar tramos de tubería auxiliar con válvulas para regular las perturbaciones en el flujo y evitar estos patrones.
- Usar un desvío o drenaje en la parte inferior de la tubería.
- Arreglar la tubería de manera especial, por ejemplo, evitando las bolsas en las que puede colectarse líquido, produciéndose este tipo de patrones.

Cuando se tienen tuberías con flujo a dos fases que posteriormente desean separarse, se recomienda evitar el patrón de flujo disperso, ya que si la corriente llega a una torre separadora con esta condición, la separación resulta prácticamente imposible. Es muy difícil alcanzar la velocidad que se requeriría para este efecto, de hecho, una vez que una tubería presenta flujo disperso, es imposible que regrese a otro tipo de flujo. Por lo tanto, es importante que la tubería sea dimensionada de tal manera que no se caiga nunca en flujo disperso.

Aun cuando las condiciones de existencia de un patrón de flujo determinado cambien, el patrón se conserva a lo largo de 200 a 300 diámetros de tubería a partir del punto en que se formó.

CRITERIOS DE SELECCION DE METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION EN FLUJO A DOS FASES

Los errores en el dimensionamiento de líneas con flujo a dos fases pueden ocasionar problemas severos de operación y rediseños muy costosos. Sin embargo, el hacer un diseño adecuado de estos sistemas representa grandes dificultades, a pesar de la gran cantidad de información bibliográfica disponible.

Existen más de 70 correlaciones publicadas para el cálculo de la caída de presión en flujo a dos fases, pero la mayoría carecen de generalidad. Cada correlación reproduce bien los datos usados en su desarrollo, pero no aplica más que para ciertas condiciones.

Para poder extrapolar los resultados obtenidos de una correlación determinada, es necesario respetar la similitud geométrica, cinemática, dinámica y en algunos casos, térmica y química.

En general, la caída de presión recibe contribuciones de tres efectos: fricción, aceleración y elevación. Para líneas horizontales, la elevación obviamente no contribuye.

TUBERIAS HORIZONTALES

Las correlaciones más usadas para flujo a dos fases en tuberías horizontales, son las de Martinelli, Dukler y Eaton. Mientras que las correlaciones de Martinelli y Eaton son puramente empíricas, los métodos de Dukler son más sofisticados, caracterizados como semi-teóricos, con constantes evaluadas empíricamente.

El método de Martinelli considera solamente la fricción, mientras que los métodos de Dukler y Eaton consideran además la aceleración.

Correlación de Martinelli.

De todas las ecuaciones puramente empíricas, la de Lockhart-Martinelli es la más simple; considera la relación de las caídas de presión de las fases individuales como si estuvieran solas en la tubería. Debido a su simplicidad y a su precisión aceptable, es la más utilizada en la práctica.

Métodos de Dukler.

Los métodos de Dukler, caso I y caso II, dan resultados más confiables que la correlación de Martinelli.

El caso I es más adecuado que la ecuación de Martinelli, supone que no hay deslizamiento entre las fases y no requiere considerar un patrón de flujo determinado; sin embargo, cabe aclarar, que reporta resultados siempre menores a los valores reales, lo que le resta confiabilidad.

El caso II considera un deslizamiento constante y es el mejor de todos los métodos existentes, aunque requiere de cálculos más elaborados.

Correlación de Eaton.

La correlación de Eaton es válida para líneas de 2 a 17 pulgadas de diámetro y no aplica cuando se tiene patrón de flujo burbuja, sino cuando la cantidad de vapor en la línea es mucho mayor a la de líquido.

TUBERIAS VERTICALES

Existen varias correlaciones para el flujo a dos fases en tuberías verticales, debido principalmente a su gran aplicación en la extracción del petróleo, entre las cuales pueden mencionarse la de Hagedorn-Brown y la de Orkiszewski.

La correlación de Hagedorn-Brown es aplicable a tuberías de 1 a 2 pulgadas de diámetro y no depende del patrón de flujo.

La correlación de Orkiszewski es la mejor correlación que existe para flujo vertical hacia arriba, en tuberías de diámetro pequeño, de 3 a 8 pulgadas. Su precisión es dos veces mayor que la de la mejor correlación para flujo horizontal.

TUBERIAS INCLINADAS

Lamentablemente para flujo inclinado, no existen muchas correlaciones entre las cuales comparar. Las únicas dos son las de Flanigan y la de Bonnacaze.

La correlación de Flanigan es aplicable a rangos pequeños de inclinación alrededor de los 90° en flujo hacia arriba casi vertical.

La correlación de Bonnacaze sirve para ángulos de $\pm 10^\circ$ en flujo casi horizontal.

Los métodos más recomendables para el cálculo de la caída de presión en tuberías con flujo a dos fases son:^{3.2}

Método	Sistema	Precisión
Dukler, caso II	Líneas horizontales	± 15 a 20%
Orkiszewski	Líneas verticales	$\pm 10\%$
Flanigan	Líneas inclinadas casi verticales	
Bonnacaze	Líneas inclinadas casi horizontales	

BIBLIOGRAFIA capítulo tres

- 3.1** Crane Co.
FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS AND PIPE
Technical Paper No. 410 / 410M
The Crane Company
Chicago, 1985/1982.
p. 1-7, 1-8, 1-9, 3-3
- 3.2** DeGance, Anthony E.; Atherton, Robert W.
CHEMICAL ENGINEERING ASPECTS OF TWO PHASE FLOW
Part 1: Chemical Engineering, March 23, 1970.
Part 2: Chemical Engineering, April 20, 1970.
Part 4: Chemical Engineering, June 13, 1970.
Part 6: Chemical Engineering, October 5, 1970.
Part 7: Chemical Engineering, November 2, 1970.
- 3.3** Hydraulic Institute
ENGINEERING DATA BOOK, 1st Ed.
Hydraulic Institute
Cleveland, 1979.
p. 23, 24
- 3.4** Kern, Robert
HOW TO COMPUTE PIPE SIZE
Chemical Engineering, January 6, 1975.

- 3.5** Kern, Robert
PIPING DESIGN FOR TWO-PHASE FLOW
Chemical Engineering, June 23, 1975.
- 3.6** Ludwig, Ernest E.
APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS Vol 1, 2nd Ed.
Gulf Publishing Company
Houston, 1977.
p. 46, 47, 48, 51, 52, 63, 64, 73, 75, 76, 81
- 3.7** Perry, Robert H.; Green, Don W.
PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 6th Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1984.
p. 5-39, 5-40, 5-41, 5-42, 5-43
- 3.8** Rase, Howard F.
PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS
John Wiley and sons, Inc.
New York, 1963.
p. 122
- 3.9** Simpson, Larry L.; Weirick, Martin L.
DESIGNING PLANT PIPING
Chemical Engineering, April 3, 1978.
- 3.10** Información técnica obtenida mediante entrevistas.

**CRITERIOS DE SELECCION DE
VALVULAS Y MEDIDORES DE
FLUJO**

CAPITULO CUATRO

CRITERIOS DE SELECCION DE VALVULAS Y MEDIDORES DE FLUJO

Las válvulas y los medidores de flujo son casi imprescindibles en un sistema de tubería. De hecho, en todo proceso se requiere controlar y medir el flujo de los flúidos.

La selección adecuada de estos aditamentos puede determinar el buen o mal funcionamiento de todo el proceso. Esta selección es extremadamente importante en la economía del proceso, puesto que las válvulas representan del 20 al 30% del costo de tuberías de una planta.

Las válvulas tienen como función principal el obstruir el paso de un flúido a través de una tubería; pueden requerirse para cierre total o para estrangulamiento.

Existen válvulas consideradas como instrumentos, conocidas como válvulas de control, que como su nombre lo indica, tienen la función de regular el flujo a través de una tubería y de esta manera controlar un proceso determinado. Estas válvulas funcionan mediante una señal de algún otro instrumento que mida alguna variable de operación del proceso, como puede ser el flujo, la temperatura, la presión o el nivel en un recipiente.

Los medidores de flujo son instrumentos prioritarios en todo proceso, que logran, mediante la medición de alguna propiedad del fluido, determinar indirectamente el flujo en una tubería. Su principal función es llevar un registro del comportamiento del proceso y enviar señales por medio de un transmisor a las válvulas de control con el objeto de controlar el proceso.

Desde luego, existe una inmensa variedad de válvulas, válvulas de control y medidores de flujo, entre los cuales debe seleccionarse el mejor tipo para cumplir con los requerimientos de servicio y con las condiciones de operación del proceso en cuestión.

La selección de válvulas y medidores de flujo tiene un carácter heurístico, ya que es en base a la experiencia como han podido obtenerse criterios que permiten a los ingenieros y diseñadores seleccionar adecuadamente.

En este capítulo se presentan tablas y criterios que el Ingeniero Químico debe utilizar cuando desea seleccionar válvulas, válvulas de control y medidores de flujo.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR VALVULAS

Una buena aproximación para seleccionar una válvula, es establecer , primeramente, la función que tendrá la misma. De acuerdo con lo anterior, las válvulas pueden clasificarse de la siguiente manera:

Válvulas para usarse totalmente abiertas o cerradas

- Válvulas de Compuerta
- Válvulas de Macho
- Válvulas de Bola

Válvulas de estrangulamiento

- Válvulas de Globo
- Válvulas de Mariposa
- Válvulas de Diafragma

Válvulas para prevenir el retroceso del flujo

- Válvulas de Retención

Válvulas diversas

- Válvulas de Control
- Válvulas Solenoides

Esta clasificación no considera los diseños especiales que existen para funciones diferentes a las que se indican.

A continuación se enlistan los tipos de válvulas antes mencionados, exceptuando las válvulas de control y las válvulas solenoides, que generalmente se consideran como parte de la instrumentación.

Válvulas de Compuerta.

Las válvulas de compuerta son las más ampliamente usadas en la industria para procesos en los que se requieren válvulas totalmente abiertas o cerradas. Las válvulas de compuerta no proveen por sí mismas, un control preciso del flujo, ya que al estar cerca de la posición de cierre total, se presenta un porcentaje desproporcionado de cambio en el flujo; asimismo, no deben utilizarse como válvulas de estrangulamiento, porque la compuerta y el asiento tienden a erosionarse rápidamente si no se encuentran en la posición de cierre o abertura total, lo que provoca que se pierda el cierre hermético. Cuando se encuentran totalmente abiertas, las válvulas de compuerta permiten el paso del fluido a través de un diámetro igual al de la tubería asociada. Estas válvulas generalmente producen una caída de presión menor que la producida por cualquier otro tipo de válvula.

Válvulas de Macho.

Estas válvulas son las más antiguas que existen y se recomiendan para funcionar totalmente abiertas o cerradas; sin embargo, algunas compañías las han utilizado para estrangulamiento con resultados aceptables.

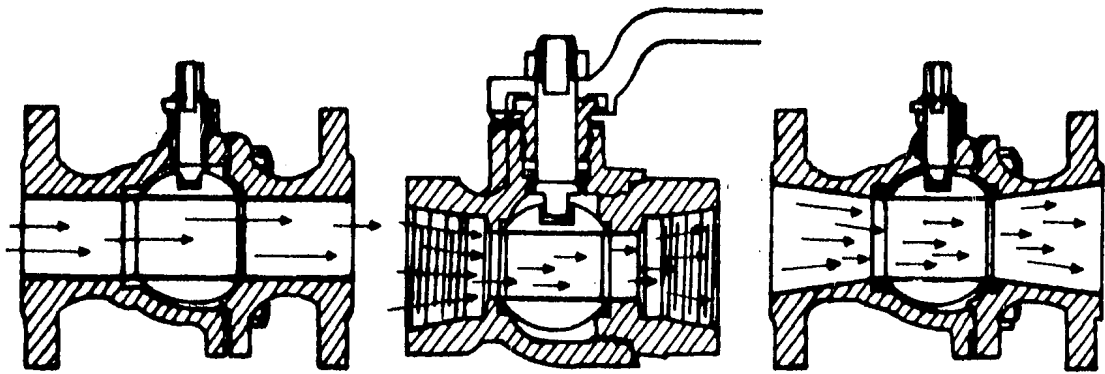
Una característica importante de las válvulas de macho es que pueden adaptarse fácilmente a diseños con puertos múltiples. Las válvulas de tres o cuatro ramales se utilizan ampliamente en la industria de proceso.

La caída de presión de las válvulas de macho depende del área de paso disponible. Existen diseños con área total o con área reducida, en los primeros, la caída de presión es comparable a la de las válvulas de compuerta totalmente abiertas.

Válvulas de Bola.

Las válvulas de bola son, básicamente, una adaptación de las válvulas de macho. En lugar de contar con un tapón, estas válvulas están provistas de una bola que tiene un orificio a lo largo del eje que une las boquillas de entrada y salida del cuerpo.

Las válvulas de bola se presentan en forma de venturi, de puerto reducido y de puerto completo, como se muestra en la figura siguiente.^{4.9}



PUERTO COMPLETO

PUERTO REDUCIDO

VENTURI

VALVULAS DE BOLA

La caída de presión en las válvulas de bola, es función de la forma del cuerpo seleccionado; en la forma de puerto completo, la caída de presión es muy similar a la que produce una válvula de compuerta del mismo tamaño.

Al igual que las válvulas de macho, las válvulas de bola pueden obtenerse en puertos múltiples.

Válvulas de Globo.

Las válvulas de globo se usan normalmente para estrangulamiento, y el diseño de las mismas usualmente involucra un patrón de flujo tortuoso, con un cambio de 90° en la dirección del flujo.

En este tipo de válvulas, la caída de presión es elevada, por lo que muchos fabricantes ofrecen válvulas en "Y" y en ángulo.

Válvulas de Mariposa.

El principio de diseño de las válvulas de mariposa es el mismo que el de un diafragma. El disco o elemento de control de flujo, tiene aproximadamente el mismo diámetro que la tubería de conexión.

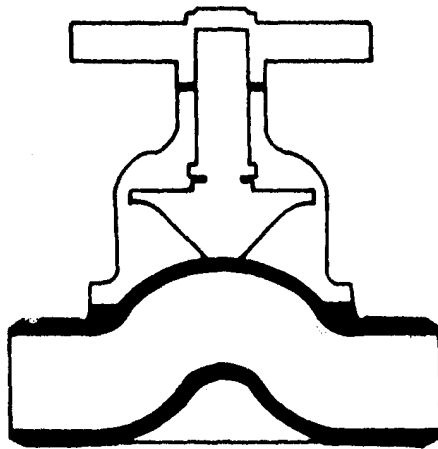
Estas válvulas pueden funcionar adecuadamente tanto para estrangulamiento, como para cierre o abertura total, y producen una caída de presión baja.

Las válvulas de mariposa se recomiendan especialmente para manejar grandes flujos de gases o líquidos a presiones relativamente bajas. Son una buena selección para fluidos pastosos o líquidos con una gran cantidad de materia sólida suspendida, ya que no producen sedimentaciones.

Válvulas de Diafragma.

Existen numerosos diseños disponibles de cuerpos de válvulas de diafragma, que caen dentro de dos tipos generales: Tipo Saunders y Tipo Lineal. La válvula tipo Saunders [figura], es la más ampliamente usada, debido a que ofrece cierre hermético y corrida corta que permite el uso de materiales de diafragma más duros, menos flexibles, como el teflón. La válvula tipo lineal está limitada, debido a que existen muy pocos elastómeros disponibles que sean lo suficientemente flexibles para tolerar la corrida larga que se necesita. La válvula de diafragma no requiere empaque del vástago, porque el diafragma aísla a los mecanismos de operación, del fluido a manejar.

La válvula de diafragma tipo Saunders, presenta una caída de presión equivalente a la de la válvula de globo; se utiliza principalmente para estrangulamiento.^{4.9}



VALVULA DE DIAFRAGMA TIPO SAUNDERS

Las válvulas de diafragma son recomendables para medios viscosos, pastosos o corrosivos. Muchas soluciones o líquidos pastosos que pueden obstruir, corroer o pegar las partes móviles de otras válvulas, pueden pasar a través de las válvulas de diafragma sin problemas. En aplicaciones extremadamente corrosivas, los cuerpos de estas válvulas se recubren con elastómeros, plásticos o vidrio. En plantas de potencia nuclear, los cuerpos de acero inoxidable se usan ampliamente.

Válvulas de Retención.

Como su nombre lo indica, las válvulas de retención retienen o previenen el retroceso del flujo en un sistema de tubería. Operan automáticamente manteniéndose abiertas por el flujo del fluido. Se cierran por el peso de la compuerta o cuando existe una contra-presión a la dirección normal del flujo.

Las válvulas de retención de columpio convencionales contienen una compuerta suspendida de la parte superior del cuerpo, y producen una caída de presión relativamente baja.

Las válvulas de retención de disco basculante producen una caída de presión baja debido a su diseño de paso recto. En comparación con la válvula de retención de columpio convencional, la válvula de retención de disco basculante causa una menor caída de presión a velocidades bajas y una caída de presión mayor a velocidades altas.

Las válvulas de retención deben instalarse en líneas horizontales o verticales ascendentes, pero nunca en líneas verticales descendentes.

Las válvulas de cierre y retención se producen con cuerpos en ángulo o en globo, y se usan, más que nada, para líneas de vapor provenientes de calderas.

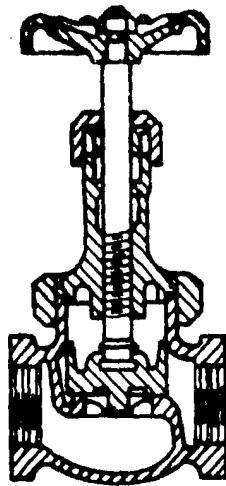
Las válvulas de pie son válvulas de retención especiales usadas en la parte inferior de la línea de succión de una bomba horizontal.

GUIA DE SELECCION DE VALVULAS

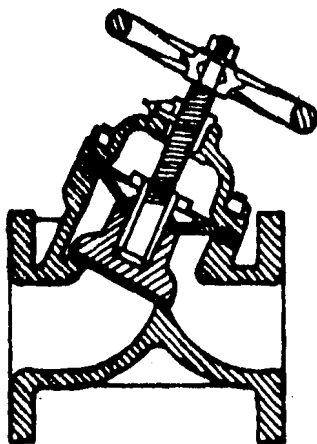
El primer paso en la selección de válvulas es entender las posibilidades de cada uno de los diferentes tipos.

A continuación se presenta una serie de figuras en las que se muestran los principales tipos de válvulas que se usan en la industria; posteriormente se presenta una guía de selección de válvulas en la que se dan los rangos de tamaño, los límites de temperatura y presión permisibles, los materiales de construcción, y los servicios para los que son más adecuados los diferentes tipos de válvulas.^{4.1}

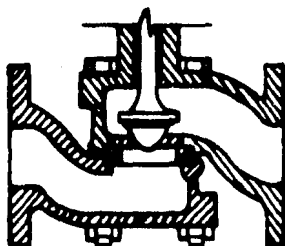
Es importante señalar que las características del fluido de servicio y las condiciones de operación del proceso, son las que determinan el tipo de válvula a utilizarse.



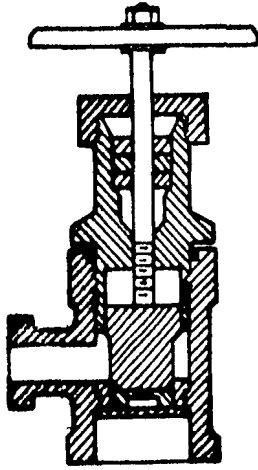
VALVULA DE GLOBO CON ASIEN TO DE METAL



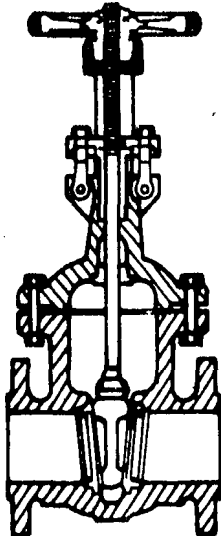
**VALVULA DE GLOBO CON CUERPO EN "Y"
Y EL BONETE SELLADO CON DIAFRAGMA**



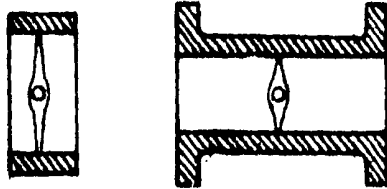
**VALVULA DE GLOBO DE CONTROL CON CUERPO PARTIDO
PARA FACIL MANTENIMIENTO Y CAMBIO DE ASIENTOS**



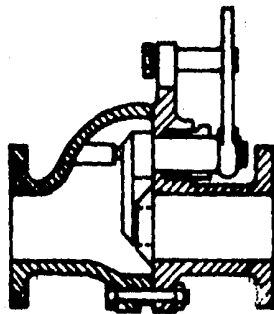
**VALVULA DE ANGULO.
FORMA ESPECIAL DE LA DE CUERPO DE GLOBO**



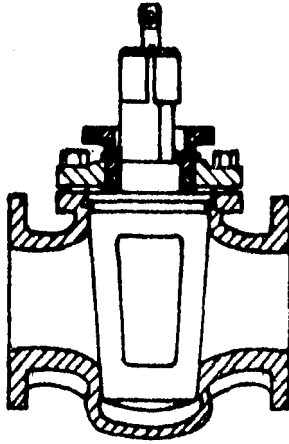
**VALVULA DE COMPUERTA CON BONETE SUJETADO
CON PERNOS Y VASTAGO SALIENTE**



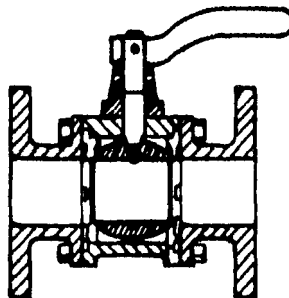
**VALVULA DE MARIPOSA CON DOS TIPOS BASICOS
DE DISEÑO DEL CUERPO**



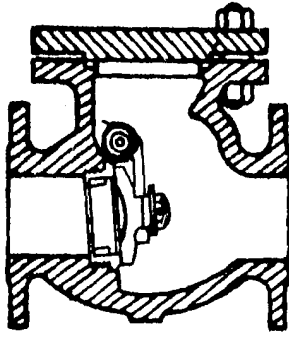
**VALVULA DE COMPUERTA CON DISCO DESLIZANTE
USADA PARA MANEJAR LIQUIDOS PASTOSOS**



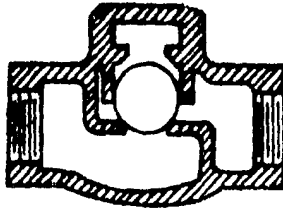
**VALVULA DE MACHO SIN LUBRICACION PARA EVITAR
LA CONTAMINACION DE FLUIDO**



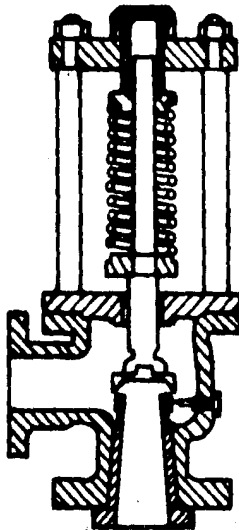
**VALVULA DE BOLA DE PUERTO COMPLETO
DISEÑO CONTRA INCENDIO**



VALVULA DE RETENCION DE COLUMPIO



VALVULA DE RETENCION DE BOLA



**VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD CON BOQUILLA
COMPLETA CONVENCIONAL**

GUIA PARA SELECCION DE VALVULAS

TIPO DE VALVULA	VARIACION DE TAMAÑO		REGIMEN DE PRESION		REGIMEN DE TEMPERATURA		MATERIALES DE CONSTRUCCION	SERVICIO
	mm	Pulg.	Hg/cm ² *	Lb/pulg. ²	°C *	°F		
GLOBO	13 a 762	1/2 a 30	Hasta 176	Hasta 2,500	Hasta 538	Hasta 1,000	Bronce, hierro, acero, acero - inoxidable y aleaciones especiales.	Estrangulación y cierre total en fluidos limpios.
ANGULO	3 a 254	1/8 a 10	Hasta 176	Hasta 2,500	Hasta 538	Hasta 1,000	Bronce, hierro, acero, acero - inoxidable y aleaciones especiales.	Estrangulación y cierre total en servicios con fluidos limpios.
COMPUERTA	13 a 1,220 Más grande en algunos diseños	1/2 a 48	Hasta 176	Hasta 2,500	Hasta 982	Hasta 1,800	Bronce, hierro, acero, acero - inoxidable y aleaciones especiales.	Cierre total (estrangulación limitada) servicios con fluidos limpios y pastosos.
MARIPOSA	51 hasta varios dn	2 hasta varios pies	Hasta 140 Limitada por la caída de presión	Hasta 2,000	Hasta 1,093 Limitado por inferior - temperatura si se usan los forros o asentos - suaves	Hasta 2,000	Materiales fundibles o maquinables. Los forros pueden ser de plástico, hule o cerámica.	Estrangulación (cierre total sólo con diseños o asentos - especiales) servicios con fluidos limpios y pastosos.
MACHO	Hasta 762	Hasta 30	Hasta 352	Hasta 5,000	Hasta 315	Hasta 600	Hierro, acero, acero inoxidable y varias aleaciones. Existen disponibles las válvulas - con forro completo de hule o - plástico	Cierre total (estrangulación) con ciertos diseños.
BOLA	3 a 1,067	1/8 a 42	Hasta 700	Hasta 10,000	Criogénico Hasta 538	Hasta 1,000	Hierro, acero, latón, bronce, acero inoxidable, plástico y - aleaciones especiales para - aplicaciones nucleares, válvulas con forro completo de plástico.	Estrangulación y cierre total en servicios con fluidos limpios viscosos y pastosos.
ALIVIO	13 a 152	1/2 a 6	Hasta 700	Hasta 10,000	Criogénico Hasta 538	Hasta 1,000	Hierro, bronce, acero, acero - inoxidable, acero al níquel y aleaciones especiales.	Limitación de presión.
AGUJA	3 a 25	1/8 a 1	Hasta 700	Hasta 10,000	Criogénico Hasta 260	Hasta 500	Bronce, hierro, acero, acero - inoxidable.	Estrangulación fina de flujo y cierre total en servicios con fluido limpio.
RETENCION	3 a 610	1/8 a 24	Hasta 700	Hasta 10,000	Hasta 648	Hasta 1,200	Bronce, hierro, acero, acero - inoxidable y aleaciones especiales.	Evita retroceso de fluido (diseños especiales evitan el - flujo en exceso).

Los parámetros más importantes involucrados al seleccionar una válvula o válvulas para un servicio general típico son:

- Fluido a Manejar. Esto afecta tanto al tipo de válvula como al material escogido para su construcción.
- Requerimientos Funcionales. Afectan principalmente la selección del tipo de válvula.
- Condiciones de Operación. Afectan tanto el tipo de válvula como los materiales de construcción.
- Características de Flujo y Pérdidas Friccionales. Cuando no hayan sido cubiertas por los Requerimientos Funcionales, o cuando se establecen requerimientos específicos o deseables adicionales.
- Tamaño de la Válvula. Esto afecta la selección del tipo de válvula (los tamaños muy grandes sólo están disponibles en ciertos tipos de válvulas); y la disponibilidad (tamaños especiales pueden no estar disponibles como producción estándar para un tipo particular).
- Requerimientos Especiales. Como apertura rápida, auto drenaje, etc.

Cuando se trata de servicios específicos, la selección del tipo de válvula puede simplificarse, siguiendo la práctica establecida o seleccionando de entre las válvulas producidas específicamente para ese servicio en particular.

A continuación se presentan tres tablas que pueden ayudar a seleccionar la válvula.^{4.8}

La primera resume, en una base más general, las aplicaciones de los principales tipos de válvulas para servicios generales. Debe usarse sólo como una guía de selección, esto es, como un punto de partida.

La segunda tabla lleva la selección general a una etapa siguiente, enlistando los tipos de válvulas que se usan normalmente para servicios específicos.

La tercera tabla es una expansión particularmente útil del mismo tema, en la cual se relaciona la conveniencia de los diferentes tipos de válvulas con los requerimientos funcionales específicos.

Normalmente, para servicios generales y para muchos servicios específicos, varios tipos de válvulas aparecen como opciones posibles. Si esto ocurre, debe evaluarse cada tipo individualmente, comparándolos sobre la base de las características de flujo que ofrecen. Para mayor información, referirse al capítulo cinco.

APLICACIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VALVULAS

CATEGORIA	APLICACIONES GENERALES	ACTUADOR	COMENTARIOS
VALVULA DE BLOQUEO DE TORNILLO DESCENDENTE	Cierre herético o regulación de flujo de líquidos y gases (por ejemplo, vapor).	Volante, motor eléctrico, actuador neumático, actuador hidráulico, motor de aire.	Aplicación limitada para sistemas con baja presión/bajo volumen debido a su costo relativamente elevado. Conveniencia limitada para el manejo de fluidos viscosos o contaminados.
VALVULA DE MACHO	Servicios a baja presión de fluidos limpios y fríos.	Normalmente manual.	Aplicación limitada para servicios de vapor.
VALVULA DE RETENCION	Prevención de flujo en una sola dirección.	Automática.	Las válvulas de retención de columna se usan en líneas muy grandes. Las válvulas de retención horizontales se usan en líneas más pequeñas y en sistemas a alta presión.
VALVULA DE COMPENSACION	Normalmente se usan ya sea totalmente abiertas o cerradas para regulación anticavitación o sujeción de agua, petróleo, gas, vapor y otros fluidos.	Volante, motor eléctrico, actuador neumático, actuador hidráulico, motor de aire.	No recomendable para usarse como válvula de estrangulamiento. La compuerta sólida reforzada está libre de golpeo y obstrucción.
VALVULA DE CORREDERA PARALELA	Regulación de flujo, particularmente en servicios principales, en industrias de proceso y plantas de potencia.		Ofrece un puerto no restringido a abertura total. Puede incorporar un puerto de venturi para reducir la torca de operación.
VALVULA DE MARIPOSA	Cierre herético y regulación en líneas grandes, hidráulicas, industrias de proceso, industrias petroquímicas, estaciones de potencia hidroeléctricas y termoeléctricas.	Volante, motor eléctrico, actuador hidráulico, motor de aire.	Construcción relativamente simple. Produce fácilmente en tamaños muy grandes. (por ejemplo, 10ft o más).
VALVULA DE DIAFRAMA	Alto rango de aplicaciones en todos los servicios para regulación de flujo.	Volante, motor eléctrico, actuador neumático, actuador hidráulico, motor de aire.	Puede manejar todo tipo de fluidos, incluyendo pastas, lodos, etc., y fluidos contaminados. Limitado para servicios de vapor por la resistencia del diafragma a la temperatura y la presión.
VALVULA DE BOLA	Amplio rango de aplicaciones en todos los tamaños, incluyendo líneas muy grandes en oleoductos, etc.	Volante, motor eléctrico, actuador neumático, actuador hidráulico.	Puerto no restringido a abertura total. Puede manejar todo tipo de fluidos. Baja torca de operación. No se usa normalmente como válvula de estrangulamiento.
VALVULA PINCH	Apropiada particularmente para el manejo de medios corrosivos, sólidos en suspensión, pastas, etc.	Mecánica, motor eléctrico, actuador neumático, actuador hidráulico, presión de fluido (diseño modificado).	Puerto no restringido a abertura total. Puede manejar todo tipo de fluidos. Fácil mantenimiento y servicio. Presión de diseño máxima limitada.
VALVULA DE CONTROL DE PROCESO AUTOMATICA	Diseñada para lograr condiciones de servicio particulares.	Para obtener las condiciones de servicio particulares.	Comúnmente tiene configuración de válvula de globo de asiento sencillo o doble.
VALVULA DE RELEVO DE AIRE	Usada en líneas de agua, etc., para desalojar aire atrapado y prevenir la formación de bolsas de vacío.	Automática, respondiendo a cambios en la presión del fluido.	
VALVULA DE TURBINA	Diseñada para lograr requerimientos de turbinas de agua y vapor en servicios industriales, marinos y de generación de potencia.	Para obtener las condiciones de servicio particulares.	Provee de un control garantizado en todo el rango de velocidades y potencias máximas y mínimas de la turbina en asociación con otras válvulas.

TIPOS DE VALVULAS PARA SERVICIOS ESPECIFICOS

SERVICIO	TIPO PRINCIPAL	TIPO SECUNDARIO
GASES	VALVULAS DE MARIPOSA VALVULAS DE RETENCION VALVULAS DE DIAFRAGMA VALVULAS DE MACHO LUBRICADAS VALVULAS DE BLOQUEO DE TORNILLO DESCENDENTE	VALVULAS DE CONTROL DE PRESION VALVULAS DE RELEVO DE PRESION VALVULAS DE REDUCCION DE PRESION VALVULAS DE SEGURIDAD VALVULAS DE RELEVO
LIQUIDOS, DESDE CLAROS HASTA Lodos y aguas negras	VALVULAS DE MARIPOSA VALVULAS DE BLOQUEO DE TORNILLO DESCENDENTE VALVULAS DE COMPUERTA VALVULAS DE MACHO LUBRICADAS VALVULAS DE DIAFRAGMA VALVULAS PINCH	
PASTAS Y LIQUIDOS ALTAMENTE CONTAMINADOS CON SOLIDOS	VALVULAS DE MARIPOSA VALVULAS DE COMPUERTA VALVULAS DE BLOQUEO DE TORNILLO DESCENDENTE VALVULAS DE TURBINA	VALVULAS DE RETENCION VALVULAS DE CONTROL DE PRESION VALVULAS PRE-SOBRECALENTADAS VALVULAS DE SEGURIDAD Y RELEVO

CONVENIENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VALVULAS

T I P O D E V A L V U L A	ENCENDIDO APAGADO	ESTRIBALANCEO	DESVIDO	FLUJO EN UN SOLO SENTIDO	CONTROL DE PRESION	CONTROL DE FLUJO	RELEVO DE PRESION	ABERTURA RAPIDA	LIMBE DRENAJE	BAJA CAIDA DE PRESION	MANEJO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN
BOLA	S	P	B	-	-	-	-	S	-	S	L
MARIPOSA	S	S	-	-	-	S	-	S	S	S	S
DIAFRAGMA	S	P	-	-	-	-	-	P	P	-	S
COMPUERTA	S	-	-	-	-	-	-	S	S	S	-
GLOBO	S	P	-	-	-	P	-	-	-	-	-
MACHO	S	P	S	-	-	P	-	S	S	S	L
OBLICUA (V)	S	P	-	-	-	P	-	-	-	-	-
PINCH	S	S	-	-	-	S	-	-	S	S	S
CORREDERA	-	P	-	-	-	P	-	P	S	S	S
RETENCION COLUMPIO	-	-	-	S	-	-	-	-	-	S	-
DISCO INCLINADO	-	-	-	S	-	-	-	-	-	S	-
RETENCION HORIZONTAL	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-
RETENCION PISTON	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-
RETENCION MARIPOSA	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-
RELEVO DE PRESION	S	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-
REDUCCION DE PRESION	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-
MUESTREO	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGUJA	-	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S = SELECCION CONVENIENTE

P = PUEDE SER CONVENIENTE EN FORMA MODIFICADA

L = CONVENIENCIA LIMITADA

A continuación se presentan dos tablas que pueden ser útiles en la selección de válvulas.^{4.8}

La primera se refiere a los límites de temperatura y presión que pueden tenerse en los diferentes tipos de válvulas, así como los tamaños máximos y mínimos comerciales que se fabrican. Esta tabla es una expansión de las tablas presentadas anteriormente.

La segunda tabla es una guía de selección de válvulas para servicios al vacío, en la cual se indican los niveles de vacío que pueden manejarse en los diferentes tipos de válvulas.

TAMAÑOS Y RANGOS DE OPERACION TÍPICOS PARA VALVULAS

VALVULA	TAMAÑOS		PRESIONES		TEMPERATURAS	
	Mínimo in (mm)	Máximo in (mm)	Mínima psi (bar)	Máxima psi (bar)	Mínima °F (°C)	Máxima °F (°C)
Bola	½ (6)	48 (1220)	atm. (atm.)	7500 (525)	-65 (-55)	575 (300)
Mariposa	2 (50)	72 (1830)	vac. (vac.)	1220 (84)	-20 (-30)	1000 (538)
Retención mariposa	1 (25)	72 (1830)	atm. (atm.)	1200 (84)	0 (-18)	500 (260)
Compuerta	1/8 (3)	48 (1220)	vac. (vac.)	10000 (700)	-455 (-277)	1250 (675)
Globo	1/8 (3)	30 (760)	vac. (vac.)	10000 (700)	-455 (-272)	1000 (540)
Macho lubricada	½ (6)	30 (760)	atm. (atm.)	5000 (350)	-40 (-40)	600 (315)
Macho no lubricada	½ (6)	16 (406)	atm. (atm.)	3000 (210)	-100 (-75)	425 (220)
Retención columpio	½ (6)	24 (610)	atm. (atm.)	2500 (175)	0 (-18)	1200 (540)
Retención columpio "Y"	½ (6)	6 (150)	atm. (atm.)	2500 (175)	0 (-18)	1200 (540)
Retención horizontal	½ (6)	10 (250)	atm. (atm.)	2500 (175)	0 (-18)	1200 (540)
Retencn. disco basculante	2 (50)	30 (760)	atm. (atm.)	1200 (84)	-450 (-260)	1100 (590)
Diafragma	1/8 (3)	24 (610)	vac. (vac.)	300 (21)	-60 (-50)	450 (230)
"Y" (oblicua)	1/8 (3)	30 (760)	vac. (vac.)	2500 (175)	-455 (-272)	1000 (540)
Corredera	2 (50)	75 (1900)	atm. (atm.)	400 (28)	0 (-18)	1200 (650)
Pinch	1 (25)	12 (305)	vac. (vac.)	300 (21)	-100 (-75)	300 (260)
Aguja	1/8 (3)	1 (25)	vac. (vac.)	10000 (700)	-100 (-78)	500 (260)

VALVULAS PARA SERVICIOS AL VACIO

VACIO	TIPO DE VALVULA	COMENTARIOS
Suave a Medio	Diafragma	La resistencia del diafragma elastomérico limita la presión que puede obtenerse en el sistema.
	Globo	Con sello de bonete de fuelle metálico.
	Bola	Generalmente más conveniente que otros tipos.
Medio a alto	Bola	Maquinada más precisamente que para vacío suave a medio.
	Placa	Puede preferirse a las válvulas de bola o diafragma para servicios de menos de 10 E-7 torr.
	Columpio de un cuarto de vuelta	Como válvula para tubería o incorporada a un ducto bombeante.
	Compuerta	Mayor conductancia que la anterior.
	Mamparas	Mamparas asociadas con una válvula aislada para una bomba de difusión cuando el sistema se deja a presión atmosférica.
Muy alto	Placa 90°	Con sellos no elastoméricos
	Columpio $\frac{1}{4}$ vuelta	
	Bola	
	Compuerta	
	Mamparas	
Ultra alto	Alta conductancia	Diseño y construcción especial.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR VALVULAS DE CONTROL

La válvula de control es el elemento más importante del sistema de control automático de una planta de proceso. Se tienen disponibles muchos tipos de válvulas de control, entre los cuales debe seleccionarse el más adecuado para los requerimientos específicos del proceso.

Para seleccionar adecuadamente una válvula de control debe conocerse muy bien el proceso y los criterios de diseño, además deben considerarse otros factores importantes: costos, disponibilidad, tiempo de envío, servicios de ingeniería del fabricante y partes de repuesto.

Al especificar una válvula de control deben tomarse en cuenta los requerimientos de instalación de la planta y las prácticas de mantenimiento en campo. Aún más, la selección previa del proveedor puede asegurar el envío a tiempo de válvulas de tipos y materiales especiales, y puede ser útil en el dimensionamiento de la válvula, puesto que algunos factores necesarios para dimensionar, son específicos de cada fabricante.

Los tipos de válvulas de control más ampliamente usados son: globo, con varios tipos de interiores; mariposa; tapón rotatorio excéntrico; bola; ángulo; y de tres vías. Existe una gran variedad de válvulas más sofisticadas.

En la tabla que se presenta a continuación, se comparan los diferentes tipos de válvulas de control, indicando las ventajas y desventajas de cada tipo.^{4.3}

Esta tabla puede ayudar a orientar la elección de la válvula, a un número mínimo de opciones, antes de efectuar una selección detallada.

COMPARACION DE VALVULAS DE CONTROL

TIPO	GENERAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
GLOBO, PUERTO SENCILLO	Ampliamente disponible en tamaños pequeños; tamaños estándares de hasta 16 pulgadas; disponible en todas las características; capacidades estándares de 1500 psig a 2500 psig y 400 RF; útil en la mayoría de los servicios; siendo reemplazada gradualmente por válvulas de interiores de Jaula.	Baja recuperación de presión; dimensiones estándares de cara a cara; disponible en interiores reducidos; la operación puede invertirse invirtiendo los interiores; cierre hermético.	Alta relación costo/coeficiente de válvula; puede requerir accionadores mayores; en tamaños menores a 4 pulg., puede no ser competitiva (retención vs. mariposa, etc.); rango limitado; los asientos roscados pueden corroerse y son difíciles de demorar; funciónamiento deficiente con flujos pastosos.
GLOBO, PUERTO DOBLE	Lo mismo que la válvula de globo de puerto sencillo.	Menores fuerzas desbalanceadas, requiriendo accionadores menores que la válvula de globo de puerto sencillo; lo mismo que la válvula de globo de puerto sencillo excepto que no tiene cierre hermético.	Rango limitado, pero un poco mejor que la -- válvula de globo de puerto sencillo; en tamaños menores a 4 pulg., puede no ser competitiva (retención vs. mariposa, etc.); no tiene cierre hermético.
GLOBO, JAULA, GUTADA, BALANCEADA	Buena disponibilidad; disponible en todas las características; tamaños estándares de hasta 6 pulg.; capacidades estándares de -- hasta 2500 psig, 450 RF; interiores refrigerados y silenciosos.	Cambio rápido de interiores en línea; dimensiones estándares de cara a cara; capacidades mayores, menor relación costo/coeficiente de válvula, rango mucho mayor que las válvulas de globo anteriores; al tener una mayor superficie gutada se tiene un movimiento del vástago más uniforme; disponible en interiores silenciosos.	Los interiores no pueden invertirse; para lograr el cierre hermético, se requieren interiores especiales; con interiores silenciosos se reduce la capacidad.
GLOBO, JAULA, GUTADA, NO BALANCEADA	Lo mismo que la válvula balanceada.	Lo mismo que la válvula balanceada pero con cierre hermético; disponible en interiores silenciosos.	Los interiores no pueden invertirse; con interiores silenciosos se reduce la capacidad.
MARIPOSA, ALETA ESTANDAR	Ampliamente disponible en tamaños grandes y en cuerpos no bridados estilo disco; tamaños estándares de hasta 36 pulg., 2500 psig; tamaños especiales de hasta 60 pulg., 2500 psig la característica normal es aproximada a la de igual porcentaje; disponible en otras características usando posicionadores caracterizados.	Muy baja relación costo/coeficiente de válvula; rango regular; alta capacidad; buen control a caídas de presión bajas; ligera, pequeña; pocas partes para mantenimiento.	El control está limitado a una abertura de -- 600; alta recuperación de presión, susceptible de bloquear el flujo, cavitación y ruido; para cierre hermético se requieren recubrimientos especiales; la capacidad con respecto a la temperatura está limitada por la composición del recubrimiento (cuando este se requiere); para torca alta o presiones elevadas el cierre se requiere sobredefinir las flechas y los accionadores; al cerrarse rápidamente se puede provocar un martillido de agua; debe instalarse con la flecha horizontal.
MARIPOSA, ALETA DE COLA DE PESCADO Y DE BAJA TORCA	Las hietas estan diseñadas para reducir la torca.	Lo mismo que la válvula con aleta estándar pero con buen control a aberturas de hasta 900; capacidad incrementada; remora flechas y accionadores.	Lo mismo que la válvula con aleta estándar, excepto que da buen control a aberturas de 900 y que la baja torca permite el uso de flechas y accionadores menores que para la válvula de aleta estándar.
TAPON ROTATORIO EXCENTRICO (CAMPLX)	Tamaños estándares de hasta 12 pulgadas y -- 600 psig; no bridado por inclusión entre bridas ANSI/ESTANDARES, 150, 300 y 600 psig; rango estándar de temperatura de - 320 hasta 750 RF; disponible en características igual porcentaje y lineal.	Alto rango; relación costo/coeficiente de -- válvula competitiva; relación tamaño/coeficiente de válvula pequeña; buena capacidad bajo condiciones promedio; alta capacidad bajo condiciones de flujo crítico; cierre hermético; manubrio o volante estándar.	Debe demontarse de la línea para mantenimiento; la presión está limitada a 600 psig.
GLOBO CARACTERIZADA	Tamaños estándares de hasta 2 pulgadas y 600 psig ANSI, tamaños estándares de hasta 12 -- pulgadas y 300 psig ANSI, tamaños estándares de hasta 24 pulgadas y 150 psig ANSI; todas las características; no bridado por inclusión entre bridas ANSI estándares.	Bajo costo; rango muy alto; alta capacidad; puede manejar flujos pastosos, fibrosos y viscosos.	Alta recuperación de presión; bloqueo del -- flujo y cavitación; no tiene interior reducido; necesita accionadores de presión y posicionadores más grandes con altas presiones de aire; requiere ingeniería adicional de distribuidores; no tiene dimensiones estándares de cara a cara; requiere pernos estándares largos.
BOLA	Característica de igual porcentaje; no bridado por inclusión entre bridas ANSI estándares.	Maneja fluidos pastosos y materiales filtrables; capacidades muy altas; cierre hermético; bajo costo; alto rango.	Alta recuperación de presión, puede bloquear el flujo y producir cavitación; la temperatura está limitada a la que resisten los materiales del asiento; el empuje lateral produce desgaste en el asiento; debe demontarse para mantenimiento; manubrio o volante de alto costo, el igual que la válvula globo caracterizada.
ANGULAR	Usada para aplicaciones especiales; hidrocarburos aglomerados, catalizadores erosivos.	Muy alta capacidad; previene la erosión en el cuerpo de la válvula; de drenaje automático.	Alto costo; alta recuperación de presión; cavitación, ruido y erosión a la entrada; el -- coeficiente de válvula no puede predicarse adecuadamente; requiere liberación completa.
VALVULA DE TRES VIAS	Aplicación especial: control de la temperatura alrededor de un cambiador de calor, etc..	Disponible en todos los tamaños.	Alto costo (válvula de retención vs. dos válvulas de mariposa); se requiere un dimensionamiento especial del accionador; sólo en características lineal; rango limitado; altos esfuerzos sobre el cuerpo cuando las temperaturas varían mucho.
AUTOINHASTRE	Aplicación especial: el disco con lengüetas en forma de laberinto disipa la presión y reduce la velocidad del fluido; disponible en varias estilos: angular, en "V" y de paso recto.	Maneja caídas de presión extremadamente altas; maneja bien servicios sucrosos; reduce el ruido, la cavitación y la vibración, dado el origen; disponible en cierre hermético; elimina los silenciosos, las placas rompa y el aislamiento para reducción de ruido.	Muy costosa, debe compararse contra válvulas convencionales con accionación eléctrica que logran la misma función; largo tiempo de entrega; tubería especial para tipo angular; se tapona fácilmente en servicios sucios; requiere restricciones de flujo en el arranque.
GLOBO CON INTERIOR I	Puerto de ranuras múltiples.	Los interiores se ajustan a muchos contornos de interiores de Jaula estándares; disminuye el ruido y la vibración.	A menudo requiere accesorios de "trajectoria" para reducción de ruido.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR UN MEDIDOR DE FLUJO

Cuando se desea obtener una medición precisa de la eficiencia de los equipos que hay en una planta, es esencial tener mediciones precisas de flujos y temperaturas en las corrientes involucradas en los equipos.

Para medir el flujo, se dispone de muchos tipos de instrumentos que es necesario conocer bien para poder seleccionar entre ellos.

En primera instancia, se requiere conocer las características del instrumento: a continuación, se presentan las definiciones de ciertas propiedades de los medidores que son útiles para hacer una buena selección.

Linealidad.

Capacidad de comportarse como una línea recta, definida generalmente en términos de porcentajes. Por ejemplo, la linealidad es de $\pm 0.5\%$ de la lectura, a lo largo del rango del medidor.

Repetibilidad.

Capacidad de funcionar dando los mismos resultados una y otra vez.

Rango de Capacidad.

Representa el rango del instrumento. Por ejemplo, de 10 gpm a 100 gpm.

Relación de Disminución.

Otra manera de expresar el rango. Por ejemplo, de 10 gpm a 100 gpm, será igual a una relación de disminución de 10 a 1.

Precisión de Rango.

La precisión se presenta como un porcentaje del rango completo del instrumento. Por ejemplo, $\pm 1\%$ es igual a ± 1 unidad en 100. Esto significa que al 25% del rango del medidor, hay 1 unidad en 25, o una precisión real de $\pm 4\%$.

Precisión.

La precisión se presenta como un porcentaje de la lectura real del instrumento. Por ejemplo, $\pm 1\%$ es igual a 1 unidad en 100. Al 25% del rango del medidor, hay ± 0.25 unidades en 25, o una precisión real de $\pm 1\%$.

Antes de efectuar la selección de un medidor de flujo, deben considerarse varias cuestiones:

¿Qué rango desea cubrirse?

Se debe ser realista en este aspecto. Seleccionar primero el rango que se desea cubrir, y después el rango que podría aceptarse. Entre menor sea el rango, mayor será el número de opciones a considerar en la selección.

¿Qué precisión se necesita?

Este aspecto es importante tanto para evaluar el costo de toda la instalación de medición, como para seleccionar el elemento primario de medición. Algunos medidores proveen una señal discreta que permite una totalización fácilmente; otros proveen una señal continua que sirve para llevar un registro.

¿Qué tipo de recinto se desea?

Esto se refiere al lugar donde se instalará el medidor. Es un aspecto práctico que usualmente no limita la selección, pero puede afectar los costos.

¿Cuáles son las consideraciones en cuanto a la tubería?

Esto se refiere a si se colocará el medidor en una instalación nueva o si será instalado en equipos existentes. También debe considerarse la accesibilidad para servicio o bien su inaccesibilidad. Otro aspecto es si la instalación tiene un ambiente hostil (corrosivo, erosivo, etc.). Además, debe considerarse de qué longitud de tubería recta se dispone para colocar el medidor. Todo esto afectará el tipo y el costo del medidor a usarse.

¿Quién dará servicio al medidor?

La disponibilidad de un servicio adecuado es tan importante como el costo inicial del medidor. A menos que se tenga personal altamente capacitado, deberá relegarse el servicio y la calibración del instrumento a una compañía externa.

¿Qué tipo de vida de servicio se desea para el medidor?

Hay ocasiones en que sólo se necesita un medidor temporal con chequeos periódicos en determinados puntos del sistema. En otros casos se desea tener un medidor que acumule datos precisos por muchos años. Hay medidores diseñados específicamente para ambas circunstancias. No es probable que un solo medidor pueda satisfacer los dos requerimientos.

¿Qué caída de presión puede tolerarse en el medidor?

Si un sistema tiene una cabeza de fricción de 60 pies por ejemplo, un medidor que produzca 10 pies de caída puede ser inaceptable. En cambio, si se tiene un sistema que trabaja a 200 psig y el medidor produce una caída de presión de 3 psi, puede no haber ningún problema.

¿De cuánto dinero se dispone?

Debe preguntarse antes de contestar esta pregunta. El costo inicial no siempre es el costo final. Algunos factores a considerar serían, el costo de instalación, las pérdidas de presión por fricción en relación a los costos de operación, y los costos de mantenimiento. Otro factor importante es, qué tan precisa puede ser una evaluación económica preliminar.

¿Qué fluido se desea medir?

Muchos fluidos no requieren gran explicación, pero otros requieren especificar todas sus propiedades.

Además de todas las cuestiones anteriores, es necesario conocer las condiciones de proceso, temperatura, presión, flujo y especificaciones de la tubería.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de diferentes tipos de medidores de flujo, dando sus características, sus ventajas y desventajas.^{4.4}

TABLA COMPARATIVA DE MEDIDORES DE FLUJO

TIPO	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PLACA DE ORIFICIO	Mantenimiento: bajo Requerimientos de tubería: moderados Relación de Dimensión: 3 a 1 Precisión: +/- 0.75% de la escala completa Linealidad: función logarítmica Repetibilidad: 0.1% Costo: moderado	Adecuado a la mayoría de los fluidos; precio moderado; buena precisión para condiciones de diseño; fácil cambio del rango; no tiene partes móviles; señal de precisión diferencial simple; fácil mantenimiento.	Rango limitado (puede incrementarse adicionando electrónica, pero se incrementa también el precio); alta caída de presión permanente; la precisión disminuye al disminuir el flujo.
TOBERA DE FLUJO	Lo mismo que la placa de orificio pero con un costo mayor.	Lo mismo que la placa de orificio pero puede tener aplicaciones para sistemas de vapor sobrecalentado en los que comúnmente se tienen altas velocidades en las tuberías.	Similar a la placa de orificio.
VENTURI	Mantenimiento: bajo Requerimientos de tubería: moderados Relación de Dimensión: 4 a 1 Precisión: +/- 0.5% de la escala total Linealidad: función logarítmica Repetibilidad: +/- 0.1% Costo: alto	Adecuado a la mayoría de los fluidos; alta precisión para las condiciones de diseño; no tiene partes móviles; señal de precisión diferencial simple; fácil mantenimiento; baja caída de presión permanente.	Costoso; rango limitado (puede incrementarse adicionando electrónica, pero se incrementa también el precio); la precisión disminuye al disminuir el flujo.
ANNULAR	Mantenimiento: bajo Requerimientos de tubería: bajos a moderados Relación de Dimensión: 3 a 1 Precisión: +/- 2% de la escala completa Linealidad: función logarítmica Repetibilidad: moderada Costo: bajo	Adecuado a la mayoría de los fluidos; bajo costo; no tiene partes móviles; señal de precisión diferencial simple; fácil mantenimiento; fácil instalación; caída de presión mínima.	Las señales bajas implican la imprecisión; la unidad puede obstruirse; rango limitado; la precisión disminuye al disminuir el flujo; la viscosidad del fluido está limitada a 300 centipoises.
MEDIDOR DE VORTICES	Mantenimiento: bajo a moderado Requerimientos de tubería: moderados Relación de Dimensión: 10 a 1 ó mejor Precisión: +/- 1% de la lectura Linealidad: +/- 0.5% Repetibilidad: +/- 0.5% Costo: moderado a alto	Excelente rango; buena precisión en todo el rango; mínima o nulas partes móviles; fácil mantenimiento; fácil instalación.	Costo mayor; no es bueno para fluidos viscosos.
MEDIDOR DE TURBINA	Mantenimiento: moderado a alto Requerimientos de tubería: moderados Relación de Dimensión: Precisión: +/- 0.5% de la lectura (2% para inserciones en tuberías grandes) Linealidad: +/- 0.25% Repetibilidad: +/- 0.20% Costo: moderado a alto	Excelente rango; buena precisión en todo el rango; fácil instalación; adecuado a la mayoría de los fluidos.	Costoso; limitado por viscosidad; partes móviles; puede dañarse si se excede el rango; requiere mucho mantenimiento.
MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	Mantenimiento: bajo Requerimientos de tubería: bajos Relación de Dimensión: 10 a 1 ó menor Precisión: +/- 0.5% a 2% de la escala completa. Linealidad: +/- 2% Repetibilidad: +/- 0.1% Costo: bajo a alto (algunos medidores de gases y condensado son costosos)	Buen rango; no requiere potencia para totalizar; puede manejar líquidos viscosos y gases poco densos; costo competitivo.	Alto mantenimiento, causado por las partes móviles; no es fácil de calibrar; muy voluminoso en tamaños grandes.
MEDIDOR DE DERIVACION	Mantenimiento: moderado a alto Requerimientos de tubería: moderados Relación de Dimensión: 7 a 1 Precisión: +/- 2% de la lectura Linealidad: +/- 2% Repetibilidad: +/- 0.2% Costo: moderado a alto	Rango razonable; no se requiere potencia adicional para totalización.	Alto mantenimiento; no es fácil de calibrar.

En la tabla que se muestra a continuación, se da una guía de selección de medidores de flujo en base al tipo de fluido a medir, para los fluidos manejados más frecuentemente. Además se indican las relaciones de disminución para cada tipo, o en su caso, si el medidor no es recomendable.^{4.4}

GUIA DE SELECCION DE MEDIDORES DE FLUJO (RELACIONES DE DISMINUCION)

	PLACA DE ORIFICIO	TOBERA DE FLUJO	VENTURI	ANNUBAR	MEDIDOR DE VORTICES	MEDIDOR DE TURBINA	MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	MEDIDOR DE DERIVACION
VAPOR ABAJO DE 30 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	NO SE RECOMIENDA	5 - 1	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
VAPOR DE 30 a 200 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	10 - 1	10 - 1	NO SE RECOMIENDA	7 - 1
VAPOR ARRIBA DE 200 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	12 - 1	12 - 1	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
CONDENSADO	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	20 - 1	20 - 1	8 - 1	7 - 1
AGUA ABAJO DE 1800 F	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	20 - 1	20 - 1	10 - 1	7 - 1
AGUA ARRIBA DE 1800 F	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	20 - 1	20 - 1	8 - 1	7 - 1
COMBUSTOLEO Nº 2	3 - 1	3 - 1	4 - 1	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	10 - 1	15 - 1	NO SE RECOMIENDA
COMBUSTOLEO Nº 6	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	8 - 1	NO SE RECOMIENDA
GAS NATURAL ABAJO DE 5 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	NO SE RECOMIENDA	20 - 1	20 - 1	20 - 1	NO SE RECOMIENDA
GAS NATURAL ARRIBA DE 5 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	30 - 1	30 - 1	30 - 1	5 - 1
AIRE ABAJO DE 5 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	20 - 1	20 - 1	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
AIRE ARRIBA DE 5 lb	3 - 1	3 - 1	4 - 1	3 - 1	30 - 1	30 - 1	NO SE RECOMIENDA	5 - 1

171

CRITERIOS DE SELECCION DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION

Debido a la gran variedad de medidores de flujo que existen, las posibilidades de selección de un elemento primario de medición, son muy amplias.

A continuación se presenta una serie de criterios heurísticos aplicados a la selección del elemento primario de medición.

Usar, como primera elección, una placa de orificio de bordes rectangulares, a menos que la velocidad, la naturaleza del fluido o algún otro requerimiento, indique el uso de otro tipo de elemento primario de medición.

Si el fluido contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión, considerar las siguientes opciones:

- Un medidor magnético, si el fluido es lo suficientemente conductivo.
- Un venturi, con o sin cono de salida.
- Un medidor de disco (target meter).
- Una tobera de flujo, en una línea vertical con flujo hacia abajo, si los sólidos tienden a asentarse rápidamente.

Si el fluido contiene pequeñas cantidades de sólidos granulares pesados, o si el fluido es un gas o vapor que contenga cantidades apreciables de condensado, considerar las siguientes alternativas:

- Una placa de orificio excéntrico o segmental, con la abertura localizada en la parte inferior de la tubería.
- Un medidor de disco.
- Una tobera de flujo, en una línea vertical con flujo hacia abajo.
- Un medidor magnético, si el fluido es lo suficientemente conductivo.

Si el fluido contiene sólidos problemáticos con densidad similar a la del fluido de suspensión, considerar:

- Un medidor magnético, si el fluido es lo suficientemente conductivo.
- Una placa de orificio cuadrante o semicircular.
- Un medidor de disco.

Si un líquido contiene cantidades apreciables de aire o vapor, considerar:

- Una placa de orificio segmental o excéntrico, con la abertura localizada en la parte superior de la tubería.
- Una placa de orificio concéntrico, o una tobera de flujo, en una línea vertical con flujo hacia arriba.
- Un medidor de disco.
- Un medidor magnético, si el líquido es lo suficientemente conductivo.

Si el fluido es viscoso, o si por alguna otra razón, el número de Reynolds es bajo, considerar las siguientes opciones:

- Una placa de orificio cuadrante o semicircular.
- Un medidor magnético, si el fluido es lo suficientemente conductivo.
- Una placa de orificio concéntrico o una tobera de flujo, con factores de corrección que varían considerablemente con cambios de flujo y viscosidad.
- Un medidor de disco.

Si el flujo es muy bajo y el fluido es muy limpio, considerar:

- Una placa de orificio integral.
- Un medidor de corrida calibrado para bajo flujo.

Si el costo de potencia de bombeo es elevado con respecto al costo del elemento primario de medición, debe considerarse el ahorro anual logrado al usar un elemento primario más costoso y compararlo con el interés sobre la

inversión adicional. Considerar lo siguiente:

- Un medidor magnético, si el fluido es lo suficientemente conductivo.
- Un tubo de baja caída (lo-loss).
- Un venturi, si el fluido es sucio y no conductivo.

La medición de gas natural es una excepción a lo anterior, ya que casi exclusivamente se usan placas de orificio concéntrica, con las tomas de presión a 2½ y 8 diámetros. Los reportes de la "American Gas Association" (AGA), que se toman como un código, no cubren ningún otro tipo de estándar. No obstante, el reporte número 3 de AGA, reconoce que las placas de orificio segmental y excéntrico, se usan para medición de gases húmedos.

Esto se debe a que usualmente se dispone de una presión elevada al manejar gas natural, de modo que el utilizar un elemento con alta recuperación de presión, es poco común.

El medidor de placa de orificio es el dispositivo más simple y popular, así como el menos costoso de los instrumentos que existen para medición de flujo, en plantas de proceso. Como regla general, no se recomienda utilizar placas de orificio que tengan orificios mayores a 8 pulgadas de diámetro.

El medidor de venturi y la tobera de flujo, son similares en principio a las placas de orificio, y se usan cuando se presentan situaciones especiales, como se indica en la tabla que se presenta a continuación.

4.10

SITUACION	Tobera de Flujo	Venturi	Rotámetro	Orificio Excéntrico	Medidor Magnético
Líneas de 1½ pulgadas de diámetro y menores			●		
Fluídos muy viscosos	●		●		
Altos costos de bombeo		●			●
Fluídos que contengan altas cantidades de sólidos	●	●			●
Fluídos con pequeñas cantidades de sólidos o vapores con condensado	●			●	
Líquidos con aire o vapor				●	
Vapor a una alta velocidad	●				

Nota: ● indica el medidor recomendado.

La tobera de flujo debe utilizarse cuando se cumpla la desigualdad siguiente: ^{4.10}

$$\frac{w}{D^2(\rho h)^{1/2}} > 140$$

en donde:

w = flujo másico (lb/h)

D = diámetro interno de la tubería (in)

ρ = densidad (lb/ft³)

h = diferencial de presiones (in H₂O)

Cuando esta desigualdad se presenta, no debe utilizarse una placa de orificio, la primera alternativa es usar una tobera de flujo, aunque otros parámetros pueden indicar otro tipo de medidor.

BIBLIOGRAFIA capítulo cuatro

- 4.1 Brodgesell, August
VALVE SELECTION
Chemical Engineering, Deskbook Issue, October 11, 1971.
- 4.2 Carey, James A.; Hammitt, Donn
HOW TO SELECT LIQUID-FLOW CONTROL VALVES
Chemical Engineering, April 3, 1978.
- 4.3 Chalfin, Sanford
SPECIFYING CONTROL VALVES
Chemical Engineering, October 14, 1974.
- 4.4 Mannion, James R.; Casedy, Gary A.
FLUID FLOW METER SELECTION
Heating/Piping/Air Conditioning, May 1982.
- 4.5 Pikulik, Arkadie
SELECTING AND SPECIFYING VALVES FOR NEW PLANTS
Chemical Engineering, September 13, 1976.
- 4.6 Rase, Howard F.
PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS
John Wiley & sons, Inc.
New York, 1963.
p. 237, 238

4.7 Spink, Leland K.

PRINCIPLES AND PRACTICE OF FLOW METER ENGINEERING, 9th Ed.

The Foxboro Company

Foxboro, 1975.

p. 121, 122, 123

4.8 Warring, R.H.

HANDBOOK OF VALVES, PIPING AND PIPELINES, 1st Ed.

Gulf Publishing Company

Houston, 1982.

p. 26, 27, 28, 29, 35, 397

4.9 Wier, John T.

SELECTING VALVES FOR THE CPI

Chemical Engineering, October 14, 1974.

4.10 Información técnica obtenida mediante entrevistas.

**CRITERIOS APLICADOS AL
DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS
DE CONTROL Y MEDIDORES DE FLUJO**

CAPITULO CINCO

CRITERIOS APLICADOS AL DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS DE CONTROL Y MEDIDORES DE FLUJO

La instrumentación en una planta depende del grado de sofisticación que quiera o requiera darse al proceso.

Un Ingeniero Químico debe saber especificar los instrumentos que requiere el proceso, esta especificación puede tener varios niveles, desde el pedirlos directamente a un fabricante, hasta el definirlos completamente.

De acuerdo a lo anterior, en el capítulo cuatro, se presentaron los criterios de selección de válvulas y medidores de flujo, el siguiente paso consiste en especificar o seleccionar el modelo y tamaño de la válvula o medidor de flujo.

En este capítulo, se presentan primeramente los criterios aplicados al dimensionamiento de válvulas de control, incluyendo caída de presión, flujo y abertura de las mismas; y posteriormente se presentan los criterios para especificar medidores de flujo.

En el capítulo seis, en la parte de tuberías alrededor de válvulas de control, se presentan los criterios para determinar el tamaño de las mismas, con respecto al tamaño de la tubería; y de las válvulas de bloqueo y desvío, que generalmente van asociadas a una válvula de control.

CAIDA DE PRESION EN VALVULAS DE CONTROL

Al dimensionar una válvula de control existen muchos parámetros que son arbitrarios, la caída de presión es quizás el factor más arbitrario que se considera.

En el mejor de los casos, la caída de presión se conoce más o menos adecuadamente, por ejemplo, en aplicaciones simples de contrapresión o reducción, y en instalaciones de control de nivel en las que un líquido pasa de un recipiente a otro a presión constante.

Para tuberías largas o en sistemas con equipos de transferencia de calor, la caída de presión debe estimarse para las peores condiciones, esto es, flujo máximo y agregando un "margen razonable" por las caídas de presión de otros instrumentos colocados en serie con la válvula.

A menudo se considera la caída de presión de una válvula de control como un porcentaje de la caída de presión por fricción total del sistema. Como regla práctica de trabajo se considera que la válvula absorba al menos, una tercera parte de la caída de presión total del sistema a condiciones de flujo máximo.

Ahora bien, esta regla puede relajarse para sistemas muy largos o con una caída de presión muy grande, sobre todo si se conoce muy bien el flujo real y éste no variará mucho durante la operación. En este caso, se puede considerar la caída de presión en la válvula como un 15% de la caída total del sistema, lográndose un control lo suficientemente bueno.

El extremo de esta regla se encuentra en sistemas muy largos que transportan líquidos, en los que la válvula sirve sólo para compensar el gradiente hidráulico del sistema, ya que el flujo no variará considerablemente, en este caso, la válvula podría absorber incluso menos del 1% de la caída total del sistema, siempre y cuando se consideren las características de la válvula y

el sistema de control como un todo.

Cuando solamente se dispone de datos de proceso pobres, la caída de presión se escoje aún más arbitrariamente, para válvulas en la descarga de bombas, una caída de presión de 10 psi o del 10% de la presión de descarga, se considera que es buena, si el sistema de descarga no es muy grande; cuando se usan bombas centrífugas, es conveniente considerar los cambios en la cabeza de la bomba por variaciones en el flujo.

En términos generales, si se conoce bien el sistema donde se instalará la válvula, la caída de presión de diseño de la válvula será: no menor del 10% de la presión total del sistema ni mayor del 33% de la caída de presión por fricción total del sistema, cuando se trabaja a presiones de operación inferiores a 20 Kg/cm² manométricos.

CAIDA DE PRESION DE DISEÑO EN VALVULAS DE CONTROL PARA LIQUIDOS

Para diseñar una válvula de control, debe considerarse una caída de presión de diseño, que puede no ser la caída de presión normal que se tiene como dato, para esto es necesario considerar ciertos factores.

Caída de Presión Permisible

La operación de una válvula de control, está limitada por la posibilidad de "flasheo" del líquido.

El "flasheo" en la válvula, obstruye el flujo ocasionando cavitación, erosión y ruido. Este "flasheo" se presenta cuando el fluido que pasa a través de la válvula, alcanza una velocidad tan alta, que su presión disminuye por debajo de su presión de vapor, por lo que se evapora. Bajo estas condiciones, y para una presión de entrada dada, existe un valor de la caída de presión, a partir del cual, cualquier incremento en la caída de presión, no producirá un incremento en el flujo. Por lo tanto, la caída de presión de diseño estará limitada a este valor crítico (permisible). Después de la válvula, la velocidad del fluido disminuye y su presión se recupera, con lo cual, las burbujas de vapor se colapsan y se produce la cavitación, acompañada por erosión y ruido.

Los fabricantes de válvulas, reportan valores de un coeficiente de recuperación de presión para cada una de sus válvulas, con el cual puede calcularse la caída de presión crítica o permisible de la válvula, mediante la siguiente ecuación:^{5.3}

$$P_d = K_m (P_1 - r_c P_v)$$

en donde:

P_d = caída de presión crítica o permisible (psi)

K_m = coeficiente de recuperación de la válvula

P_1 = presión del fluido a la entrada (psia)

r_c = radio de presión crítica del líquido

P_v = presión de vapor del líquido (psia)

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan valores del coeficiente de recuperación, para diferentes tipos de válvulas, sin embargo, estos valores solo deben usarse si no se dispone de información del fabricante. ^{5.3}

Entre mayor sea el coeficiente de recuperación, menor será la posibilidad de "flasheo" o cavitación.

COEFICIENTES DE RECUPERACION PARA VALVULAS

Tipo de Válvula	Km

Globo, Interiores de jaula	
No balanceada	0.8
Balanceada	0.7
Mariposa	
Cola de pescado	0.43
Convencional	0.55
Bola	
Bola en "V", bola modificada, etc.	0.4
Bola de area completa	0.3
Globo, convencional	
Puerto sencillo o doble (puerto completo)	0.75
Puerto sencillo o doble (puerto reducido)	0.65
De tres salidas	0.75
Angular	
Flujo tiende a abrir (cuerpo estándar)	0.85
Flujo tiende a cerrar (cuerpo estándar)	0.50
Flujo tiende a cerrar (salida de venturi)	0.20
Camflex	
Flujo tiende a cerrar	0.72
Flujo tiende a abrir	0.46
Cuerpo partido	0.8

Una vez obtenida la caída de presión permisible, debe compararse con la caída de presión normal:

Si la caída de presión permisible es menor que la normal, la caída de presión de diseño será la permisible.

Si la caída de presión permisible es mayor que la normal, la caída de presión de diseño será la normal.

Después deberá checar la posibilidad de cavitación y "flasheo":

Si la caída de presión normal es mayor que la permisible y la presión de salida de la válvula es mayor que la presión de vapor del líquido, se presentará cavitación.

Si la caída de presión normal es mayor que la permisible y la presión de salida de la válvula es menor que la presión de vapor del líquido, se presentará "flasheo".

Para evitar estas condiciones, el diseñador deberá considerar las siguientes tres opciones:

- Seleccionar una válvula con un coeficiente de recuperación mayor.
- Cambiar el diámetro de la tubería.
- Diseñar la válvula para una menor caída de presión normal.

Si no puede evitarse el "flasheo", la válvula deberá localizarse de tal manera que "flashee" dentro de un recipiente. Si no pueden evitarse ni el "flasheo" ni la cavitación, debe seleccionarse un tipo y material de válvula que resista estas condiciones.

Caída de Presión Suficiente para Control

Para que la caída de presión a través de la válvula sea suficiente para proporcionar un buen control, deberá estar arriba de cierto porcentaje de la caída de presión dinámica total del sistema. El sistema incluye tuberías, válvulas, accesorios, equipos, etc..

Para sistemas con bombas, la caída de presión normal deberá ser mayor o igual a la tercera parte de la caída de presión del sistema, o 15 psi, lo que sea mayor; la caída de presión del sistema incluye la caída de presión a través de la válvula de control.

Caída de Presión Máxima

La caída de presión máxima de la válvula debe obtenerse con un coeficiente de válvula corregido:

Si la viscosidad del fluido es mayor a 20 centistokes, deberá aplicarse un factor de corrección por viscosidad para obtener el coeficiente de la válvula corregido.

Si el coeficiente de recuperación de la válvula es menor o igual a 0.75 y la relación de diámetro de la válvula a diámetro de la tubería es menor o igual a 0.75, deberá aplicarse un factor de corrección por efectos de reducción para obtener el coeficiente de la válvula corregido.

El coeficiente de la válvula corregido por viscosidad y reducción se utiliza para determinar la caída de presión máxima de la válvula y los factores de corrección son reportados por los fabricantes.

FLUJO, CAPACIDAD Y ABERTURA DE DISEÑO DE VALVULAS DE CONTROL

Un proceso dado tiene un flujo normal de operación, sin embargo, para dimensionar una válvula deberá considerarse un sobrediseño con respecto al flujo.

La mayoría de los diseñadores consideran el flujo de diseño como un 30% mayor al flujo normal, o bien un 10% sobre el flujo máximo esperado, lo que sea mayor.

El flujo máximo debe escogerse realísticamente, y relacionarse cuidadosamente con la caída de presión disponible. Deberá ser el máximo requerido.

La razón de estos porcentajes, es que si se diseña la válvula para flujo normal, cuando se encuentre totalmente abierta, no podrá compensarse una caída de presión adicional en el sistema abriendo la válvula, y se perderá el control esperado.

La capacidad de la válvula debe ser de un 25 a 60% mayor al flujo máximo requerido.

Una aproximación alterna es la de duplicar el flujo normal esperado.

Al dimensionar la válvula de control, deberá considerarse que el flujo normal (bajo condiciones de presión normal), pasará por la válvula a una abertura del 60 al 80%, siempre y cuando el flujo máximo no exceda el 90% de la carrera total de la válvula.

Si esto ocurre, el flujo normal deberá considerarse para una abertura menor al 60%.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA CARACTERISTICA DE UNA VALVULA DE CONTROL

Los argumentos para seleccionar la característica de flujo adecuada para una válvula de control, no se encuentran bien definidos. La válvula ideal para la mayoría de las aplicaciones debe tener una característica tal que el circuito de control pueda conservar su estabilidad cuando varía la carga. La interpretación cuidadosa de lo anterior, es la clave para resolver el problema.

La controversia principal radica en la selección de características, lineal o igual porcentaje, puesto que son las dos características inherentes de las que generalmente se dispone para el control de procesos continuos.

La mayoría de los sistemas de control requieren características lineales. Por ejemplo, la estabilidad de sistemas de control de presión de gases, depende en gran medida del volumen de almacenamiento a controlarse, y no del flujo; asimismo, la estabilidad del control del nivel de líquidos, está determinada por el área superficial y el rango de nivel, y no por el flujo.

Existen muy pocos casos en los que el proceso por sí mismo, indica una característica de igual porcentaje para control óptimo. Se usa principalmente para ayudar a compensar las pérdidas por fricción de otros sistemas.

Paradójicamente, el uso de válvulas de igual porcentaje es mayor que el de las lineales.

Para resolver el problema práctico de seleccionar la característica de una válvula, deberán considerarse los siguientes factores.

- **Variación de Carga (caída de presión constante).** Para rangos de flujo de 3 a 1, la aplicabilidad de las válvulas de igual porcentaje (50 a 1), y de las válvulas de característica lineal, no varía prácticamente. Esta condición, que cubre la mayoría de las aplicaciones, puede utilizar cualquier tipo de válvula, aunque el dimensionamiento de una válvula de característica lineal, es muy crítico.
- **Caída de Presión Variable.** Casi todas las válvulas instaladas en líneas de descarga de bombas, o en serie con otros equipos de proceso, tienen una característica efectiva que difiere sustancialmente de las inherentes. En este caso, la válvula de igual porcentaje tiende a comportarse linealmente y la válvula lineal a comportarse como de abertura rápida. Definitivamente, la válvula de igual porcentaje es la mejor elección. Si las variaciones de cargas son pequeñas puede emplearse la válvula lineal, pero la selección del tamaño adecuado se dificulta. Generalmente se usan potenciales de flujo máximo muy grandes y caídas de presión muy pequeñas, al dimensionar la válvula. Una válvula lineal sobrediseñada es definitivamente inconveniente.
- **Estabilidad del Sistema.** Si el sistema de control es simple, la característica de la válvula es, relativamente, poco importante. La cuestión principal es, en todo caso, usar una válvula de cierre o abertura total, o un control proporcional. Cuando no pueden utilizarse estas opciones, pueden usarse válvulas de abertura rápida con una reducción importante en el costo.
- **No Linealidad del Sistema.** En teoría, la característica adecuada de la válvula de control, deberá producir un beneficio constante en el circuito de control a cualquier carga. El circuito incluye un elemento primario de medición que puede no ser lineal. Los ejemplos más comunes

de este caso, son, la celda de presión diferencial que se usa para medir flujo como una función de la raíz cuadrada de la caída de presión, y los sistemas térmicos de tipo presión de vapor. Estos pueden requerir características especiales para funcionar mejor en rangos de asentamiento amplios. Sin embargo, en sentido práctico, los requerimientos de proceso raramente justificarán un diseño tradicional.

- **Características Especiales.** Es posible producir válvulas con características especiales para sistemas específicos. Las modificaciones pueden ser en el diseño básico de la válvula, o bien lograrse mediante posicionadores equipados de leva.

Estos diseños son justificables sólo para sistemas extremadamente complejos, o cuando pueden producirse en grandes cantidades.

En resumen, para la mayoría de los procesos, particularmente en aplicaciones de control de presión o de nivel, las características de la válvula son relativamente poco importantes. La selección deberá basarse en válvulas construídas comercialmente y estandarizadas.

Para rangos de carga de 3 a 1, el funcionamiento de las válvulas lineales (dimensionadas adecuadamente) y de las válvulas de igual porcentaje, puede considerarse casi idéntico.

Una válvula lineal sobrediseñada puede ser muy inferior a una válvula de igual porcentaje igualmente grande.

Si la caída de presión a través de la válvula a condiciones de flujo máximo es menor al 25% de la caída de presión del sistema, y si se desea una característica instalada lineal, deberá emplearse una válvula de macho de igual porcentaje o una similar.

La mayoría de las válvulas caracterizadas disponibles en la industria, son de igual porcentaje. La elección primaria se basa en hechos prácticos. El uso

de características lineales se ha incrementado últimamente y continúa en expansión puesto que cada día se requieren datos de proceso más precisos para dimensionar y analizar sistemas.

Cuando se desea dimensionar una válvula de control, además de determinar el tipo de válvula, debe especificarse la característica requerida de la misma.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se presenta una guía de selección de características de flujo de válvulas de control, en función de la variable medida en el instrumento primario de medición que enviará la señal a la válvula, y de diferentes condiciones del sistema.^{5.2}

GUIA DE SELECCION DE CARACTERISTICAS DE FLUJO

Variable de Control	Condiciones	Característica Recomendada
Nivel	La caída de presión se incrementa en una relación de 2 a 1, o mas, con respecto al incremento en el flujo	Abertura rápida
	Cualquier otra condición	Lineal
Presión	Líquidos:	Igual porcentaje
	Flúidos compresibles:	
	Sistema rápido - bajo volumen corriente abajo (generalmente menos de 10 ft de tubería); la presión se incrementa rápidamente	Igual porcentaje
	Sistema lento - generalmente mas de 100 ft de tubería corriente abajo	Lineal
	La caída de presión varía en una proporción de 5 a 1, o mas, para sistema rápido o lento	Igual porcentaje
Flujo	El elemento de medición se encuentra en serie con la válvula	Lineal
	El elemento de medición se encuentra en un ramal:	
	Instrumento de medición lineal	Lineal
	Instrumento de medición cuadrático inverso	Igual porcentaje
	Rango de flujo pequeño; rango de caída de presión grande	Igual porcentaje

VELOCIDADES DE DISEÑO DE VALVULAS DE MARIPOSA

En general, el dimensionamiento de válvulas está limitado sólo por la presión nominal especificada. Dentro de los requerimientos estándares de diseño, no se consideran las cargas dinámicas especiales producidas por el paso del flujo a través de los diferentes tipos de válvulas. En el caso de válvulas para cierre hermético tales como las de compuerta y las de mariposa, la adaptación necesaria para funcionamiento de estrangulamiento o control, no puede lograrse mediante el diseño. Las válvulas de compuerta y de mariposa no son convenientes para un servicio pronunciado de estrangulamiento y control, sino que, debido a la baja caída de presión permanente que producen, son ideales para servicio de cierre o abertura total.

No obstante, estas válvulas pueden ser convenientes para servicios de estrangulamiento en períodos cortos, como por ejemplo durante el cierre de una tubería rota. Sin embargo, cuando se dimensionan para ese propósito, los límites que resultan de la cabeza de energía, deben considerarse.

Para válvulas de mariposa, las velocidades de diseño, referidas al diámetro nominal de la válvula, son:^{5.8}

PN 25	7.5 m/seg	(25 ft/seg)
PN 16	5.0 m/seg	(16.5 ft/seg)
PN 10	4.0 m/seg	(13 ft/seg)
PN 4	2.5 m/seg	(8 ft/seg)
PN 2.5	2.0 m/seg	(6.5 ft/seg)

DETERMINACION DEL RANGO DIFERENCIAL PARA MEDICION DE FLUJO DE LIQUIDOS

El rango diferencial más común para medición de líquidos, es de 0 a 100 pulgadas de agua. Este rango es lo suficientemente alto para minimizar los errores causados por cabezas desiguales en las cámaras de sello, diferencias en las temperaturas de las líneas de conexión de las tomas de presión, etc.. La caída de presión máxima posible, de alrededor de $3\frac{1}{2}$ psi (menos, si el elemento primario tiene una recuperación de presión apreciable), generalmente no constituye un problema de gasto de potencia de bombeo. El rango de 100 pulgadas permite, un incremento en capacidad de hasta 400 pulgadas de rango, y una disminución de hasta 20 pulgadas de rango, con algunos ajustes sencillos.

Existen pocas aplicaciones en las que la presión disponible es insuficiente para que el fluido pase a través de un orificio diseñado para un rango de 100 pulgadas. En estos casos puede usarse un rango diferencial menor; en lugar de una placa de orificio, puede emplearse un tubo de baja caída (lo-loss), para mantener la caída de presión dentro de los límites permitidos. La caída de presión nunca podrá exceder la diferencia entre la presión de suministro y la presión requerida para el flujo.

Rangos muy pequeños, de $2\frac{1}{2}$ pulgadas de agua, o muy altos, de 2000 pulgadas de agua, de presión diferencial, pueden usarse en condiciones especiales, pero usualmente los mejores resultados se obtienen con rangos entre 20 y 400 pulgadas de agua.

RECOMENDACIONES PARA DIMENSIONAR PLACAS DE ORIFICIO DE BORDES RECTANGULARES

Para obtener resultados satisfactorios en el funcionamiento de placas de orificio concéntrico de bordes rectangulares, es conveniente considerar las siguientes recomendaciones.

- El espesor de la placa no deberá exceder ninguno de los siguientes límites: $d/8$, $D/50$, $(D-d)/8$, en la porción cilíndrica, siendo d el diámetro del orificio y D el diámetro de la tubería. El espesor de la placa es de $1/8$ a $1/2$ pulgada, normalmente es de $1/8$ para diámetros de tubería de $1\frac{1}{2}$ a 12 pulgadas, de $1/4$ para diámetros de tubería de 12 a 14 pulgadas y de $1/2$ para tuberías de más de 14 pulgadas.
Si se requiere una placa más gruesa por rigidez, la cara externa deberá biselarse para lograr la dimensión deseada. El biselado deberá ser tal que forme un ángulo menor de $45^\circ \pm 2^\circ$ con respecto al eje de la tubería y el espesor del bisel deberá ser de $1/32$ para líneas de $1\frac{1}{2}$ a 3 pulgadas; de $1/16$ para líneas de $3\frac{1}{2}$ a 6 pulgadas; para líneas de 8 pulgadas o más, no es necesario biselar.
- El borde de entrada deberá ser lo más rectangular y filoso posible. Cualquier redondez no deberá exceder un 0.025% del diámetro del orificio para lograr mediciones que varíen en un porcentaje menor al 0.1%.
- La cara de entrada deberá ser, por lo menos, tan lisa como una buena placa rolada comercial.

- El orificio de la placa deberá estar centrado dentro de la tubería, de manera que la excentricidad sea menor al 3% del diámetro de la tubería.

Estas recomendaciones aseguran la obtención de ventajas como repetibilidad, bajo costo, fácil instalación y desmonte, y alta precisión.

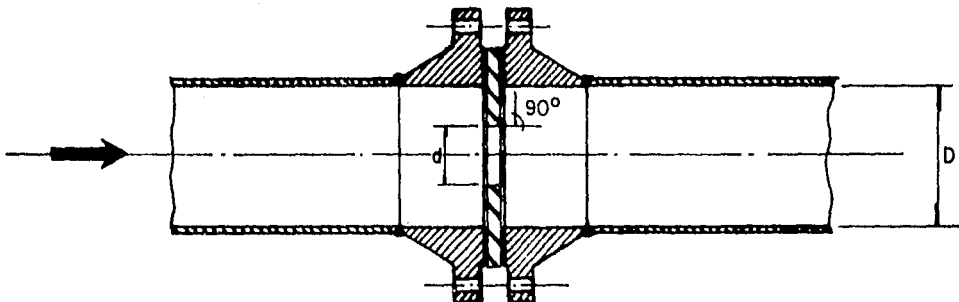
DIMENSIONES RECOMENDADAS DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION

PLACAS DE ORIFICIO

Anteriormente se presentaron las recomendaciones para dimensionar placas de orificio de bordes rectangulares, la única dimensión que faltó mencionarse, y la más importante seguramente, es el diámetro del orificio con respecto al diámetro de la tubería. Esta dimensión, conocida comúnmente como β , debe estar entre 0.3 y 0.7, para provocar una caída de presión adecuada para medición.

Este rango puede modificarse. Algunos autores consideran un buen rango para β , de 0.2 a 0.6, otros consideran de 0.25 a 0.75. De cualquier forma, si se elige un rango de 0.3 a 0.6, siempre se estará de acuerdo con las diferentes opiniones al respecto.

Las placas de orificio más usadas son las de bordes rectangulares, con ángulos rectos, como se muestra en la figura siguiente.



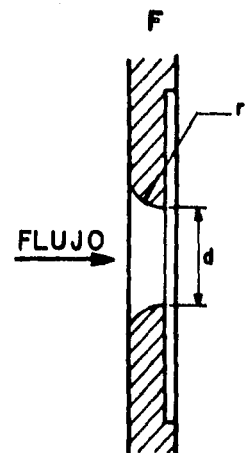
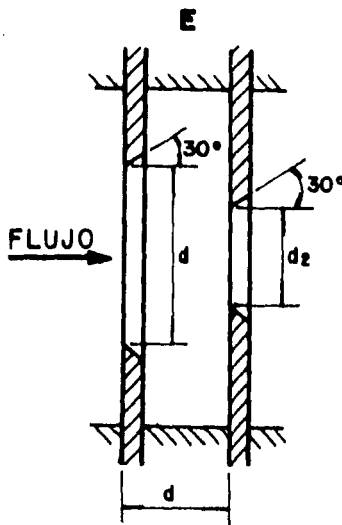
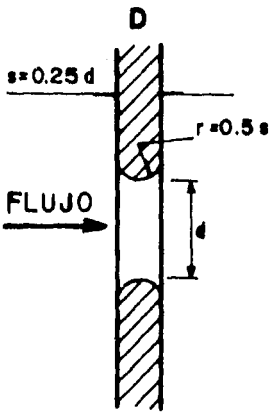
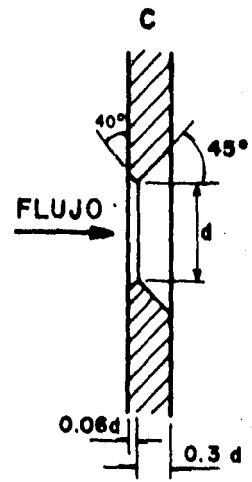
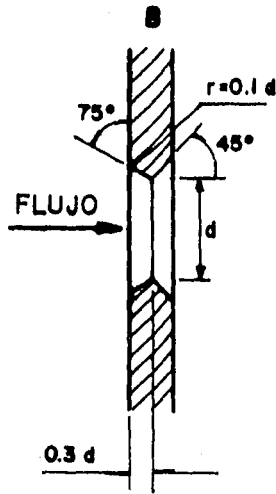
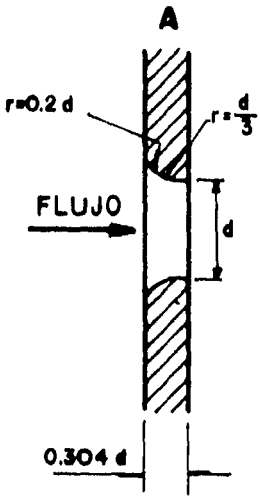
PLACA DE ORIFICIO CONCENTRICO DE BORDE RECTANGULAR

Sin embargo, cuando se opera a números de Reynolds bajos, un orificio concéntrico de bordes rectangulares, puede disminuir su diferencial a medida que aumenta la viscosidad del fluido.

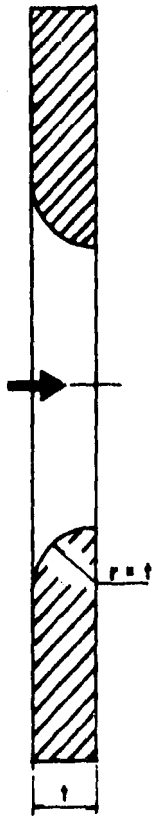
Para lograr que el coeficiente de descarga del orificio no se vea modificado aún a números de Reynolds tan bajos como 300, se han diseñado orificios con bordes diferentes a los rectangulares.

A continuación se presentan dos figuras en las que se muestran los diferentes tipos de orificios y dimensiones recomendadas, usados para proporcionar un coeficiente de descarga constante, cuando se tienen números de Reynolds bajos.

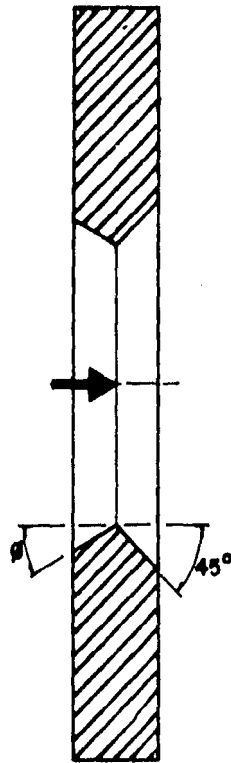
5.7 ; 5.1



PLACA DE ORIFICIO DE BORDES ESPECIALES PARA
NUMEROS DE REYNOLDS BAJOS.

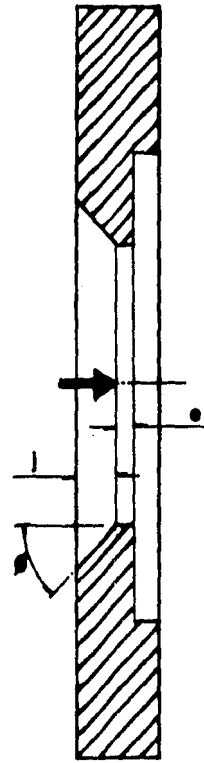


**BORDE
CUADRANTE**



**DOBLE
BISEL**

$$10^\circ < \beta < 80^\circ$$



**ENTRADA
CONICA**

$$31^\circ < \beta \leq 45^\circ$$

$$e = (f) D$$

$$j = (f) D$$

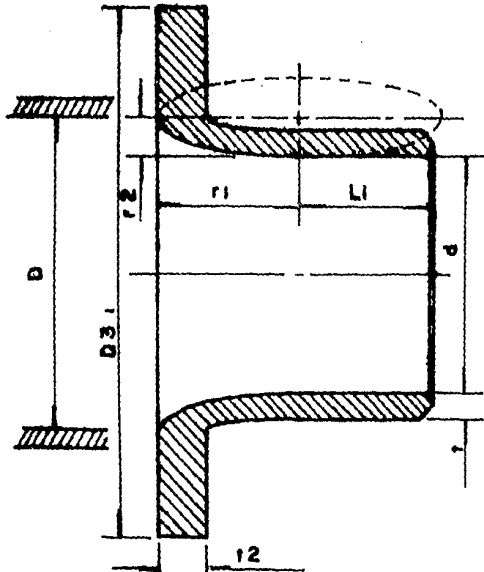
**OTRAS FORMAS ESPECIALES DE ORIFICIOS PARA
MEDICION A BAJOS NUMEROS DE REYNOLDS.**

TOBERAS

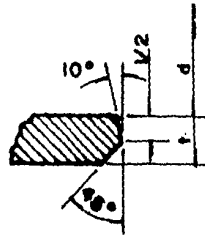
De las diferentes formas de toberas que existen, la más recomendable es la tobera de radio largo o entrada elíptica, en la cual, la curvatura de la entrada a la garganta de la tobera es el cuadrante de una elipse.

En la figura que se muestra a continuación, se indican las proporciones de la elipse con respecto al diámetro de la tubería y de la garganta.^{5.1}

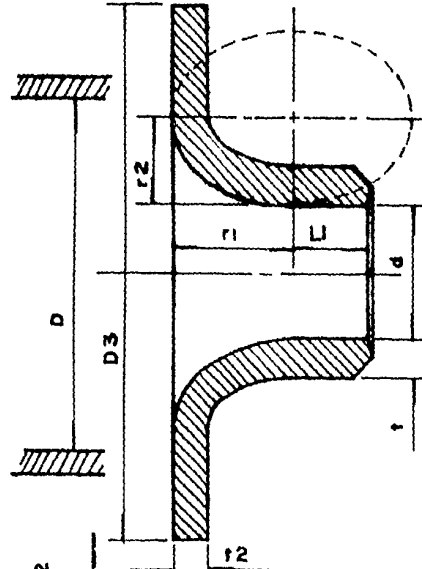
Para las toberas de β alta, con relación de diámetros entre 0.45 y 0.8, la curvatura de entrada es el cuadrante de una elipse con un semieje mayor de $\frac{1}{2}D$, y un semieje menor de $\frac{1}{2}(D-d)$. Para las toberas de β baja, recomendadas para relaciones de diámetros abajo de 0.5, el semieje mayor es igual al diámetro de la garganta, d , y el semieje menor es de $\frac{5}{8}d$ a $\frac{2}{3}d$. La longitud de la sección cilíndrica de la garganta, para las toberas de alta β , deberá ser de $0.6d$ o $\frac{1}{3}D$, lo que sea menor. Para las toberas de baja β , la longitud de la garganta deberá estar entre $0.6d$ y $0.75d$, cuando se usen tomas de tubería, y de $0.75d$ cuando la tobera tenga tomas de garganta.



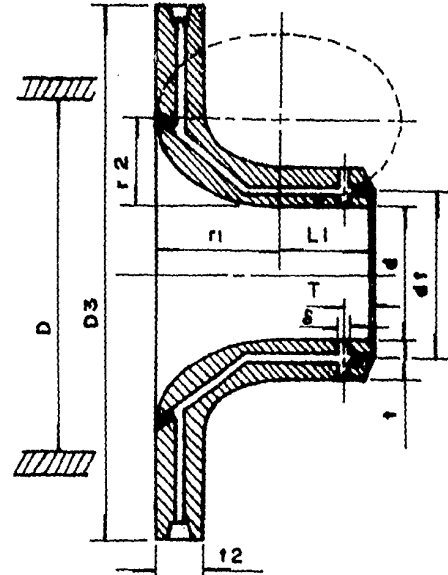
TOBERA DE B ALTA $\beta \geq 0.45$
 $r1 = 1/2 D$
 $r2 = 1/2 (D-d)$
 $L1 \geq 0.6d$ o $\geq 1/30$
 $2t \geq D - (d + 1/8")$
 $1/8" \geq 12 \geq 0.15D$



DETALLE DE LA SALIDA DE LA TOBERA



TOBERA DE B BAJA $\beta \geq 0.5$
 $r1 = d$
 $5/8 d \leq r2 \leq 2/3 d$
 $0.6 d \leq L1 \leq 3/4 d$
 $1/8" \leq t \leq 1/2"$
 $1/8" \leq 12 \leq 0.15D$



TOBERA DE B BAJA CON TOMAS DE GARGANTA
 $r1 = d$
 $5/8 d \leq r2 \leq 2/3 d$
 $L1 = 3/4 d$
 $d1 = 1/4 d$
 $t = 1/4 d$
 $12 = 1 1/2"$
 $1/8" \leq d \leq 1/4"$
 $T = 1/4 d$

PROPORCIONES RECOMENDADAS DE TOBERAS ASME DE RADIO LARGO

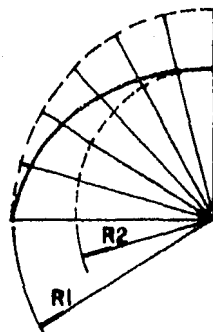
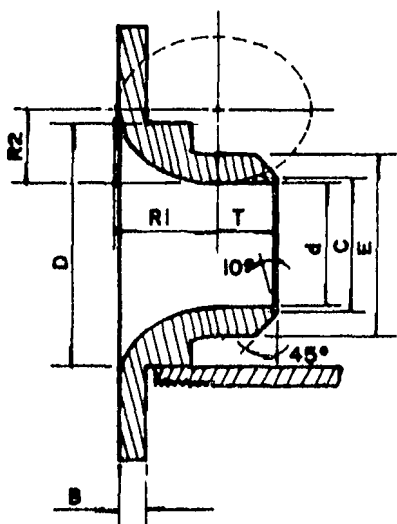
Una variación de las toberas ASME, es la tobera con arco elíptico incompleto, que tiene una ventaja importante desde el punto de vista de fabricación, puesto que puede usarse la misma curvatura para un amplio rango de relaciones de diámetros (β).

A continuación se muestra este tipo de tobera.^{5.7}

PARA $d/D > 0.5$

$R1 = 0.375D$

$R2 = 0.250D$



PARA $d/D < 0.5$

$R1 = 0.525D$

$R2 = 0.350D$

d = DIAMETRO DE LA GARGANTA
 D = DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA

$E = 2B + d$

$C = \frac{E-d}{3} + d$

$T = 0.4d$

$B = 1/4"$ PARA TOBERAS DE HASTA 5"

$3/8"$ PARA TOBERAS DE 6" A 16"

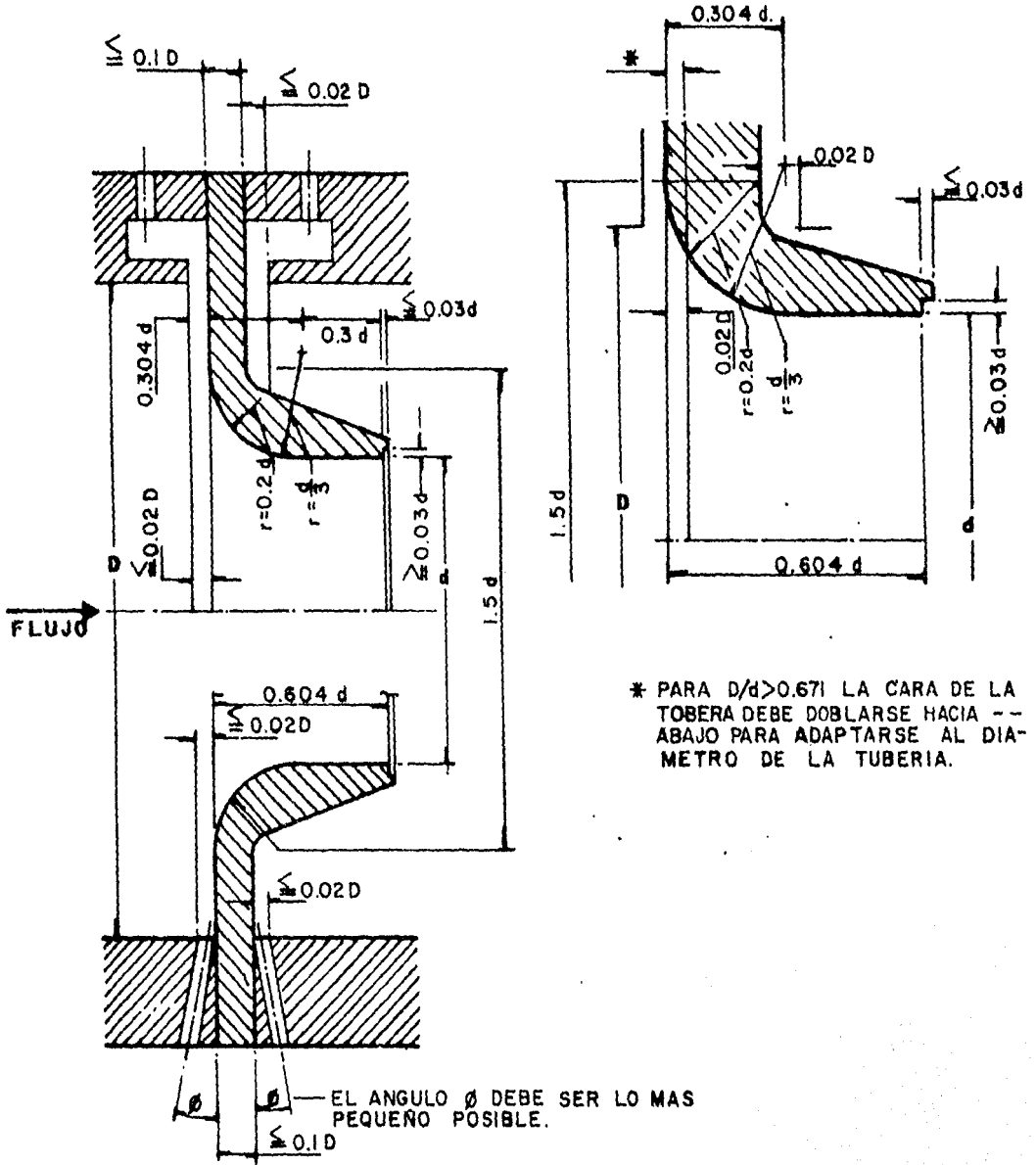
$1/2"$ PARA TOBERAS DE 18" A 24"

TOBERA CON ARCO ELIPTICO INCOMPLETO

En la figura que se presenta a continuación, se muestran la forma y las proporciones, de la tobera adoptada en 1932 por la International Standards Association (ISA).^{5.1}

Esta tobera esta formada por una entrada de campana compuesta por dos arcos circulares de radios diferentes. Su característica más relevante es que las tomas de presión se localizan inmediatamente antes y después de la brida de la tobera, focalización llamada normalmente tomas de brida.

NOTA: La International Standards Association (ISA), también conocida como International Federation of National Standardizing Organizations (IFNSO), cambió su nombre a International Standards Organization (ISO). Sin embargo, el término "Tobera ISA", permaneció por costumbre. En la actualidad, las siglas (ISA), identifican a la Instruments Society of America.



TOBERA I.S.A.

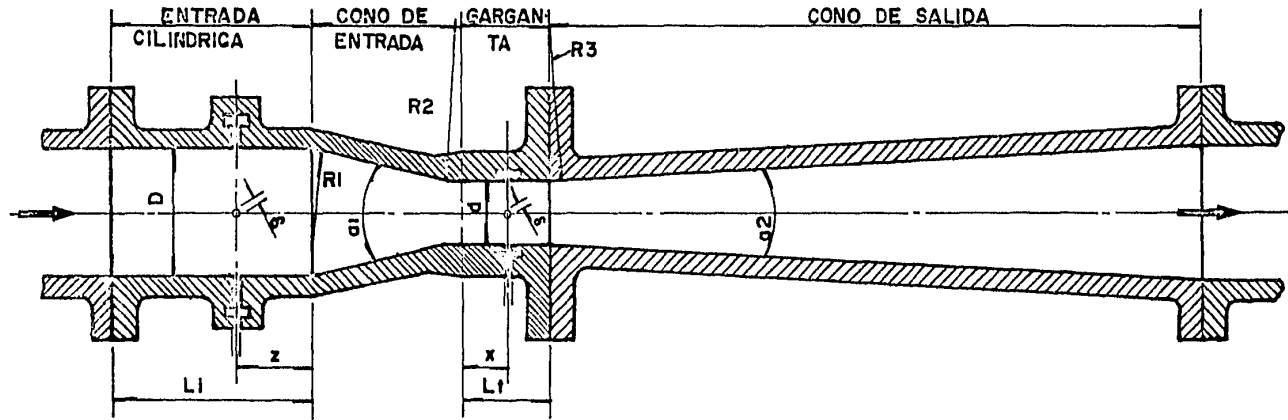
(INTERNATIONAL FEDERATION OF NATIONAL STANDARIZING ORGANIZATIONS)

VENTURIS

El medidor venturi estándar tipo Herschel, consiste en una longitud corta de tubería recta, conectada a la línea mediante secciones cónicas.

La sección de entrada consiste en una porción cilíndrica unida mediante una curvatura suave, a un cono truncado que tiene un ángulo de $21^\circ \pm 1^\circ$. El cono de entrada se une mediante una curva suave, a una sección cilíndrica corta, denominada garganta que tiene una longitud mayor o igual a un tercio de su diámetro. La salida de esta garganta se conecta por otra curva suave, al cono de salida, el ángulo recomendado del cual, es de 7° a 8° , aunque puede llegar a 15° .

A continuación se presenta una figura, en la que se muestran las dimensiones recomendadas para un medidor venturi clásico.^{5.1}

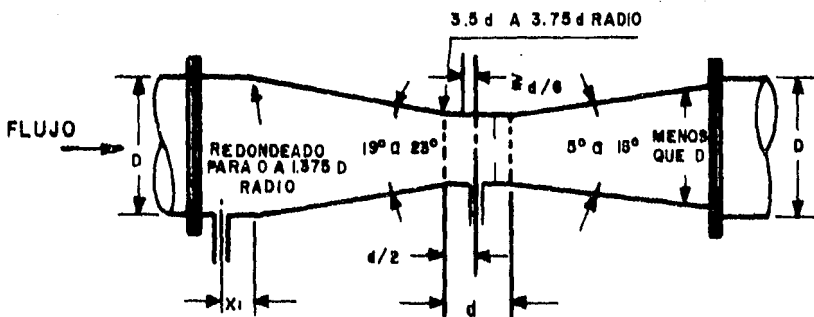


$L1 \geq D$ o $L1 \geq (D/4 + 10")$
 $z \geq D/2 \pm D/4$ para $4" \leq D \leq 6"$
 $D/4 \leq z \leq D/2$ para $6" \leq D \leq 32"$
 $L1 \geq d/3$
 $y \geq d/3$
 $5/32" \leq \delta \leq 25/64"$ y
 $\delta < 0.1D$ o $0.13d$

$R1 = 1.375 D \pm 20\%$
 $R2 = 3.625 d \pm 0.125 d$
 $5d \leq R3 \leq 15d$
 $\alpha_1 = 2^\circ \pm 1^\circ$
 $7^\circ \leq \alpha \leq 8^\circ$ o $7^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$

DIMENSIONES RECOMENDADAS DEL MEDIDOR DE VENTURI CLASICO TIPO HERSCHEL

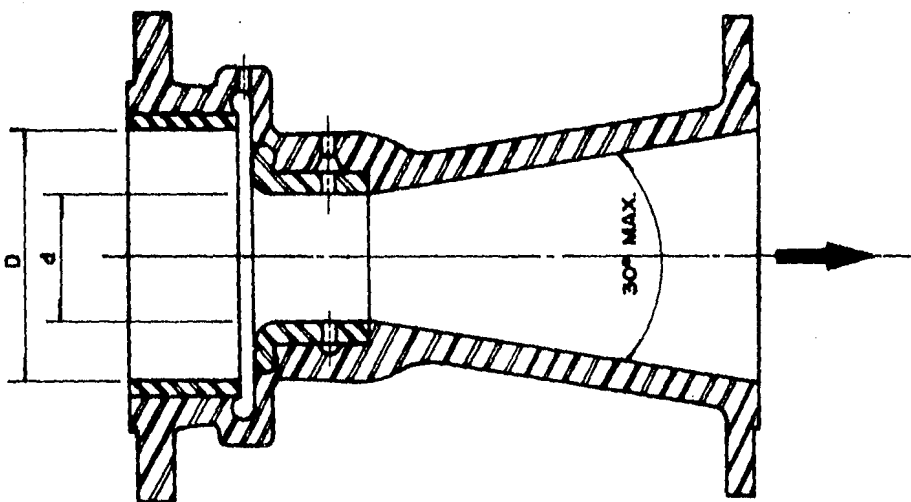
Cuando el ángulo del cono de salida del venturi es menor o igual a 7.5° , se tiene un venturi largo; cuando este ángulo es mayor a 7.5° , se tiene un venturi corto. No se recomiendan ángulos de salida de más de 15° , por la recuperación de presión. Cuando se dispone de poco espacio para el venturi y se desea tener una caída de presión mínima, es conveniente usar un venturi de cono de salida truncado al 65% o 75% como se muestra en la figura siguiente.^{5.7}



VENTURI TRUNCADO

TOBERA-VENTURI

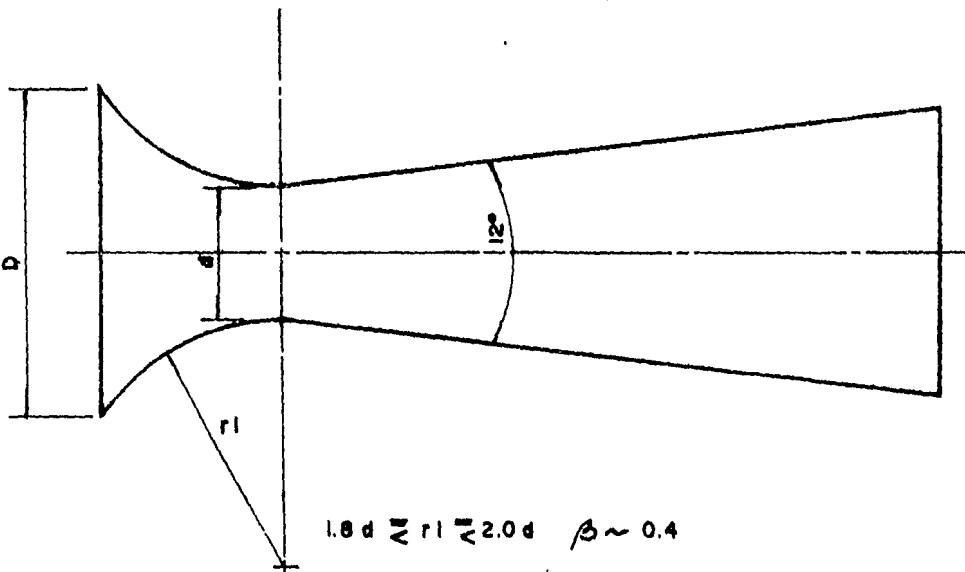
En la tobera-venturi, la entrada cilíndrica y el cono de entrada, del venturi clásico, se sustituyen por una sola entrada curvada corta. La curvatura de la sección de entrada, es la misma de la tobera ISA, y tiene una sección cilíndrica adicional de $0.4 d$ de longitud, antes de la entrada al cono de salida, por lo tanto, la longitud total de la garganta cilíndrica, es de $0.7 d$. El ángulo del cono de salida puede ser de 30° o menos, como se muestra en la figura siguiente.^{5.1}



TOBERA-VENTURI

Una variación del dispositivo anterior, es el venturi de entrada radial, aplicable para flujo sónico si es importante tener una caída de presión mínima. Nuevamente, el cono de entrada y la garganta cilíndrica, se sustituyen por una sola entrada curvada, que se conecta directamente al cono de salida, el cual debe tener un ángulo de 12° , como se muestra en la figura siguiente.^{5.1}

Este venturi de entrada radial se conoce también como tubo lo-loss.



VENTURI DE ENTRADA RADIAL

BIBLIOGRAFIA capítulo cinco

- 5.1 ASME Research Committee on Fluid Meters
FLUID METERS, THEIR THEORY AND APPLICATION, 6th Ed.
The American Society of Mechanical Engineers
New York, 1971.
p. 73, 217, 227, 231, 232, 234
- 5.2 Carey, James A.; Hammitt, Donn
HOW TO SELECT LIQUID-FLOW CONTROL VALVES
Chemical Engineering, April 3, 1978.
- 5.3 Chalfin, Sanford
SPECIFYING CONTROL VALVES
Chemical Engineering, October 14, 1974.
- 5.4 Considine, Douglas M.
PROCESS INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK, 2nd Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1974.
p. 19-43, 19-44, 19-59, 19-60
- 5.5 Gas Processors Suppliers Association
ENGINEERING DATA BOOK, 9th Ed.
Gas Processors Suppliers Association
Tulsa, 1979.
p. 1-3, 1-6, 2-5, 2-6
- 5.6 Perry, Robert H.; Green, Don W.
PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 6th Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1984.
p. 5-12, 5-13

5.7 Spink, Leland K.

PRINCIPLES AND PRACTICE OF FLOW METER ENGINEERING, 9th Ed.

The Foxboro Company

Foxboro, 1975.

p. 14, 17, 18, 19, 20, 138, 139

5.8 Warring, R.H.

HANDBOOK OF VALVES, PIPING AND PIPELINES, 1st Ed.

Gulf Publishing Company

Houston, 1982.

p. 236

5.9 Información técnica obtenida mediante entrevistas.

**CRITERIOS APLICADOS A SISTEMAS
ESPECIFICOS DE TUBERIAS**

CAPITULO SEIS

CRITERIOS APLICADOS A SISTEMAS ESPECIFICOS DE TUBERIAS

Los sistemas específicos de tuberías están presentes en todas las plantas de proceso y de hecho, su definición es un poco arbitraria. Se puede considerar un sistema específico en base a la posición de la tubería con respecto a los demás elementos del proceso, en base a la forma de la tubería o bien en base al fluido de proceso.

En los capítulos anteriores, la presentación de los criterios heurísticos se enfocó a los criterios en sí, sin referirse específicamente a un tipo de tubería.

En este capítulo la forma de presentación es diferente, dado que los criterios que se presentan aquí, tienen una aplicación explícita a un tipo de sistema específico.

Los sistemas tratados son diversos, desde tuberías alrededor de diferentes equipos e instrumentos, hasta sistemas que manejan fluidos especiales, como son las suspensiones. Se incluyen también criterios aplicados al diseño de distribuidores (tubería perforada).

El presentar estos criterios por separado es meramente por motivos de estructuración, de hecho podrían incluirse dentro de los capítulos anteriores, pero se perdería, en cierto sentido, la unicidad de las recomendaciones, que es lo que aquí se desea recalcar.

CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS DE SUCCION DE BOMBAS

Cuando se diseñan tuberías de succión, el ingeniero debe lograr que haya una operación confiable.

La tubería de succión consiste, en general, de una toma, una o dos secciones de tubería horizontales y verticales, una válvula de bloqueo, una codo y un codo de conexión antes del acoplamiento final a la boquilla de succión de la bomba. Cada una de estas partes debe diseñarse y localizarse de tal manera que se eviten bolsas de aire y vaporizaciones. Las bombas centrífugas requieren flujo libre de vapor en la línea de succión a la entrada de las aspas del impulsor para operar satisfactoriamente. Las bombas reciprocantes lo requieren inmediatamente después de la válvula de entrada. Una bomba centrífuga no puede bombear mezclas líquido-vapor. Una bomba de desplazamiento positivo puede bombear líquidos que contengan vapor pero su eficiencia se reduce considerablemente, aun cuando el porcentaje de vapor sea muy pequeño.

Tanto en la línea de succión como en la bomba, la presión mínima no debe ser menor que la presión de vapor del líquido a la temperatura de flujo. El punto de menor presión en una bomba se encuentra justo antes de las aspas del impulsor. Si en este punto la presión es menor a la presión de vapor del líquido, se forman burbujas de vapor. Después, estas burbujas se colapsan debido al rápido incremento de presión que ocurre dentro del impulsor. Este fenómeno se llama cavitación y puede ocasionar ruido, vibración, desgaste en el impulsor y rupturas.

Para evitar la cavitación, los fabricantes de bombas requieren una presión de succión positiva que se llama "Net Positive Suction Head" (NPSHr). Este NPSHr es la presión arriba de la presión de vapor del líquido a bombearse, medida en la brida de succión de la bomba con un manómetro colocado en la línea central de la bomba. El NPSHr es la presión necesaria para superar las pérdidas de presión por fricción y turbulencia entre la boquilla de succión y la entrada al impulsor y se da usualmente en términos de cabezas de agua sobre las curvas cabeza-capacidad de las bombas.

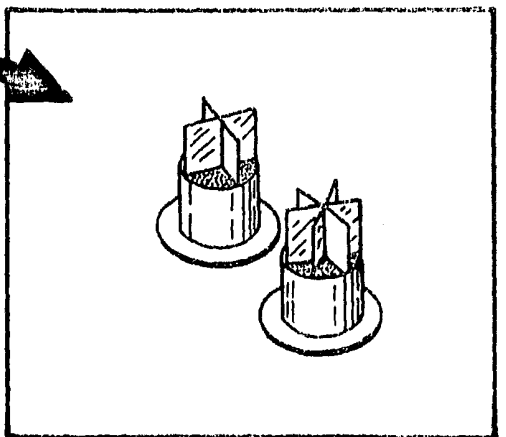
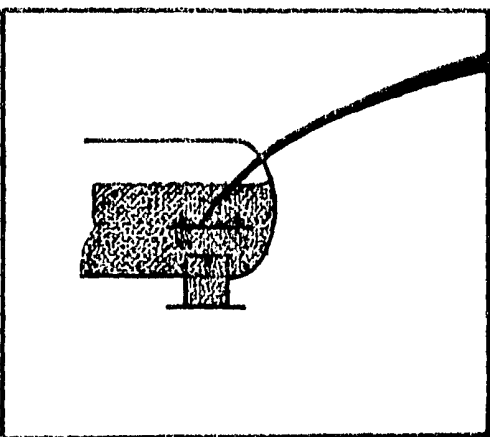
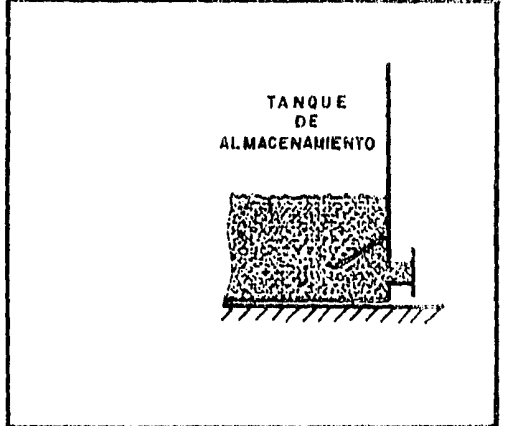
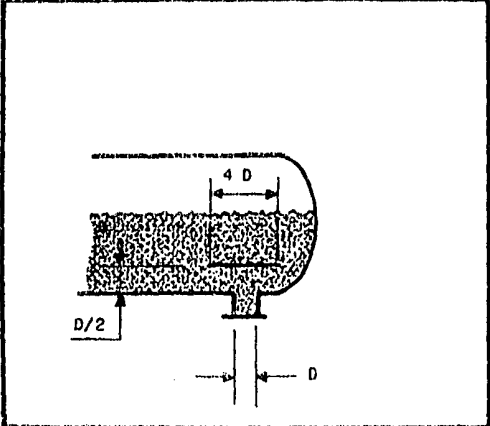
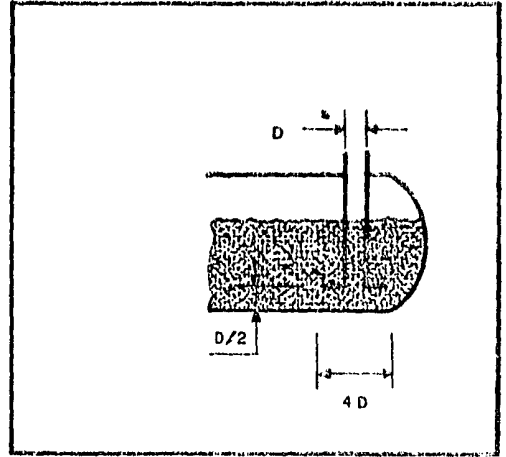
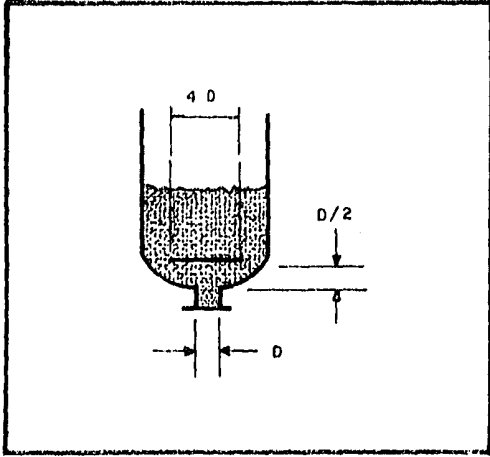
El NPSHr para una bomba es directamente proporcional al flujo y se incrementa notablemente con la velocidad de rotación del impulsor.

El NPSHa (Available Net Positive Suction Head) es la energía potencial disponible de una instalación, expresada en pies de cabeza de líquido.

Para obtener una operación confiable de la bomba, el NPSHa debe ser igual o mayor al NPSHr. Por lo tanto, cuando se manejan líquidos saturados, el equipo de proceso debe elevarse por lo menos a una altura igual a la suma del NPSHr de la bomba, más las pérdidas de cabeza por fricción en la línea de succión.

La toma de succión debe dimensionarse adecuadamente para ayudar a prevenir la formación de vórtices. Esta toma se dimensiona de tal forma que la velocidad del fluido esté entre 1 y 6 ft/seg. En aplicaciones típicas de proceso, la toma es de 2 a 6 pulgadas y la velocidad del fluido oscila entre 1 y 4 ft/seg. Para tomas muy grandes la velocidad se encuentra entre 3 y 6 ft/seg.

Un dispositivo conocido como rompedor de vórtices, elimina la posibilidad de entrada de aire o vapor hacia la bomba. En la figura que se muestra a continuación, se indican los rompedores de vórtices típicos y sus aplicaciones.^{6.9}



ROMPEDORES DE VORTICES EN RECIPIENTES DE PROCESO TIPICOS.

Como una regla, las líneas de succión de bombas de proceso deben mantenerse lo más cortas y simples como sea posible. Sin embargo, en muchos casos las líneas de succión pueden complicarse debido a elevaciones del recipiente, requerimientos de flexibilidad para líneas calientes, y por la localización de la bomba. Las líneas de succión no deben contener "loops" ni bolsas. El aire o el vapor puede colectarse en un "loop" y el ensuciamiento puede acumularse en una bolsa.

Cuando el nivel del líquido en el recipiente de succión es mayor que el de la bomba, la línea de succión debe tener una válvula de bloqueo.

Usualmente se coloca una coladera temporal o permanentemente entre la válvula de bloqueo y la bomba en un tramo recto de la línea de succión. No debe usarse una coladera de tipo esquinado localizada en la boquilla de succión de la bomba porque su resistencia puede provocar una caída de presión en un punto en el que es lo menos deseable.

Cuando se manejan líquidos saturados, el recipiente de succión y la toma deben colocarse en una posición elevada para satisfacer los requerimientos del NPSHr, más una distancia igual a la altura estática de las pérdidas en la línea. Como ya se ha dicho, la presión mínima en cualquier punto de la línea no debe ser menor a la presión de vapor del líquido a la temperatura de flujo.

El colocar una tubería horizontal inmediatamente después de la toma, es indeseable porque la presión se reduce gradualmente en la tubería y puede provocarse la vaporización del líquido. Asimismo, con un nivel de líquido muy bajo en el tanque, la cabeza estática disponible puede no ser suficiente para compensar las pérdidas de presión en la salida del tanque y en la tubería, sobretodo cuando se manejan líquidos ligeros y volátiles.

Un segmento de tubería horizontal después de una tubería vertical, no es tan malo debido a que existe una cabeza estática disponible antes de la tubería horizontal. En un tramo de tubería vertical, la energía potencial es usualmente mayor a la energía que puede consumirse por fricción, por lo tanto, cuando se bombean líquidos calientes, se recomienda el uso de un tramo de tubería vertical después de la toma, sobretodo si se trabaja con hidrocarburos ligeros.

Cuando se tienen dos bombas en paralelo, es importante que la tubería de succión de cada una, sea independiente de la de la otra, ya que si se tiene una tubería común, la presión de succión de una bomba afectará a la otra. Además, la tuberías de succión de las bombas, deben ser simétricas para minimizar este efecto.

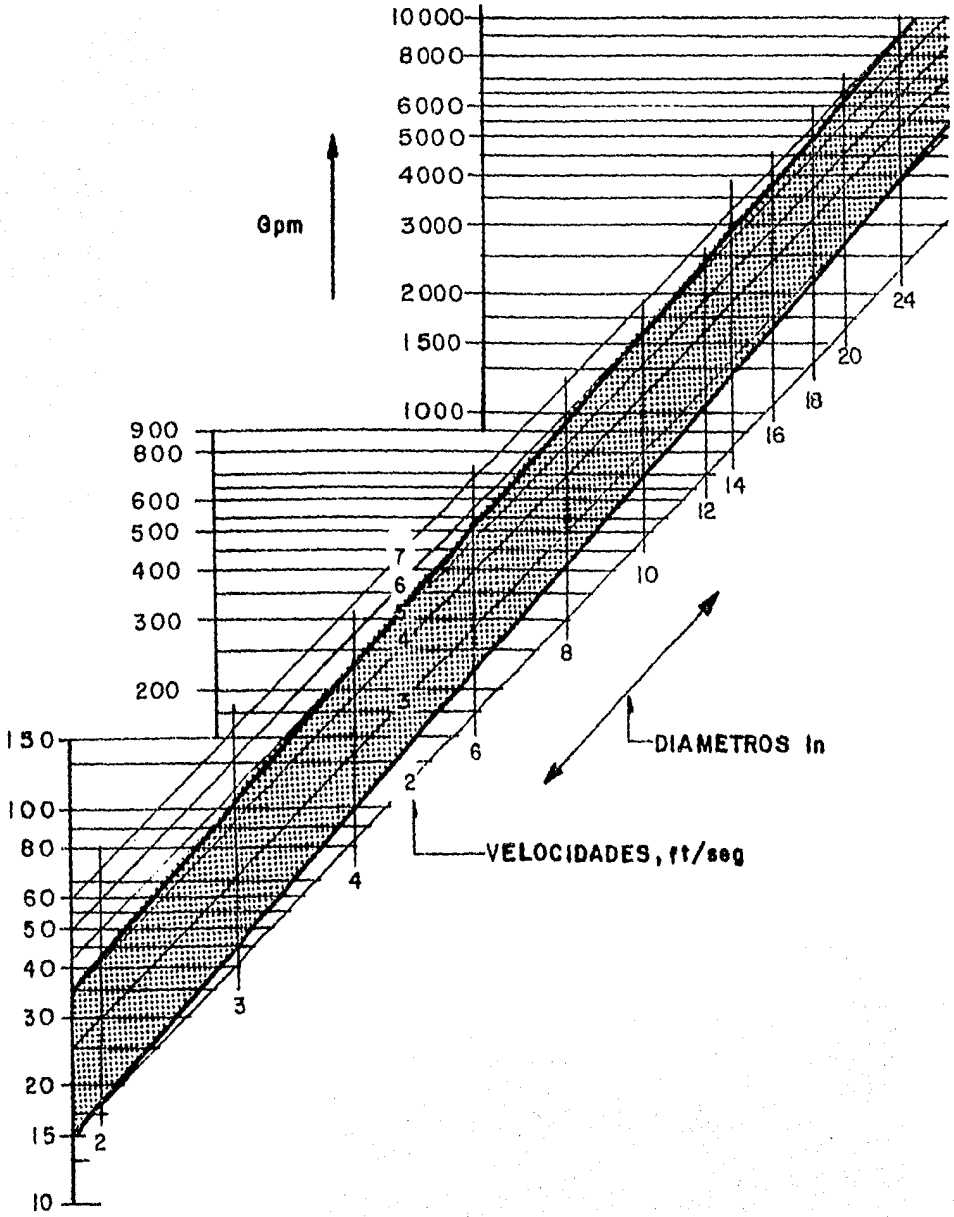
En la figura que a continuación se presenta, se dan datos para dimensionar tuberías de succión. **6.6**

Los diámetros deben seleccionarse dentro de la porción sombreada de la gráfica.

Normalmente, la elección está limitada a un solo tamaño, para tuberías de hasta doce pulgadas; y a dos o tres tamaños, para diámetros mayores.

Los diámetros estimados a partir de la figura, están basados en velocidades recomendadas para dar un flujo libre de vapor.

Para líquidos viscosos se requieren diámetros mayores a los que se muestran; y para agua o hidrocarburos subenfriados en tanques elevados, el diámetro puede ser menor que el que se muestra; sin embargo, para diámetros pequeños, no es práctico reducir el tamaño.



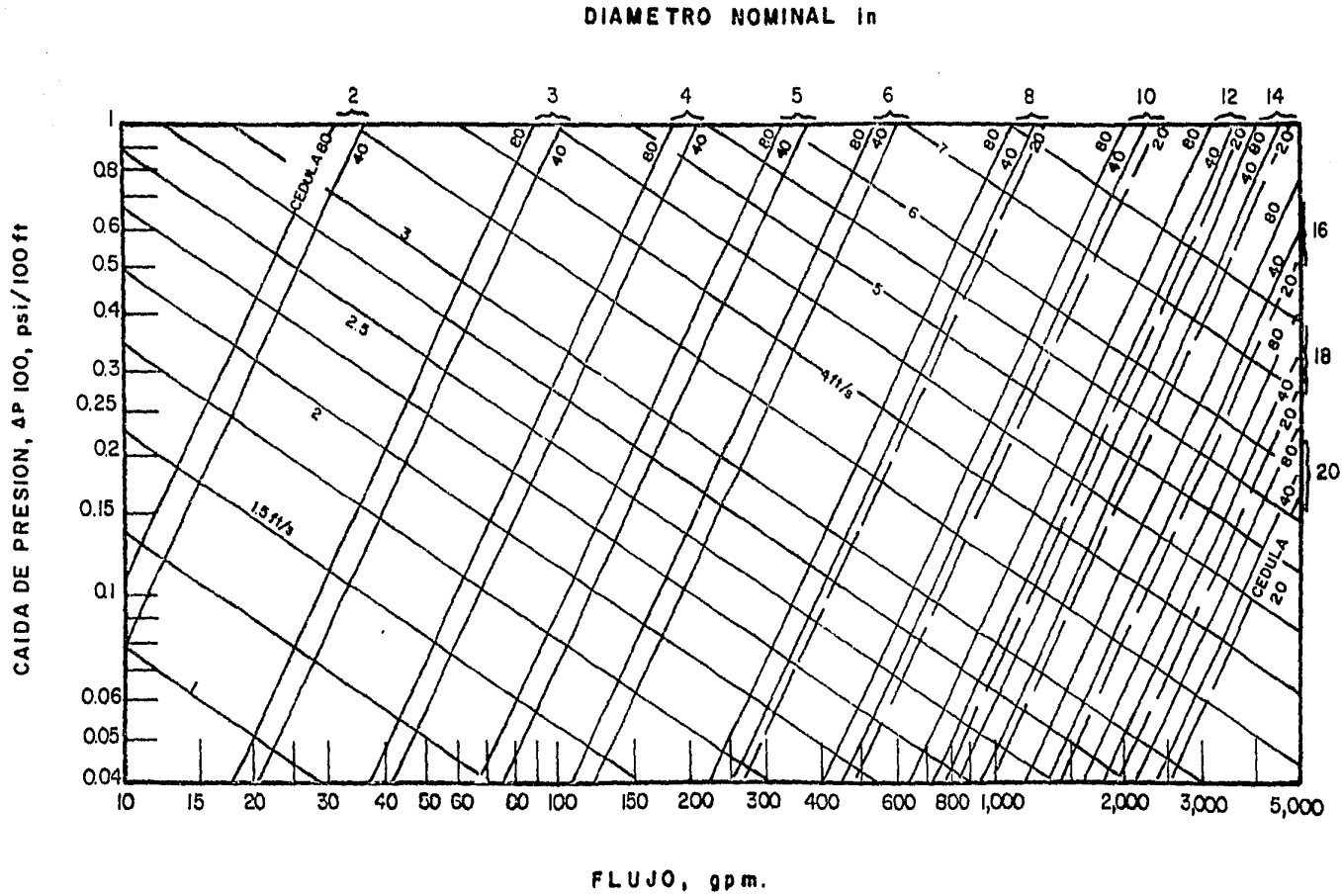
DATOS PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE SUCCION DE BOMBAS

El diámetro de una tubería de succión, generalmente es de uno a dos diámetros nominales mayor que el diámetro de la boquilla de succión de la bomba. Nunca debe usarse una tubería de succión de diámetro menor al de la boquilla de succión de la bomba. La caída de presión total en la línea de succión puede estimarse entre 1 y 3 pies de cabeza de líquido. Las velocidades oscilan entre 2 y 8 ft/seg; para líquidos viscosos, la velocidad es de 0.5 a 4 ft/seg.

La figura que se muestra a continuación, es una resolución gráfica de la ecuación de Darcy, para una densidad relativa de 1 y un factor de fricción de flujo totalmente turbulento.^{6,9}

La figura está dibujada para el rango de diámetros prácticos de tuberías de succión. Las pérdidas de presión unitarias pueden estimarse en un rango de 0.05 a 0.5 psi por cada 100 ft de longitud de tubería, para líquidos saturados; y de 0.5 a 1.0 psi/100 ft, para líquidos subenfriados.

Los valores de $\Delta P/100$ obtenidos de la gráfica, pueden corregirse si la densidad relativa es diferente de 1 y si el factor de fricción cae dentro del régimen transicional, lo único que debe hacerse es multiplicar el valor de la gráfica por la densidad relativa real y por la relación de factores de fricción, factor de fricción real entre factor de fricción para completa turbulencia.



**RESOLUCION GRAFICA DE LA ECUACION DE DARCY,
RANGO PRACTICO PARA TUDERIAS DE SUCCION**

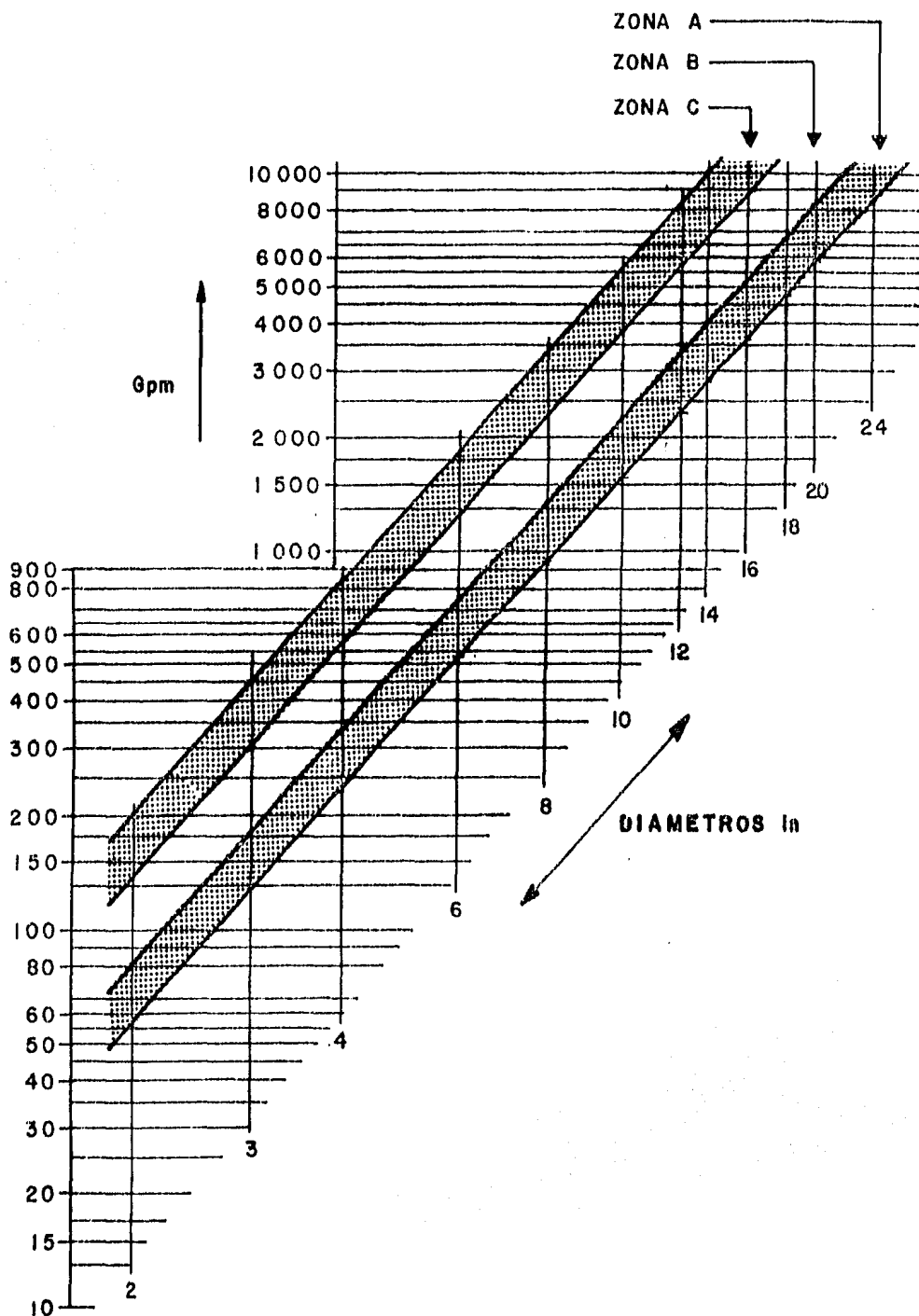
CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS DE DESCARGA DE BOMBAS

Mientras que para diseñar tuberías de succión de bombas, el aspecto más importante es lograr un flujo libre de vapor, al diseñar tuberías de descarga, el aspecto económico es el más importante. Es necesario lograr un balance económico entre el diámetro de la tubería, los requerimientos de potencia y los costos de capital.

Como regla, pueden seleccionarse tamaños económicos de tubería, mediante criterios heurísticos, para líneas de descarga de hasta 12 pulgadas de diámetro. Para diámetros mayores, a menudo debe hacerse una comparación de costos más detallada, para elegir adecuadamente entre diferentes alternativas, la mejor tubería de descarga.

Las tuberías de descarga de bombas centrífugas no deben tener un diámetro menor al de la boquilla de descarga de la bomba. Cuando se bombean líquidos cerca o en su punto de ebullición, se presentará vaporización si la presión en la línea cae abajo de la presión de vapor del líquido, lo cual puede ocurrir después de una válvula de control. En este caso, la resistencia por fricción en la tubería de descarga, deberá calcularse para flujo a dos fases. De otra forma, la presión requerida en la boquilla de descarga de la bomba, puede calcularse de manera convencional.

En la figura que se muestra a continuación, se utilizaron valores de velocidades económicas recomendadas para líquidos, y sirve para seleccionar tuberías de descarga de bombas. Se presentan datos de tamaños de tubería para varios flujos, en tuberías de acero al carbón y acero de aleación, para tiempos de pago de 2 años y a largo plazo (5 a 10 años). Nótese que entre mayor sea el plazo de pago, se favorecen más los diámetros mayores.^{6.6}



ZONA A: ACERO AL CARBON, ACCIONADOR DE TURBINA O PAGO A LARGO PLAZO.

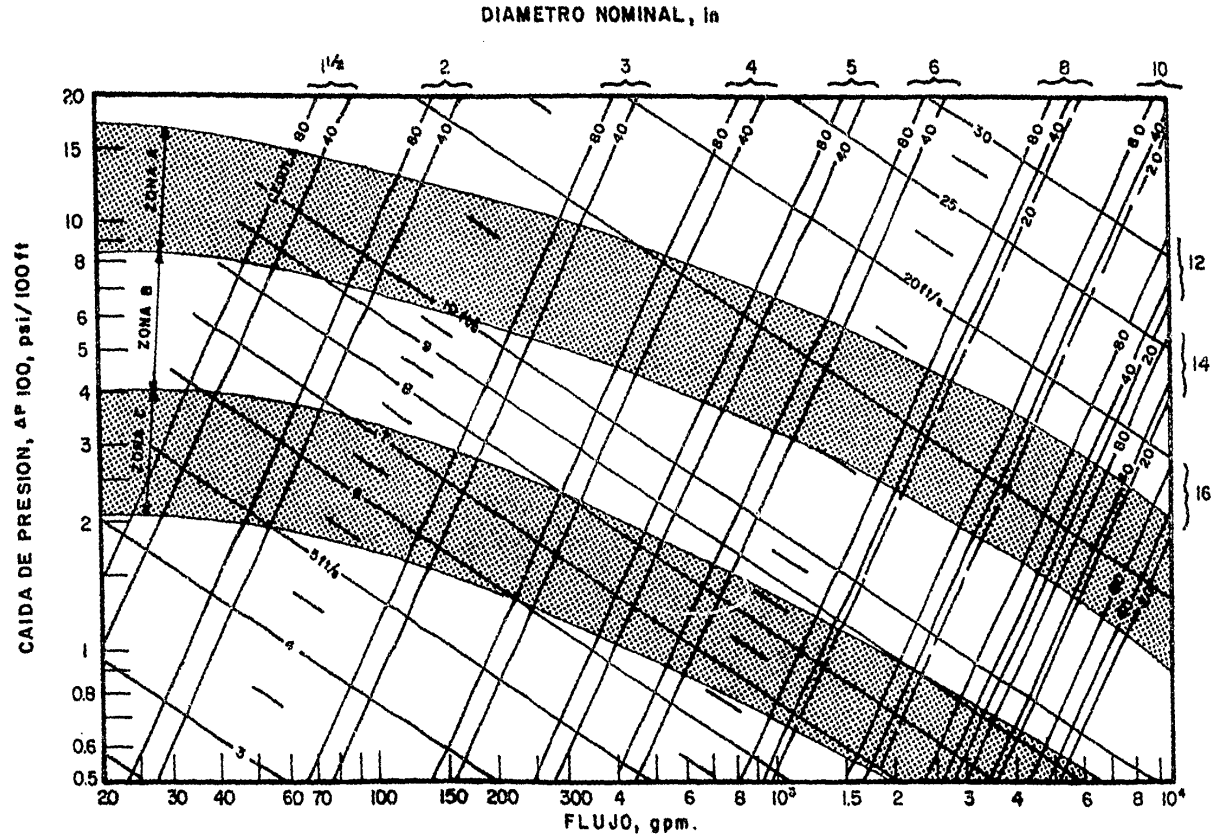
ZONA B: ACERO AL CARBON ACCIONADOR DE MOTOR O PAGO A 2 AÑOS.
ACERO DE ALEACION PAGO A LARGO PLAZO.

ZONA C: ACERO DE ALEACION PAGO A 2 AÑOS

DATOS PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE DESCARGA

A continuación se presenta una gráfica alterna para seleccionar tuberías de descarga de bombas. La figura es una resolución gráfica de la ecuación de Darcy. Los valores son aplicables a tuberías de descarga de bombas centrífugas accionadas por turbinas de vapor o motores eléctricos, con materiales como acero al carbón y acero de aleación en plazos de pago de 2 años y a largo plazo (5 a 10 años).

La figura fué hecha para flúidos con densidad relativa de 1 y factor de fricción para turbulencia completa. Si este no es el caso, pueden corregirse los valores de la gráfica, multiplicando la $\Delta P/100$ por la densidad relativa real y por la relación de factores de fricción (factor de fricción real entre factor de fricción para completa turbulencia). **6.10**



DIAMETROS ECONOMICOS PARA TUBERIAS DE DESCARGA:

- ZONA A: ACERO DE ALEACION, PAGO A 2 AÑOS.
 ZONA B: ACERO AL CARBON, ACCIONADOR DE MOTOR O PAGO A 2 AÑOS
 ACERO DE ALEACION, PAGO A LARGO PLAZO.
 ZONA C: ACERO AL CARBON, ACCIONADOR DE TURBINA O PAGO A 2 AÑOS

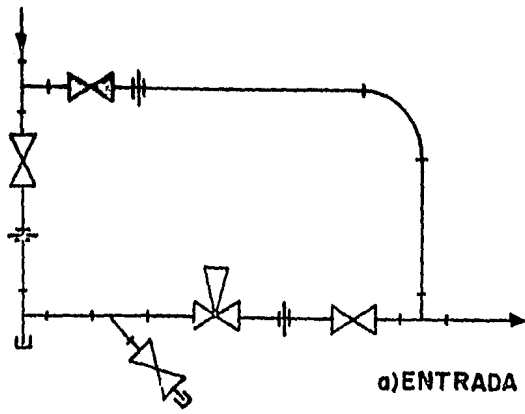
CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS ALREDEDOR DE VALVULAS DE CONTROL

A menudo las válvulas de control deben desmontarse para mantenimiento, de modo que la tubería alrededor de ellas debe ser lo suficientemente flexible para permitir una operación continua en tales condiciones.

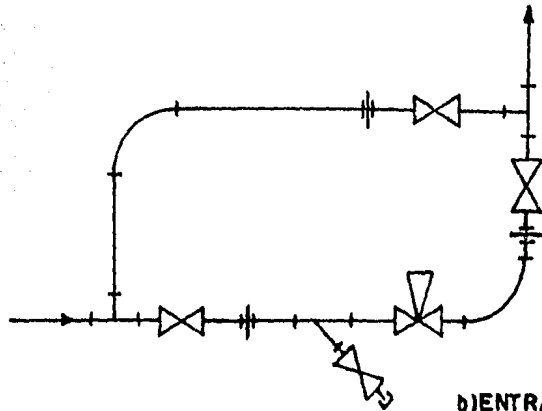
Usualmente, la válvula de control es de un tamaño nominal menor que el tamaño nominal de la tubería. Si la válvula de control es del mismo tamaño que la línea o más de dos tamaños nominales menor, las características del flujo del sistema deberán reexaminarse y redimensionarse la válvula, si es necesario.

Desde el punto de vista de operación y mantenimiento, lo mejor es instalar válvulas de bloqueo a uno y otro lado de la válvula de control y también instalar una válvula de globo de tipo de estrangulamiento para usarla como desvío. Durante la operación normal, la válvula de desvío permanece cerrada, y el flujo se efectúa a través de la válvula de control.

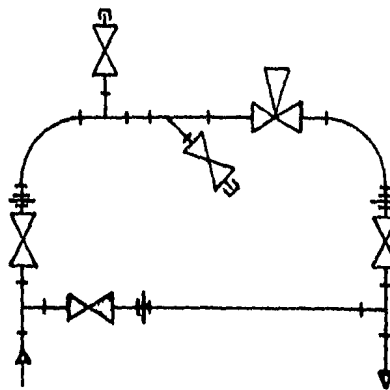
La figura que se muestra a continuación, indica varios arreglos de tubería alrededor de válvulas de control, para aquellas que usan conexiones ros-cadas, bridadas o combinaciones de ambas.^{6.3}



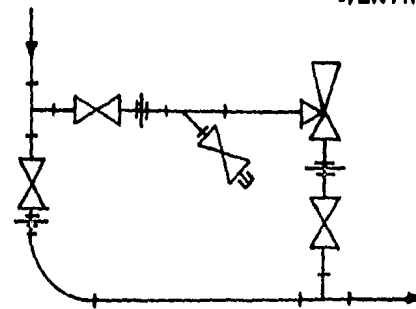
a) ENTRADA POR ARRIBA



b) ENTRADA LATERAL

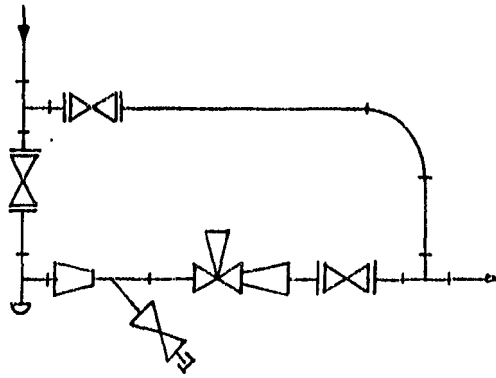


c) ENTRADA POR ABAJO

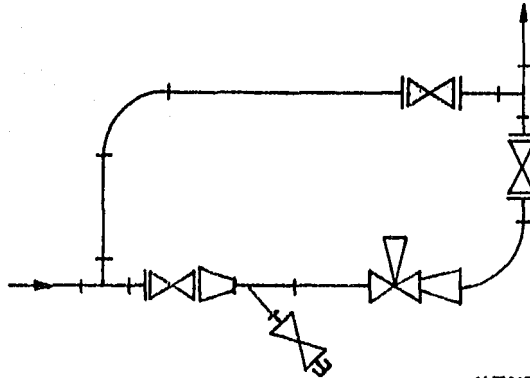


d) ENTRADA POR ARRIBA

**ARREGLOS PARA LINEAS Y VALVULAS DE CONTROL
DE 1 1/2" PULGADAS Y MENORES (ROSCADAS)**

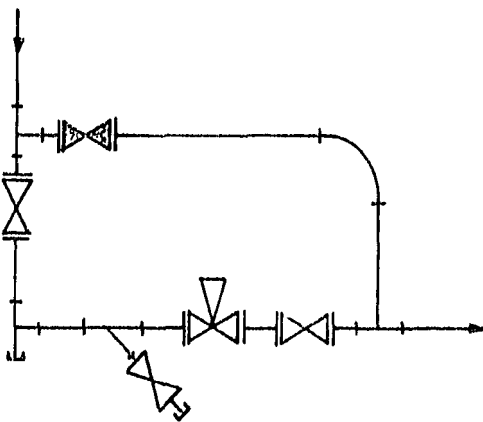


e) ENTRADA POR ARRIBA

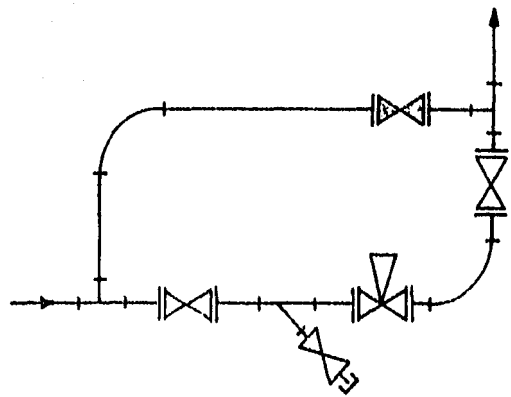


f) ENTRADA LATERAL

ARREGLOS PARA LINEAS BRIDADAS CON VALVULAS DE CONTROL ROSCADAS DE 1 1/2" PULGADAS Y MENORES



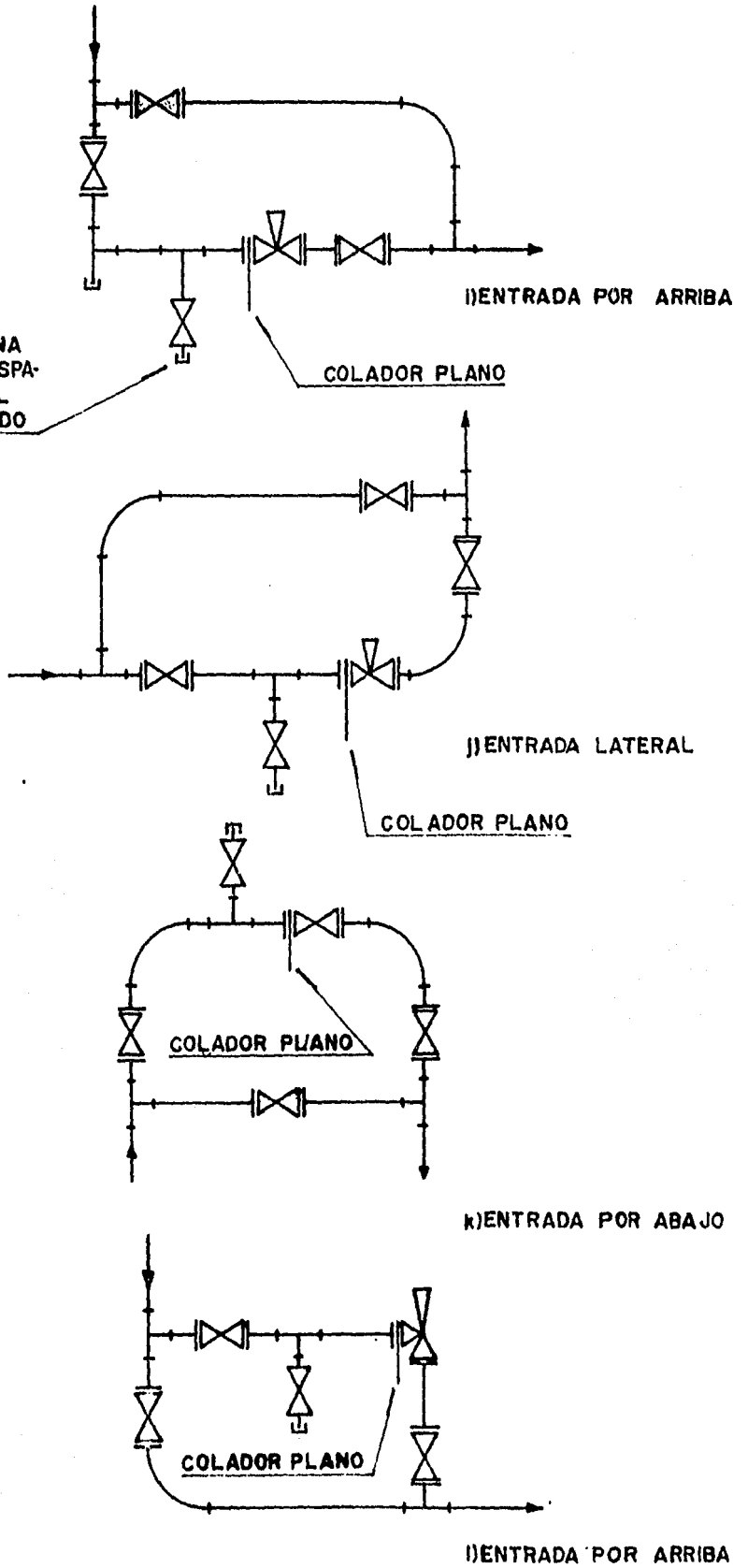
g) ENTRADA POR ARRIBA



h) ENTRADA LATERAL

ARREGLOS PARA LINEAS BRIDADAS CON VALVULAS DE CONTROL BRIDADAS DE 1 1/2" PULGADAS Y MENORES

LOCALIZACION ALTERNA
DEL DRENAJE SI EL ESPACIO
ABAJO DEL RAMAL
DE GOTEO ES LIMITADO



**ARREGLOS PARA LINEAS Y VALVULAS DE CONTROL
DE 2" PULGADAS Y MAYORES (BRIDADAS)**

Dimensionamiento de las válvulas de Bloqueo y de Desvío

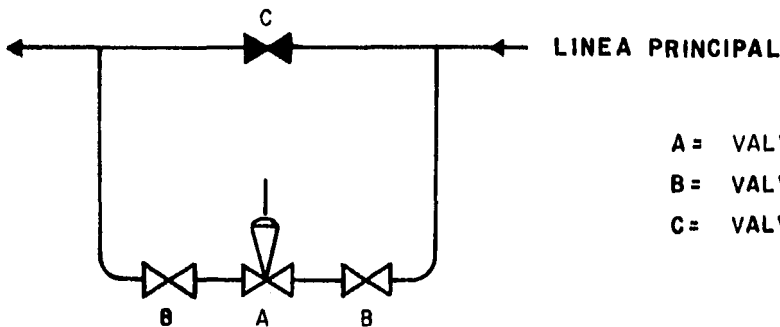
Las válvulas de bloqueo deben ser del tamaño de la tubería, excepto cuando la válvula de control sea de dos o más tamaños nominales menor a la tubería, en cuyo caso las válvulas de bloqueo serán de un tamaño nominal menor al de la línea.

Las válvulas de desvío y las líneas de desvío, deben ser del tamaño de la tubería principal para tuberías de 2 pulgadas de diámetro o menores. Para líneas de 3 pulgadas o mayores, las líneas de desvío y las válvulas de desvío, deberán ser de un tamaño nominal menor que la línea principal (excepto para flujo por gravedad, que deberán ser del tamaño de la línea).

Las válvulas de desvío deberán ser válvulas de globo hasta de 4 pulgadas de diámetro, arriba de esto, deberán ser válvulas de compuerta, o en casos especiales, válvulas de cierre de tornillo cuando se tienen caídas de presión bajas en líneas grandes.

La figura que se muestra a continuación, da una guía para dimensionar las válvulas de bloqueo y de desvío para válvulas de control de 1 a 12 pulgadas. **6.3**

DIAMETRO DE LA LINEA PRINCIPAL IN.	TAMAÑO DE LA VALVULA DE CONTROL, A, in																	
	1		1 1/2		2		3		4		6		8		10		12	
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
1	1	1																
1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2														
2	1 1/2	2	2	2	2	2												
3			2	2	3	2	3	2										
4					3	3	4	3	4	3								
6							4	4	6	4	6	4						
8									6	6	8	6	8	6				
10											8	8	10	8	10	8		
12													10	10	12	10	12	10



- A = VALVULA DE CONTROL
- B = VALVULA DE BLOQUEO
- C = VALVULA DE DESVIO

Tubería alrededor de la Válvula de Control

La tubería adyacente a válvulas de control debe arreglarse para que las válvulas puedan desmontarse. Por ejemplo, las válvulas de bloqueo a uno y otro lado de la válvula de control, no deberán estar, ni al mismo nivel, ni en el mismo plano vertical, que la válvula de control.

Una de las válvulas de bloqueo puede estar en el mismo plano horizontal que la válvula de control, y la otra en el mismo plano vertical, con el desvío abajo de la válvula de control. Otra opción es que las dos válvulas de bloqueo estén en el mismo plano vertical, con la válvula de control horizontal, con el desvío abajo de la válvula de control.

Existen varios arreglos permisibles, dependiendo de la dirección del flujo, y de la elevación de la válvula de control con respecto a la línea principal.

La tubería alrededor de la válvula de control debe ser autosoportable o soportada permanentemente. Esto se requiere para que al desmontar la válvula de control o las de bloqueo, las líneas permanezcan en su lugar sin ponerles soportes temporales.

Localización de la Válvula de Control

Todas las válvulas de control deben instalarse en donde sean accesibles desde las plataformas de los equipos, o bien en el piso. Debe dejarse un espacio suficiente arriba y abajo de la válvula de control para reemplazar partes de repuesto sin desmontar la válvula.

CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS ALREDEDOR DE MEDIDORES DE FLUJO

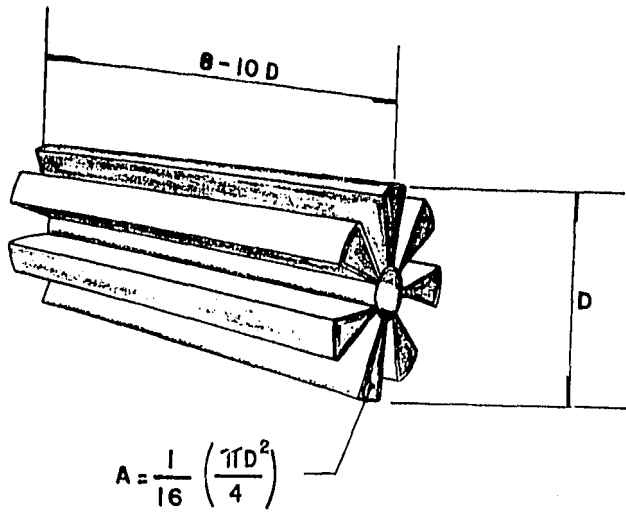
Para lograr una medición de flujo confiable, precisa y consistente, la tubería que se encuentra antes y después del medidor, debe tener una longitud recta mínima.

La tubería que se encuentra antes de un elemento primario de medición, puede tener una influencia importante en la precisión de la medición, aún a distancias de 80 veces el diámetro de la tubería. Algunas pruebas han demostrado el error ocasionado por perturbaciones en el flujo provocadas por la presencia de codos seccionales en dos planos y de válvulas de regulación de presión con orificio balanceado, localizados a distancias de 60 a 100 diámetros de tubería antes del elemento primario de medición.

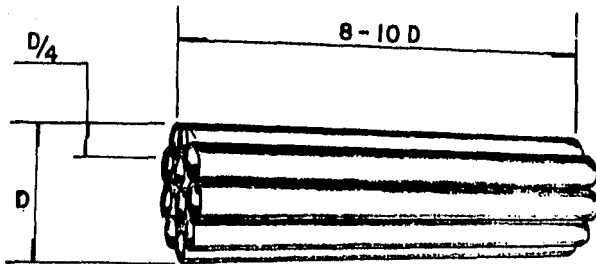
La mayoría de los errores provocados por una longitud inadecuada de tubería antes de un elemento primario de medición, ocasionan vórtices. Cuando no se dispone de la longitud recta requerida, estos vórtices pueden eliminarse mediante la instalación de alineadores de flujo, localizados entre el accesorio que distorsiona el flujo y el medidor. La longitud de tubería requerida entre los alineadores y el medidor puede reducirse entonces, a solo 6 diámetros de tubería, ya que estos alineadores destruyen las corrientes transversales y ayudan a reestablecer la distribución normal de velocidades de flujo.

Los alineadores de flujo consisten en varios pasajes paralelos de dimensiones transversales relativamente pequeñas, instalados dentro de la tubería, paralelamente a la dirección del flujo.

A continuación se muestran los dos tipos principales de alineadores de flujo, que pueden colocarse dentro de la tubería, para reestablecer la distribución normal del flujo. ^{6.15}



ALINEADOR DE FLUJO TIPO RADIAL DE UNA SOLA PIEZA



ALINEADOR DE FLUJO TIPO TUBULAR

Para lograr una eficiencia máxima, el paso a través de cada pasaje de los alineadores deberá tener una área menor o igual a 1/16 del área de flujo de la tubería.

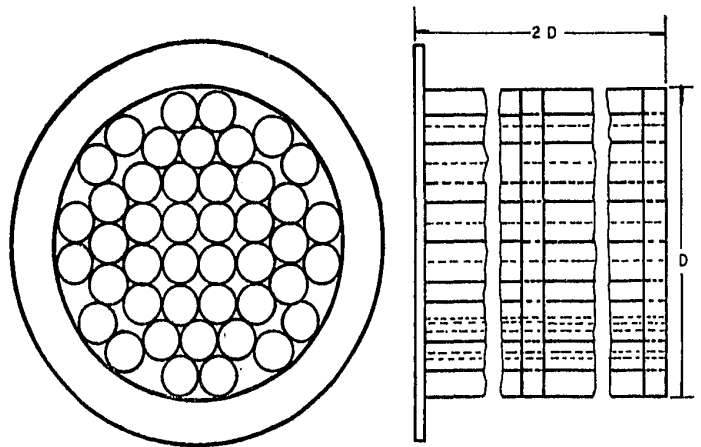
Las secciones transversales de los diseños recomendados de alineadores de flujo, se muestran en la figura siguiente. En los diseños tubular y de placas cruzadas, la distancia máxima de centro a centro de tubos o pasajes, no deberá exceder $\frac{1}{4}$ del diámetro de la tubería; y la longitud de los alineadores deberá ser por lo menos de 8 a 10 veces esta distancia.^{6.1}

Los alineadores pueden construirse de tubos de paredes delgadas, o de placas, soldadas entre sí.

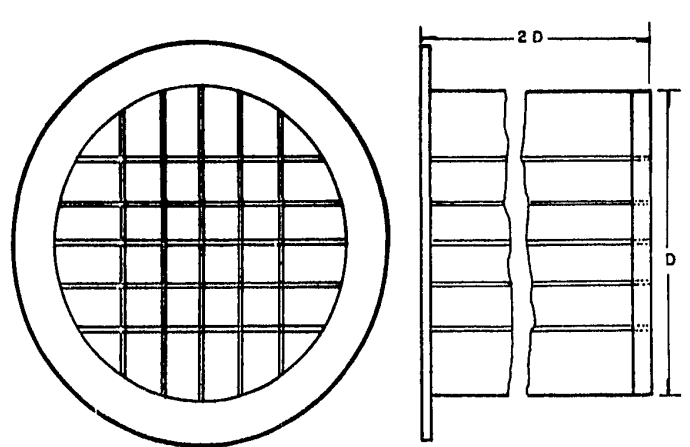
El diseño de placa perforada contiene espejos separados entre sí por un diámetro de tubería, cada uno de los cuales tiene un gran número de pequeños orificios con una área total de flujo de por lo menos el 50% del área transversal de la tubería.

La caída de presión producida por los diseños tubular y de placas cruzadas es equivalente a la que producirían 20 diámetros de tubería. Para el diseño de placa perforada, la pérdida de presión es equivalente al diferencial de una placa de orificio de bordes rectangulares con una relación de diámetros de 0.75.

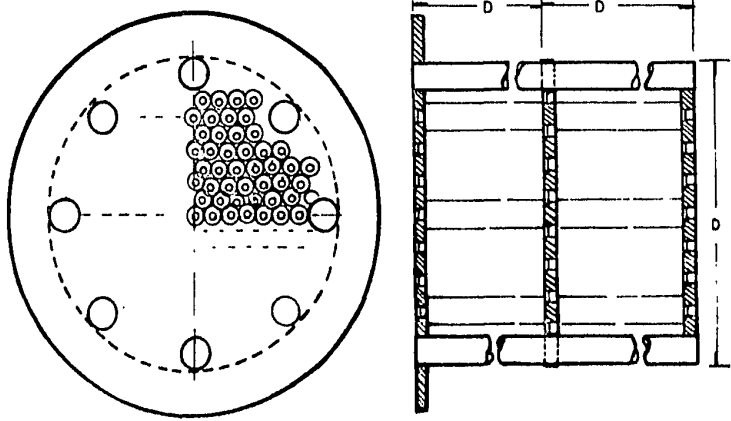
211



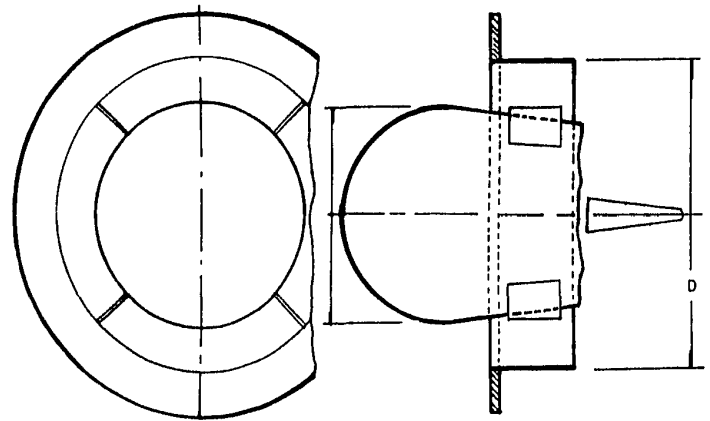
TUBULAR



PLACAS CRUZADAS



PLACAS PERFORADAS



GOTA CENTRADA

DISEÑOS RECOMENDADOS DE ALINEADORES DE FLUJO

Los alineadores de flujo proporcionan una manera poco costosa de lograr una buena distribución de flujo, sin embargo, debido a su fragilidad, no deberán localizarse muy cerca de una perturbación de flujo muy fuerte. Cuando se localizan a menos de 6 diámetros de tubería del elemento primario de medición, pueden producirse lecturas del medidor ligeramente altas, pero este error es mínimo comparado con los errores que evitan.

A menudo, el uso de alineadores de flujo está prohibido en líneas de vapor a alta velocidad, especialmente si el medidor se encuentra antes de una turbina u otro equipo de alta movilidad, que puede deteriorarse si el alineador se quiebra.

Para placas de orificio, la tubería que se encuentra antes del orificio es crítica y la longitud recta que se requiere de la misma es directamente proporcional a la relación del diámetro del orificio al diámetro de la tubería. Esta longitud está influenciada por la configuración de la tubería y por la presencia de válvulas y accesorios.

La longitud que se encuentra después del orificio, también es proporcional a la relación de diámetros, y en principio debe ser, por lo menos, de 5 diámetros de tubería.

Aunque las placas de orificio se utilizan principalmente para medir el flujo, pueden usarse también como reguladores de flujo, y en este caso deben tener 100 diámetros de tubería recta antes y 25 diámetros después.

La precisión de un medidor de placa de orificio, depende de qué tan lejos se encuentre de una perturbación de flujo.

Idealmente, cada orificio debe estar precedido de 50 a 80 diámetros de tubería, y seguido de por lo menos 10 diámetros de tubería recta. Estos requerimientos no siempre pueden cumplirse en las tuberías de proceso. La American Gas Association (AGA), ha desarrollado criterios mediante cuidadosas experimentaciones, lo que le ha permitido producir las gráficas que a continuación se presentan. **6.14 6.15**

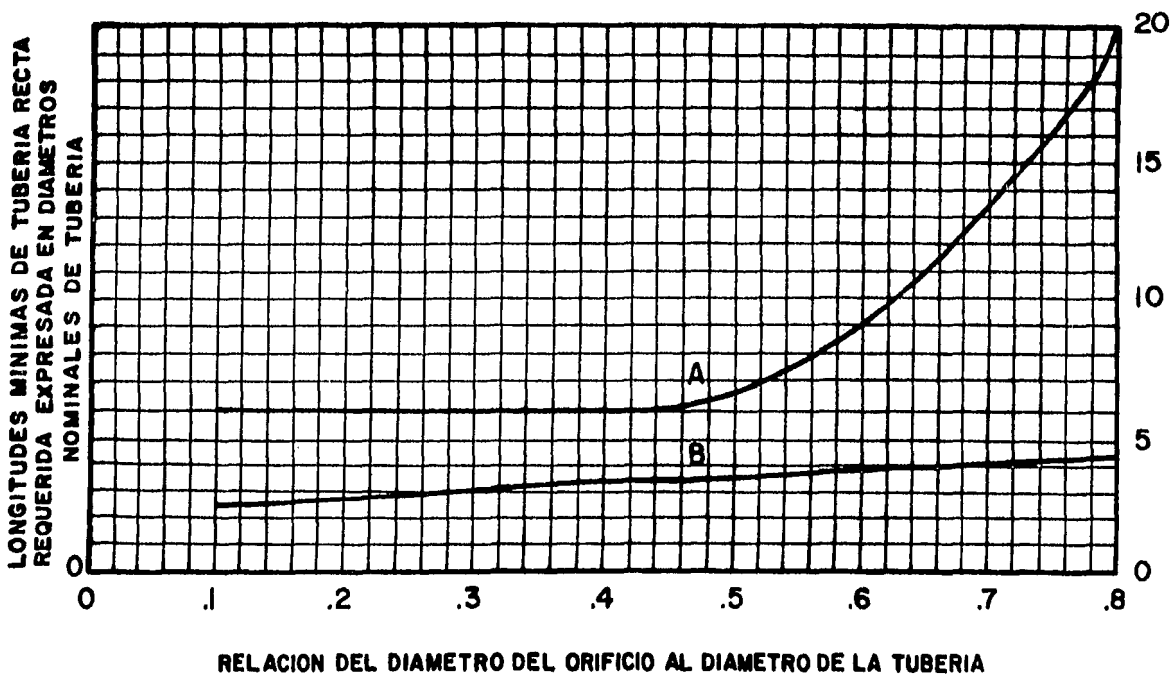
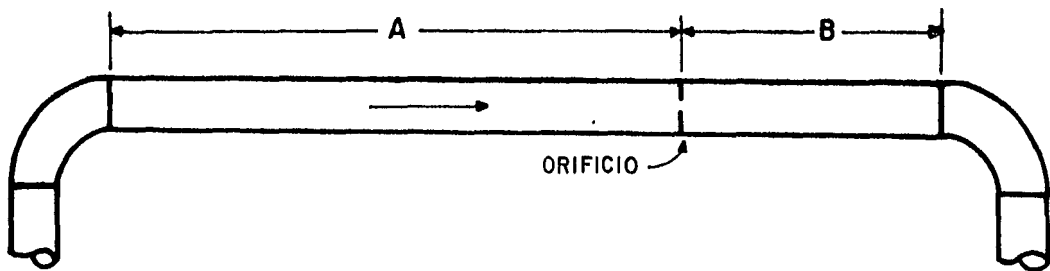
Estas gráficas se enfocan principalmente al flujo gaseoso, sin embargo, aplican también para las industrias química, petroquímica, petrolera y otras; aunque debe tenerse un cuidado especial cuando se manejan fluidos de baja viscosidad o a altas velocidades de flujo, porque en estos casos, el tramo recto de tubería es menos efectivo para reestablecer la distribución normal de flujo.

Cuando las tomas de presión se localizan a $2\frac{1}{2}$ y 8 diámetros, todos los valores de la gráfica deben incrementarse en 2 diámetros para las longitudes antes del orificio, y en 8 diámetros para las longitudes después del orificio.

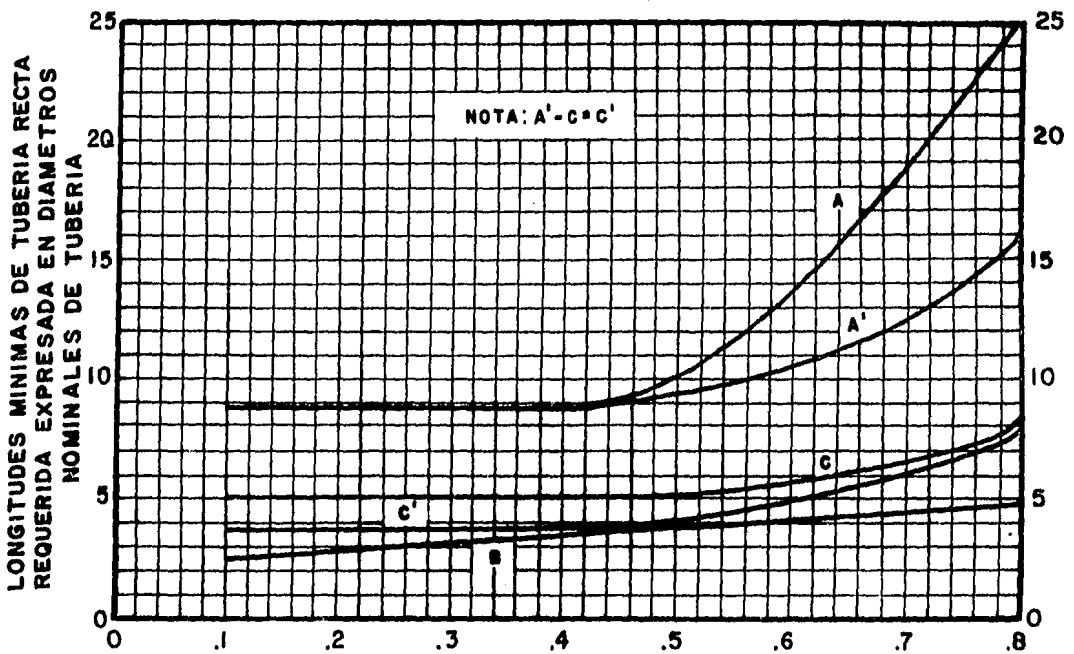
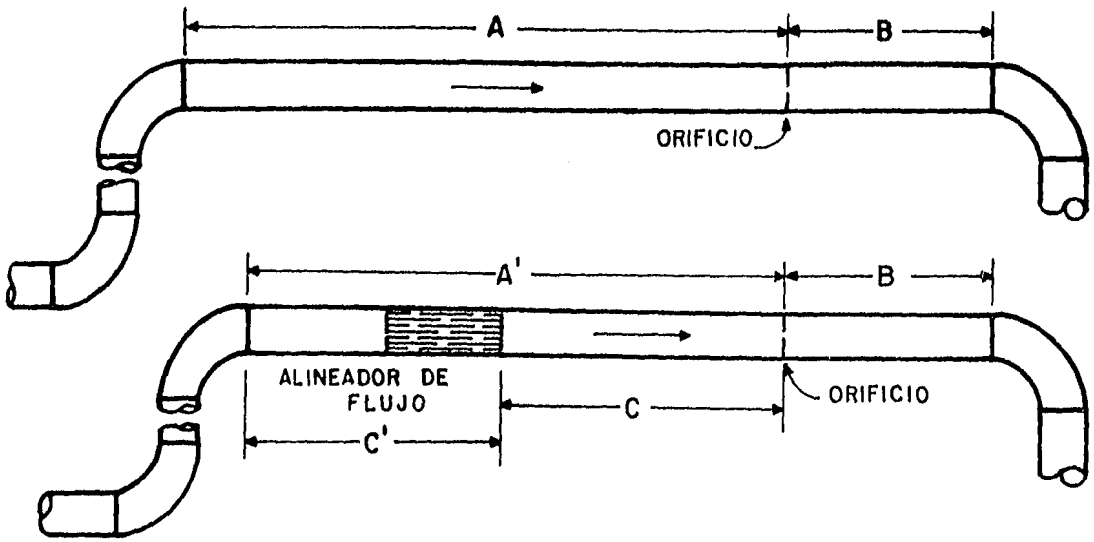
Los alineadores de flujo sólo deben usarse cuando no existe otro arreglo de tubería más económico.

Cuando se prevean posibles cambios en el diámetro del orificio, deberán tomarse las longitudes recomendadas para la relación máxima de diámetros de cada gráfica.

Para la gráfica en la que se considera la presencia de válvulas, los valores son aplicables a reguladores o válvulas de compuerta, globo o macho, parcialmente cerradas. Sin embargo, si la válvula de compuerta, globo o macho se encuentra totalmente abierta, puede considerarse que no ocasiona una perturbación seria en el flujo, y pueden tomarse los requerimientos del accesorio que se encuentre justo antes de la misma; estos requerimientos no deberán ser menores a los que permitan las curvas A, A' o B, de las figuras de dos codos y cambios de área. Cuando no exista ningún otro accesorio, deberán aplicarse las longitudes recomendadas en la figura para dos codos en el mismo plano, si se tienen válvulas totalmente abiertas.

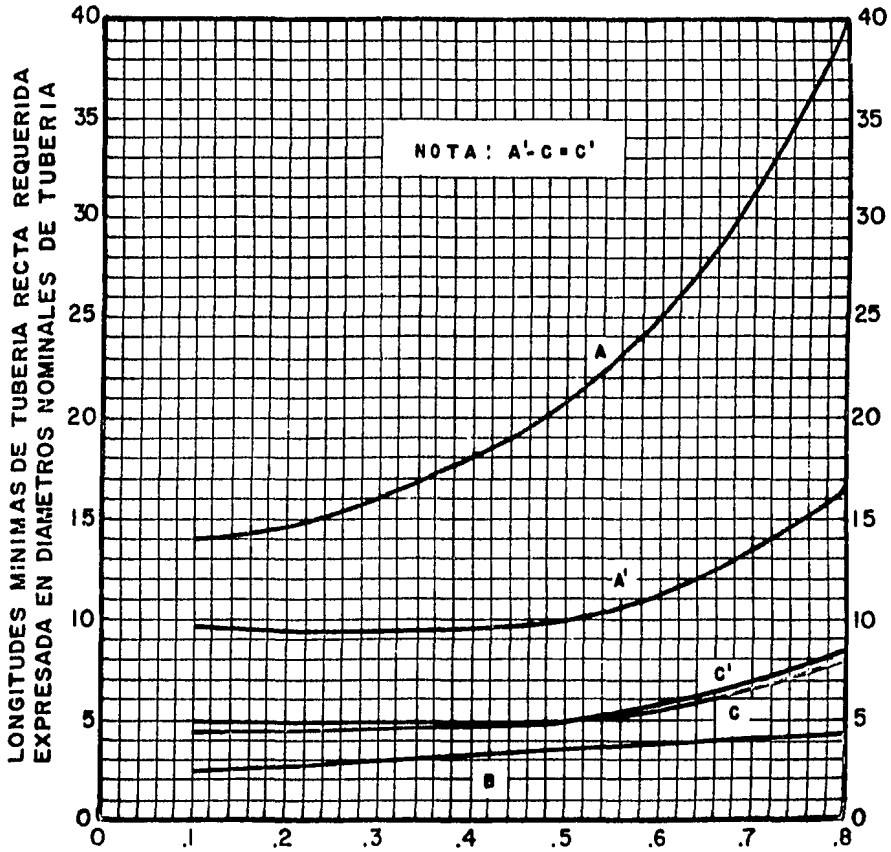
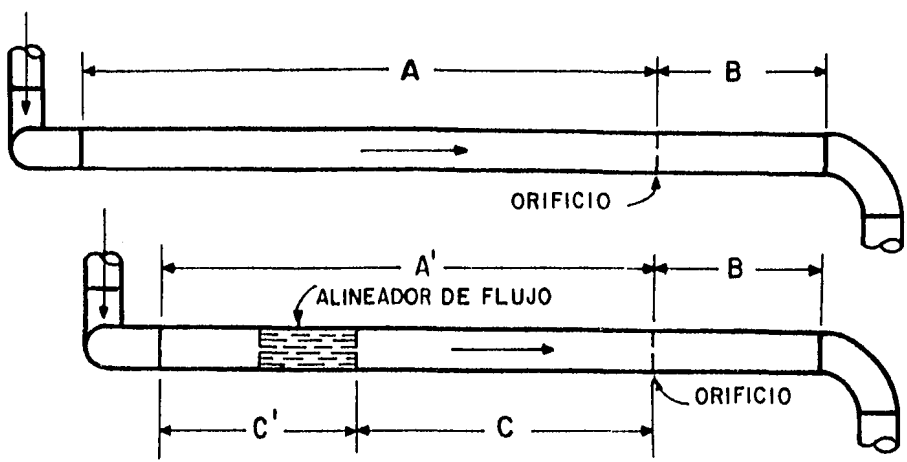


**ESTANDARES AGA PARA TUBERIAS DE PLACAS DE ORIFICIO.
PLACA DE ORIFICIO PRECEDIDA DE UN CODO DE 90°**



RELACION DEL DIAMETRO DEL ORIFICIO AL DIAMETRO DE LA TUBERIA

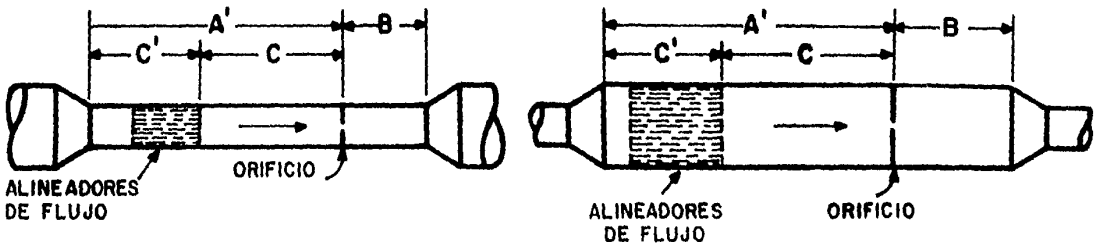
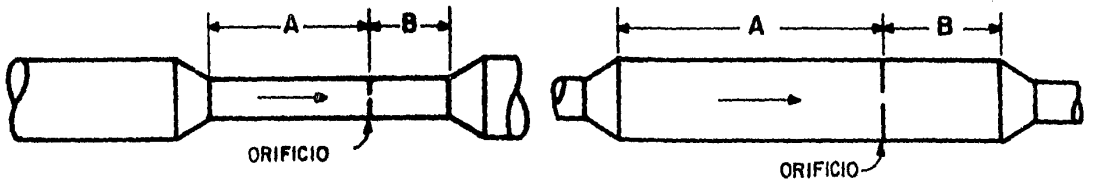
**ESTANDARES AGA PARA TUBERIAS DE PLACAS DE ORIFICIO.
 PLACA DE ORIFICIO PRECEDIDA DE DOS CODOS DE 90°
 COLOCADOS EN EL MISMO PLANO.**



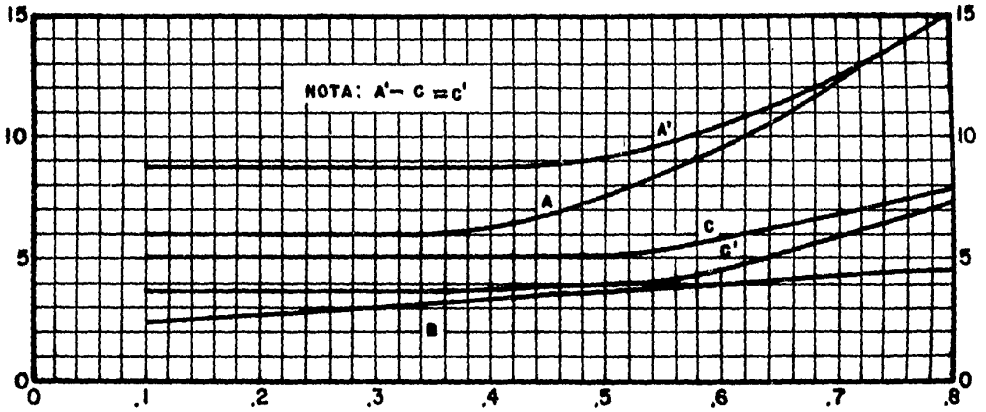
RELACION DEL DIAMETRO DEL ORIFICIO AL DIAMETRO DE LA TUBERIA

NOTA: CUANDO LOS DOS CODOS MOSTRADOS ESTAN PRECEDIDOS DE CERCA POR UN TERCERO QUE NO SE ENCUENTRA EN EL MISMO PLANO QUE EL CODO DE ENMEDIO, LOS REQUERIMIENTOS DE TUBERIA DE LA CURVA A DEBEN DUPLICARSE.

**ESTANDARES AGA PARA TUBERIAS DE PLACAS DE ORIFICIO.
PLACA DE ORIFICIO PRECEDIDA POR DOS CODOS DE 90°
COLOCADOS EN PLANOS DIFERENTES.**



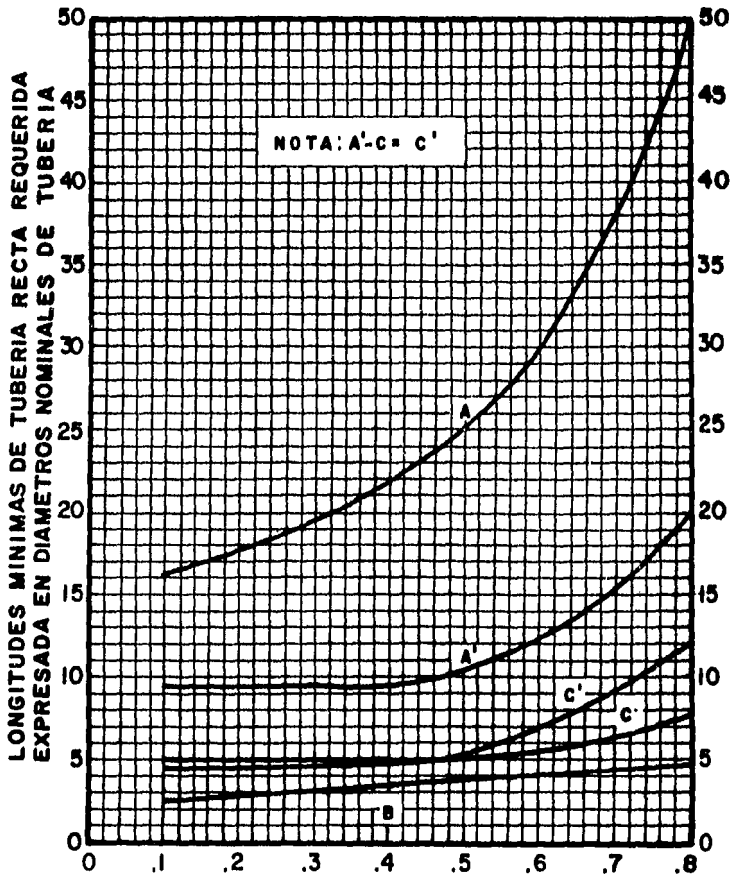
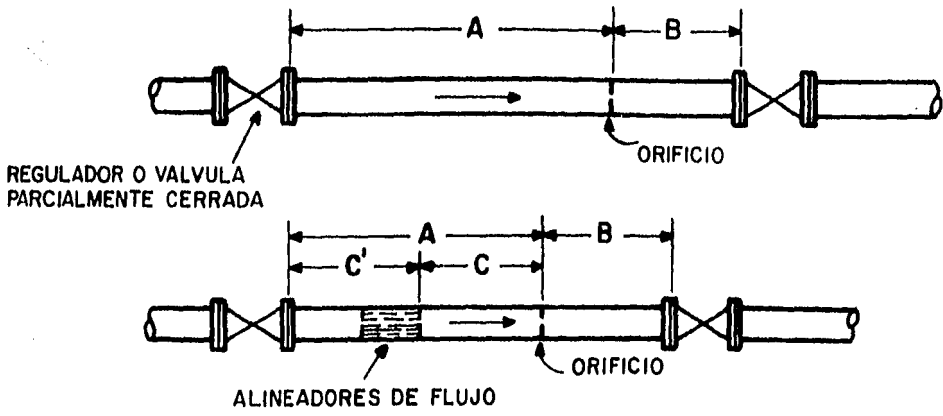
LONGITUDES MINIMAS DE TUBERIA RECTA
REQUERIDA EXPRESADA EN DIAMETROS
NOMINALES DE TUBERIA



RELACION DEL DIAMETRO DEL ORIFICIO AL DIAMETRO DE LA TUBERIA

NOTA: EN REALIDAD EL EFECTO CORRECTOR DE LOS ALINEADORES PARA REDUCCIONES ES DESPRECIABLE, DEBEN USARSE SOLO CUANDO EXISTAN OTROS ACCESORIOS ANTES DE LA REDUCCION, POR LO QUE LA LONGITUD DE A' SERA IGUAL A LA SUMA DE LA LONGITUD A Y DE LA LONGITUD DE LOS ALINEADORES.

**ESTANDARES AGA PARA TUBERIAS DE PLACAS DE ORIFICIO.
PLACA DE ORIFICIO PRECEDIDA DE UN CAMBIO DE DIAMETRO
DE TUBERIA.**



RELACION DEL DIAMETRO DEL ORIFICIO AL DIAMETRO DE LA TUBERIA

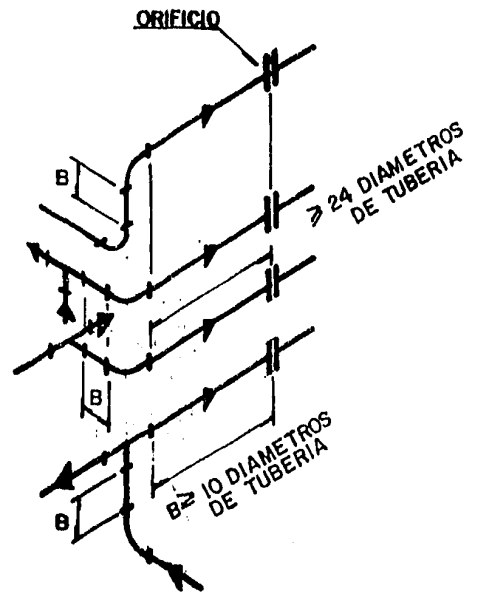
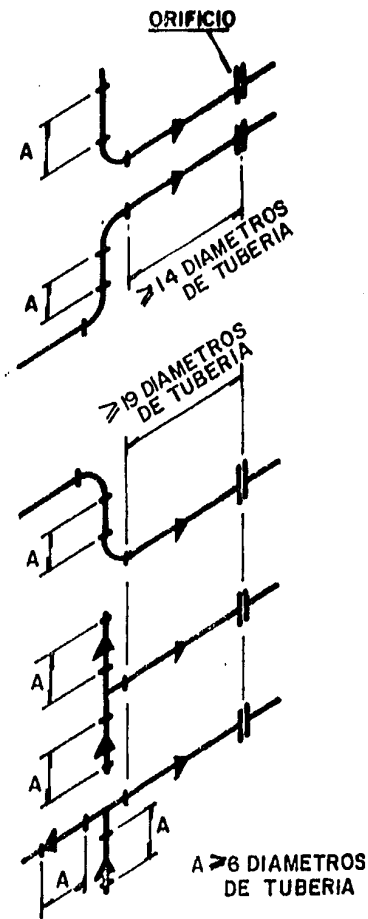
ESTANDARES AGA PARA TUBERIAS DE PLACAS DE ORIFICIO. PLACA DE ORIFICIO PROCEDIDA DE UNA VALVULA DE ESTRANGULAMIENTO O DE UN REGULADOR DE FLUJO.

El Comité de Coeficientes de Orificio de la AGA y de la American Society of Mechanical Engineers (ASME), ha publicado los arreglos estándares para tuberías de medidores de flujo.

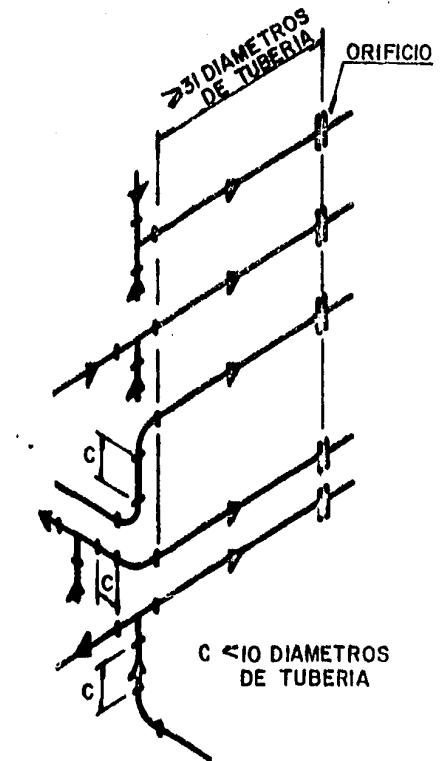
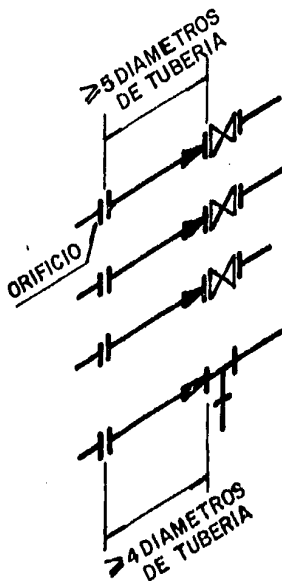
A continuación se presenta una figura basada en las recomendaciones AGA-ASME para medidores de placa de orificio con una relación de diámetros de 0.7.^{6.7}

Usualmente, los arreglos de tubería para orificios caen en alguna de las configuraciones que se muestran en la figura.

Las dimensiones mostradas son válidas también para relaciones de diámetros menores a 0.7.



CONFIGURACIONES DE TUBERIAS EN UN SOLO PLANO ANTES DEL ORIFICIO



CONFIGURACIONES DE TUBERIAS EN UNO O DOS PLANOS ANTES DEL ORIFICIO

CONFIGURACIONES DE TUBERIAS EN UN SOLO PLANO DESPUES DEL ORIFICIO

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA MEDIDORES DE PLACA DE ORIFICIO CON RELACION DE DIAMETROS DE 0.7 O MENOR. ESTANDARES AGA ASME

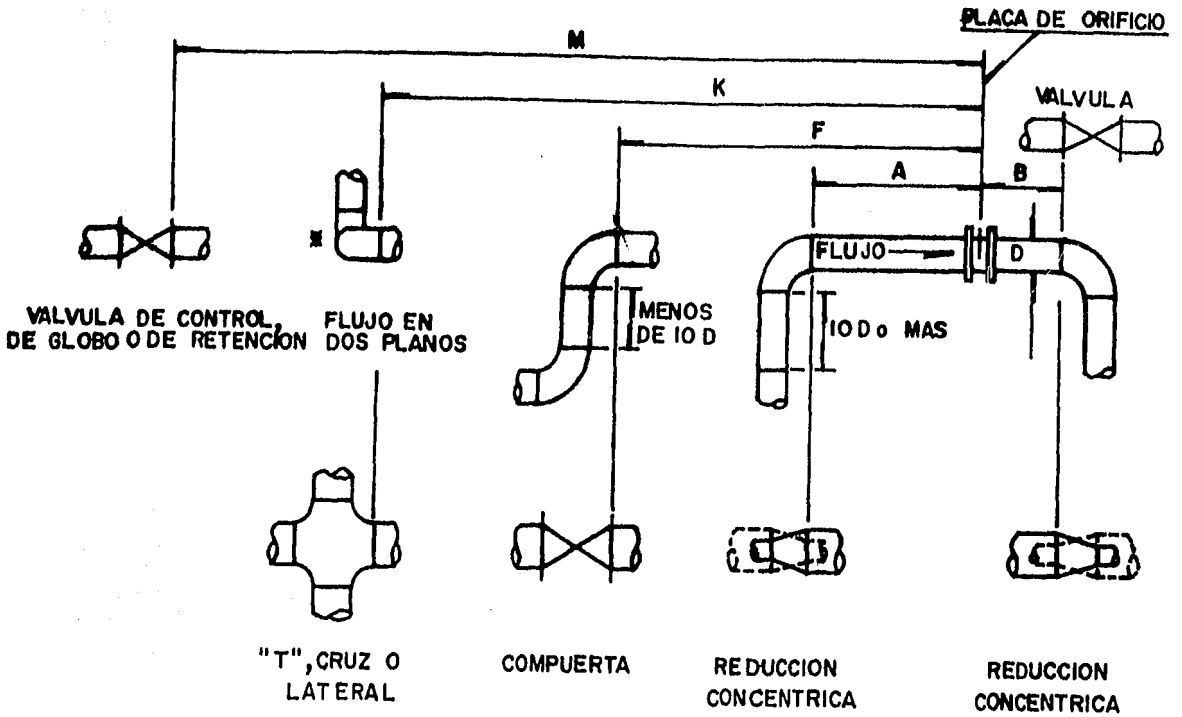
La tubería que se encuentra a la salida de una placa de orificio, tiene una repercusión menor en el comportamiento del medidor, por lo que en ocasiones no se requiere tener un tramo recto después de la placa.

A continuación se presenta una tabla en la que se indican los accesorios que pueden colocarse a la salida del medidor, en lugar de una tubería recta. La tabla se da en función de la relación de diámetro del orificio a diámetro de la tubería (β).^{6.5}

ACCESORIOS PERMITIDOS A LA SALIDA DE PLACAS DE ORIFICIO

ACCESORIO	RELACION DE DIAMETROS (β)			
	0 a 0.5	0.5 a 0.6	0.6 a 0.7	0.7 a 0.8
Válvula de compuerta	●	●	●	●
Codo de radio largo	●	●	●	●
"Y"	●	●	●	
Separador	●			
Separador, si el cuello de entrada es de un diámetro de longitud		●	●	
Junta de expansión	●	●		
"T" en flujo lineal	●	●		
Codo de 45°	●			

Nota: La tabla aplica para medidores con las tomas de presión en bridas.



✧ CUANDO LA DISTANCIA ENTRE CODOS ES DE 10 D ó MENOS

DIAMETRO NOM. DE LA TUBERIA	LONGITUD DE TUBERIA RECTA				
	A	B	F	K	M
D	14D	5D	19D	31D	39D
1/2"	1'-9"	8"	2'-5"	3'-11"	4'-11"
2"	2'-4"	10"	3'-2"	5'-2"	6'-6"
3"	3'-6"	1'-3"	4'-9"	7'-9"	9'-9"
4"	4'-8"	1'-8"	6'-4"	10'-4"	13'-0"
6"	7'-0"	2'-6"	9'-6"	15'-6"	19'-6"
8"	9'-4"	3'-4"	12'-8"	20'-8"	26'-0"
10"	11'-8"	4'-2"	15'-10"	25'-10"	32'-6"
12"	14'-0"	5'-0"	19'-0"	31'-0"	39'-0"
14"	16'-4"	5'-10"	22'-2"	36'-2"	45'-6"
16"	18'-8"	6'-8"	25'-4"	41'-4"	52'-0"
18"	21'-0"	7'-6"	28'-6"	46'-6"	58'-6"
20"	23'-4"	8'-4"	31'-8"	51'-8"	65'-0"
24"	28'-0"	10'-0"	38'-0"	62'-0"	78'-0"

ARREGLOS DE TUBERIA PARA PLACAS DE ORIFICIO 6.17

A continuación se presenta una tabla de distancias mínimas requeridas de tubería recta para evitar un error apreciable ocasionado por la presencia de ciertas válvulas y accesorios, ya sea antes o después de un medidor de placa de orificio o de una tobera de flujo.^{6.13}

En esta tabla también se indica la reducción de espacio que es posible obtener mediante la colocación de alineadores de flujo o restricciones, localizados entre los accesorios o válvulas, y el medidor.

Las distancias mostradas en la tabla, no aplican completamente para medidores de venturi, aunque pueden usarse como una guía.

LOCALIZACION DE ORIFICIOS Y TOBERAS DE MEDICION CON RESPECTO A ACCESORIOS DE TUBERIA

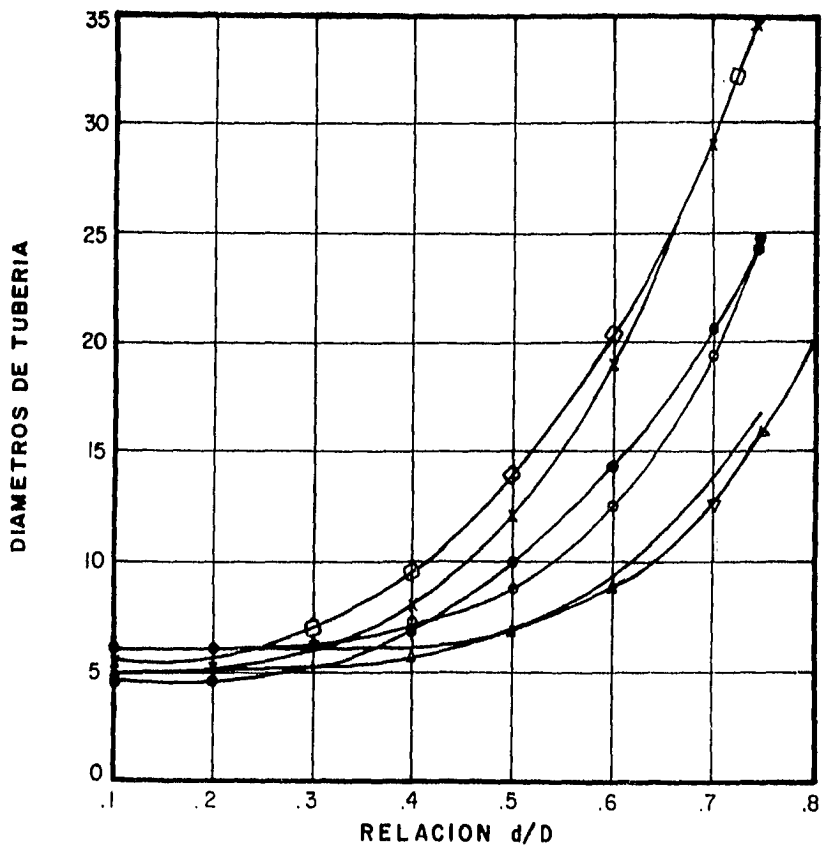
TIPO DE ACCESORIO LOCALIZADO ANTES DEL MEDIDOR	RELACION DE DIAMETROS (D_2/D_1)	DISTANCIAS EN DIAMETROS DE TUBERIA (D_1)			
		ACCESORIO ANTES DEL MEDIDOR A MEDIDOR		RESTRICCIONES A MEDIDOR	ACCESORIO MAS CERCA DEL MEDIDOR DEL MEDIDOR A MEDIDOR
		SIN RESTRICCIONES	CON RESTRICCIONES		
UN CODO DE 90º O UNA "T" O UNA CRUZ USADAS COMO CODO	0.2	6	--	--	2
	0.4	6	--	--	-
	0.6	9	9	--	-
	0.8	20	12	8	4
DOS CODOS DE 90º DE RADIO CORTO ACOPLADOS EN FORMA DE "S"	0.2	7	--	--	2
	0.4	8	8	--	-
	0.6	13	10	6	-
	0.8	25	15	11	4
DOS CODOS DE 90º DE RADIO CORTO O LARGO ACOPLADOS EN PLANO PERPENDICULARES	0.2	15	9	5	2
	0.4	18	10	6	-
	0.6	25	11	7	-
	0.8	40	13	9	4
UNA CONTRACCION O UNA EXPANSION	0.2	8	LAS RESTRICCIONES NO TIENEN NINGUNA UTILIDAD		2
	0.4	9			-
	0.6	10			-
	0.8	15			4
UNA VALVULA DE GLOBO CON RESTRICCION	0.2	9	9	5	2
	0.4	10	10	6	-
	0.6	13	10	6	-
	0.8	21	13	9	4
UNA VALVULA DE COMPUERTAS TIENEN RESTRICCION	0.2	6	LA MISMA QUE PARA VALVULAS DE GLOBO		2
	0.4	6			-
	0.6	8			-
	0.8	16			4

Una comparación de los estándares de distintos países, muestra una amplia discrepancia en la longitud de tubería recta recomendada antes de un elemento primario de medición. Esta discrepancia es entendible, puesto que el fenómeno que se presenta en el flujo es de naturaleza errática.

La geometría exacta del accesorio que ocasiona las disturbaciones en el flujo, el alineamiento con respecto a las tomas de presión, así como el número de Reynolds, tienen una influencia significativa en el comportamiento del medidor.

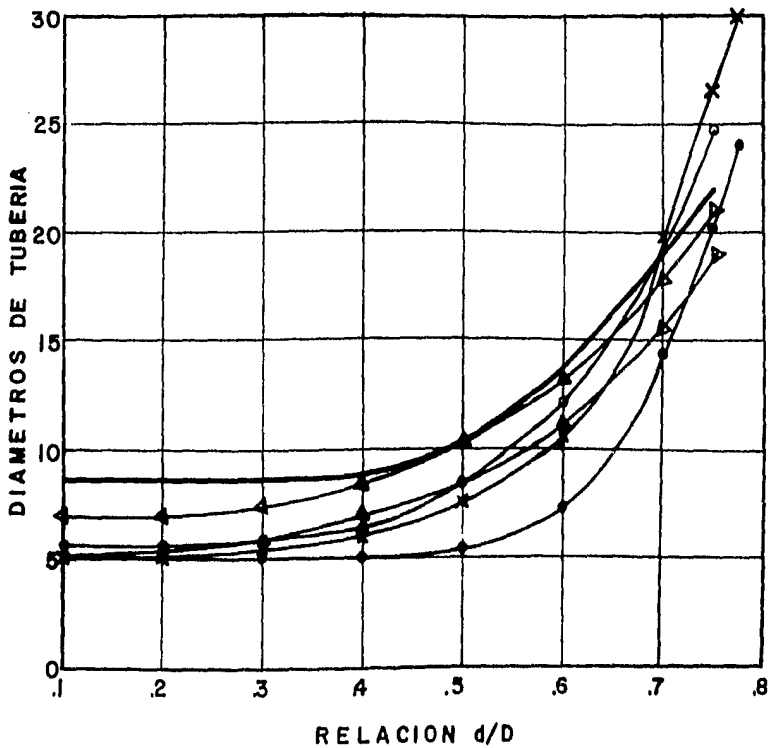
A continuación se presenta una comparación de los estándares de Estados Unidos (AGA y ASME), Gran Bretaña, Francia, Alemania Occidental e Italia, para tuberías conectadas a placas de orificio y toberas de flujo.^{6.15}

Las recomendaciones están basadas en datos de pruebas a condiciones representativas.



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA PLACA DE ORIFICIO LOCALIZADA DESPUES DE UN CODO DE 90°

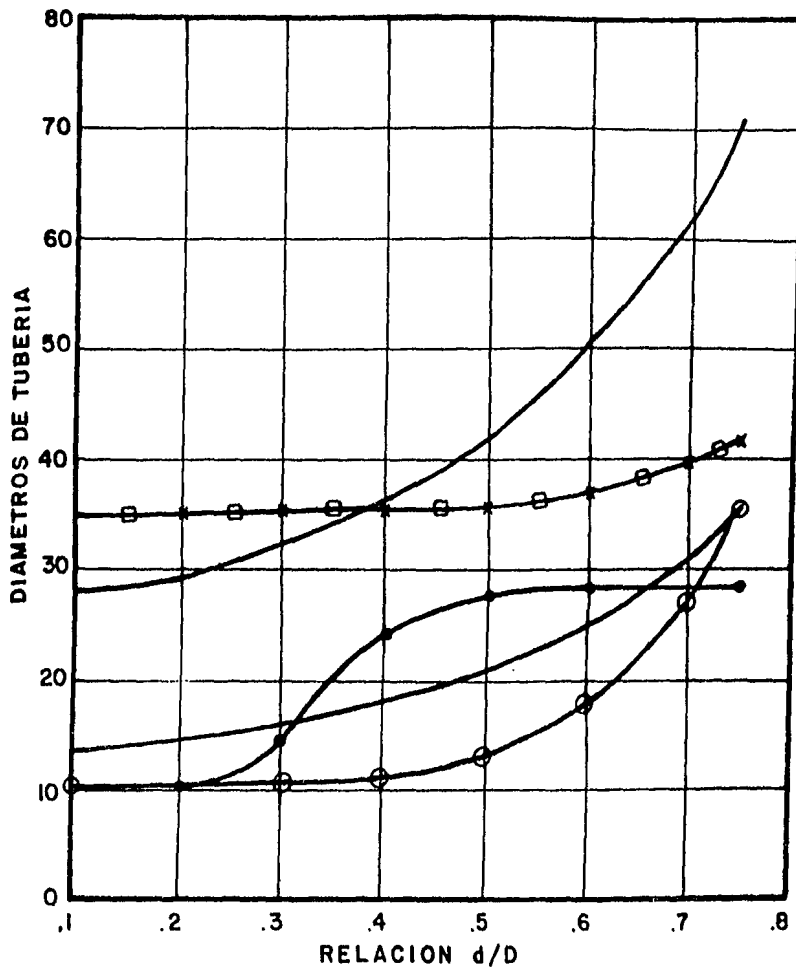


- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

NOTA:

CURVA ASME SUPERIOR PARA CODOS DE RADIO CORTO
 CURVA ASME INFERIOR PARA CODOS DE RADIO LARGO

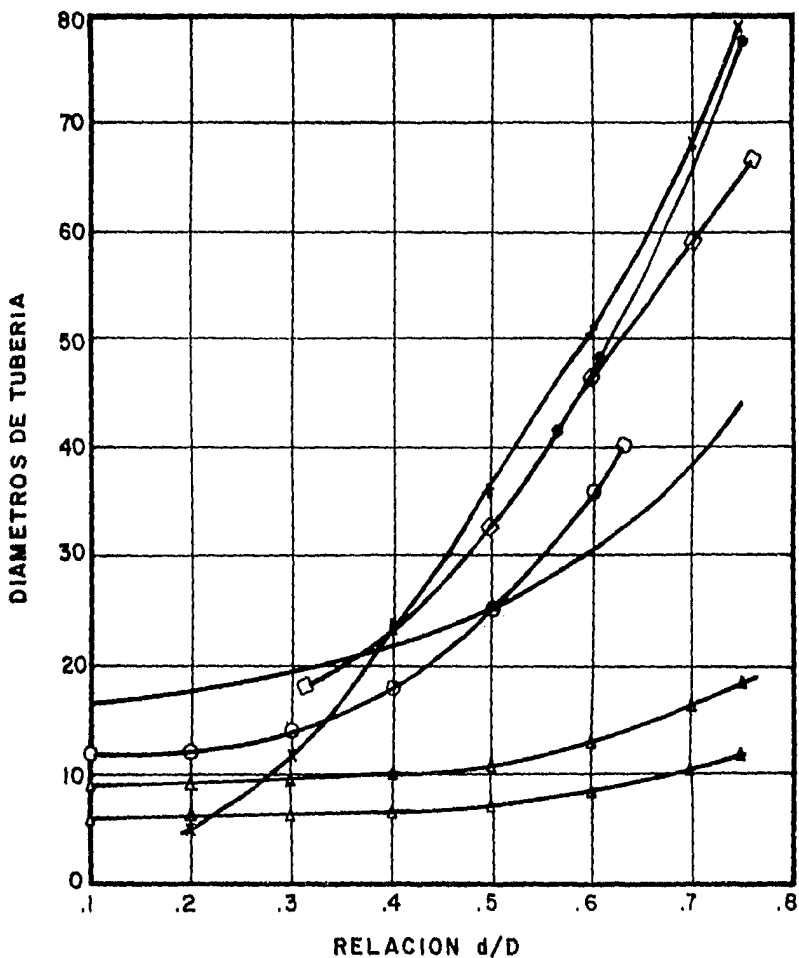
**DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA PLACA DE ORIFICIO LOCALIZADA
 DESPUES DE DOS CODOS DE 90° COLOCADOS EN EL MISMO PLANO**



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESSES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

NOTA: CURVA AGA SUPERIOR, CUANDO LOS PRIMEROS DOS CODOS ESTAN COLOCADOS EN PLANOS DIFERENTES.
 CURVA AGA INFERIOR, CUANDO LOS PRIMEROS DOS CODOS ESTAN COLOCADOS EN EL MISMO PLANO.

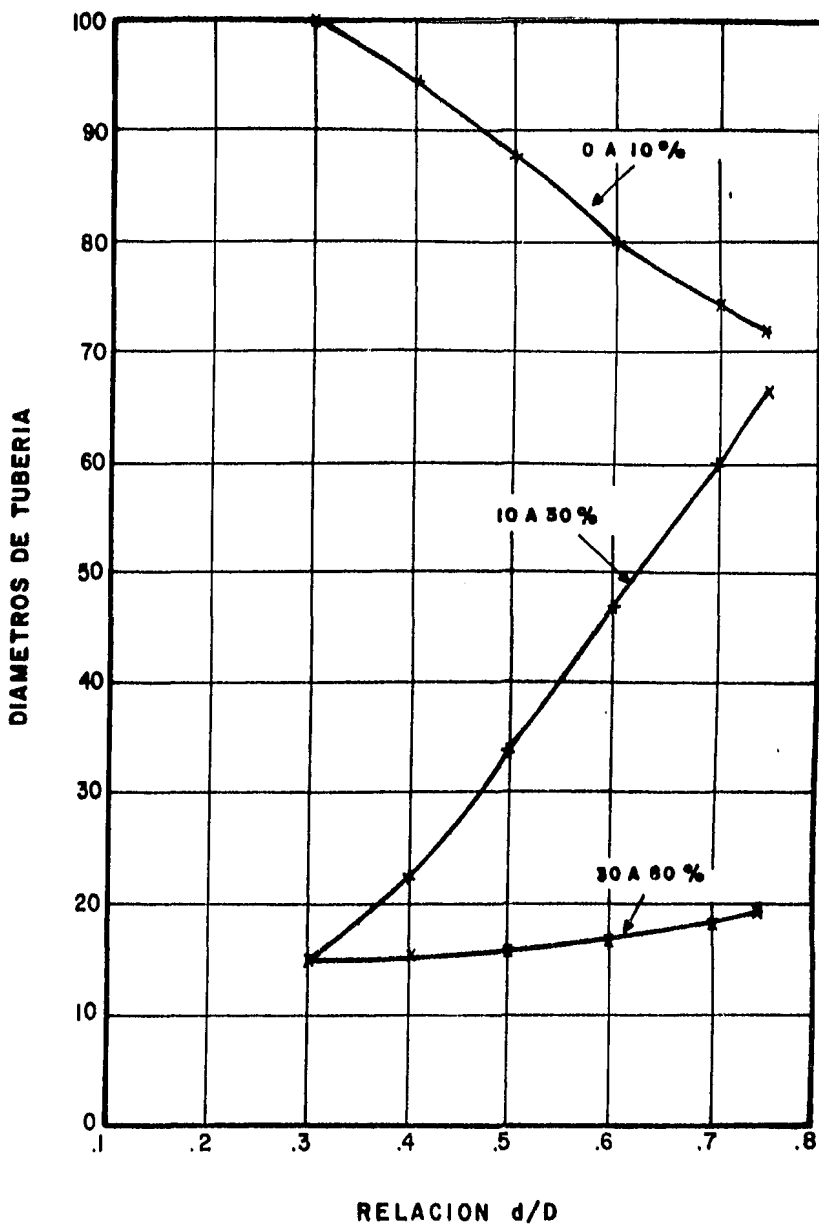
DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA PLACA DE ORIFICIO LOCALIZADA DESPUES DE TRES CODOS DE 90°



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESSES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

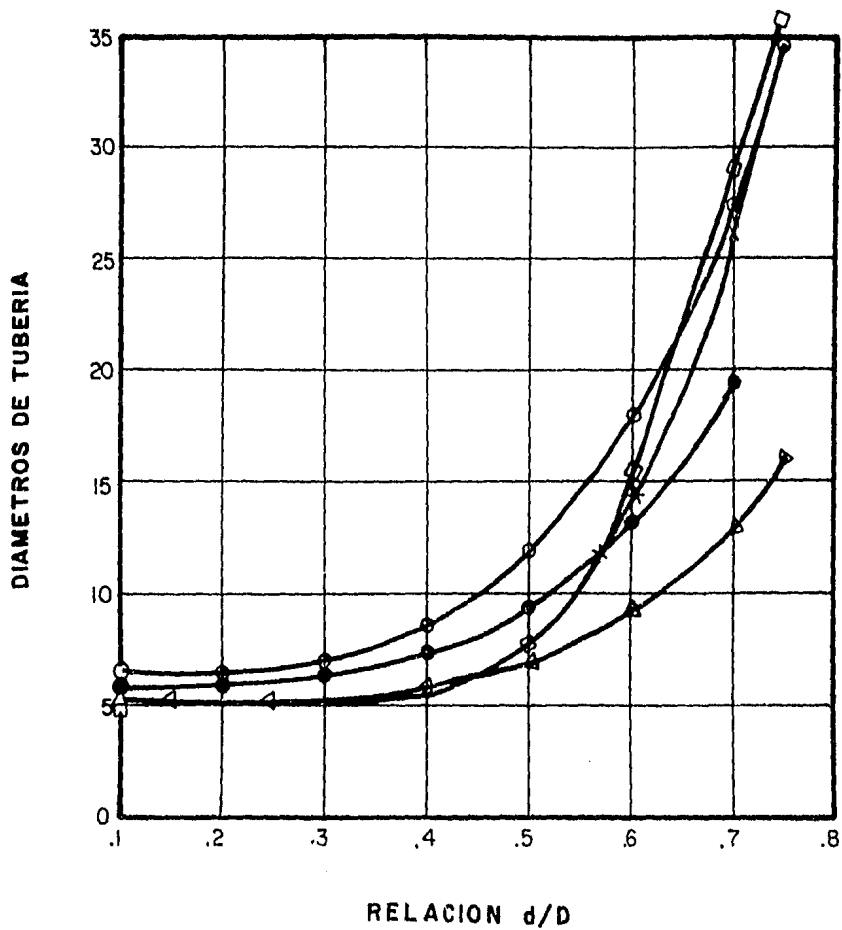
NOTA: CURVA ASME SUPERIOR, PARA VALVULA DE GLOBO
 CURVA ASME INFERIOR, PARA VALVULA DE COMPUERTA

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA PLACA DE ORIFICIO LOCALIZADA DESPUES DE UNA VALVULA.



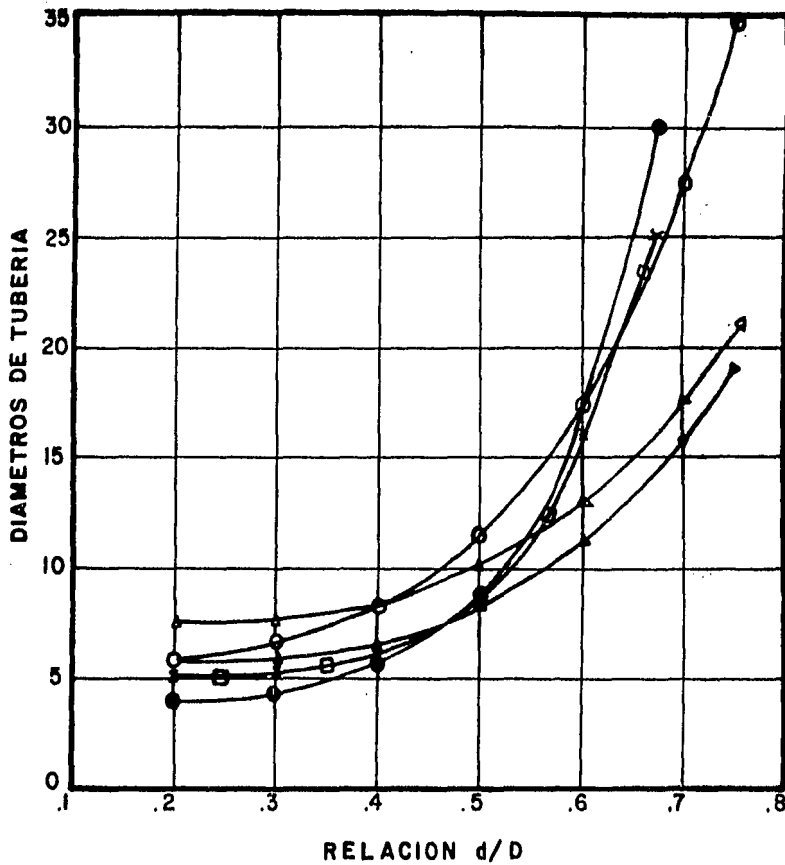
- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA PLACA DE ORIFICIO LOCALIZADA DESPUES DE UNA VALVULA DE COMPUERTA A DIFERENTES ABERTURAS.



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

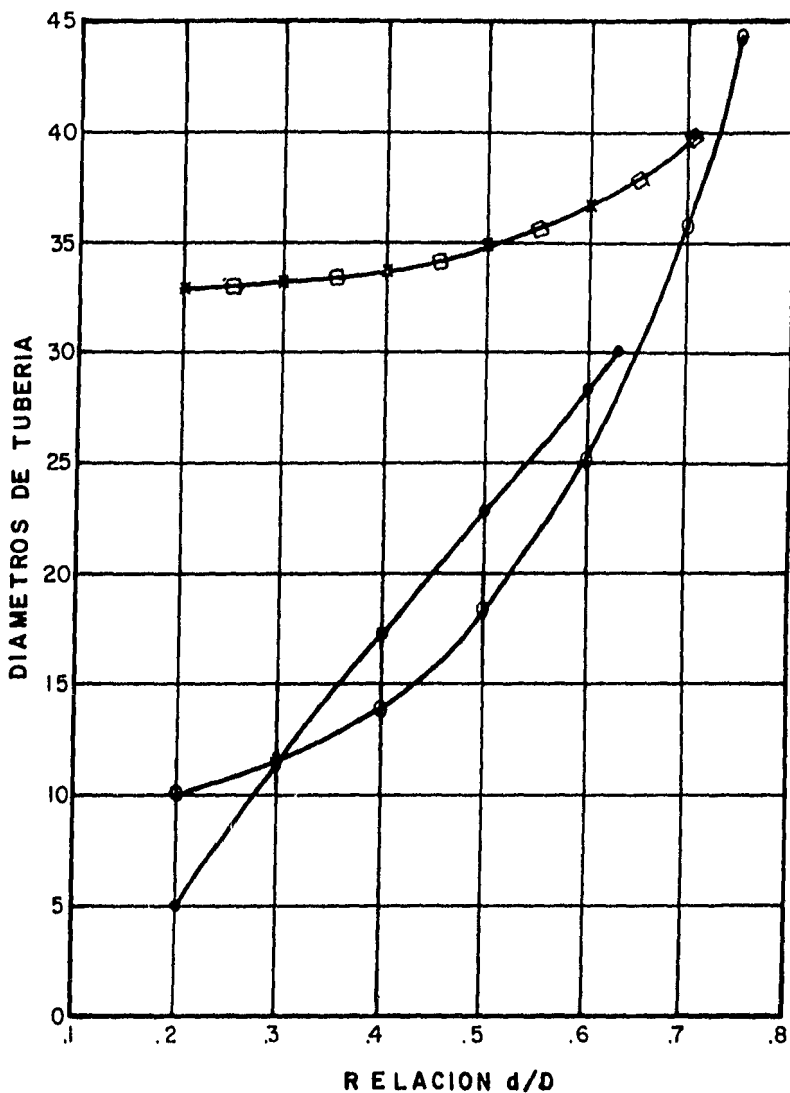
DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA TOBERA LOCALIZADA DESPUES DE UN CODO DE 90°



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

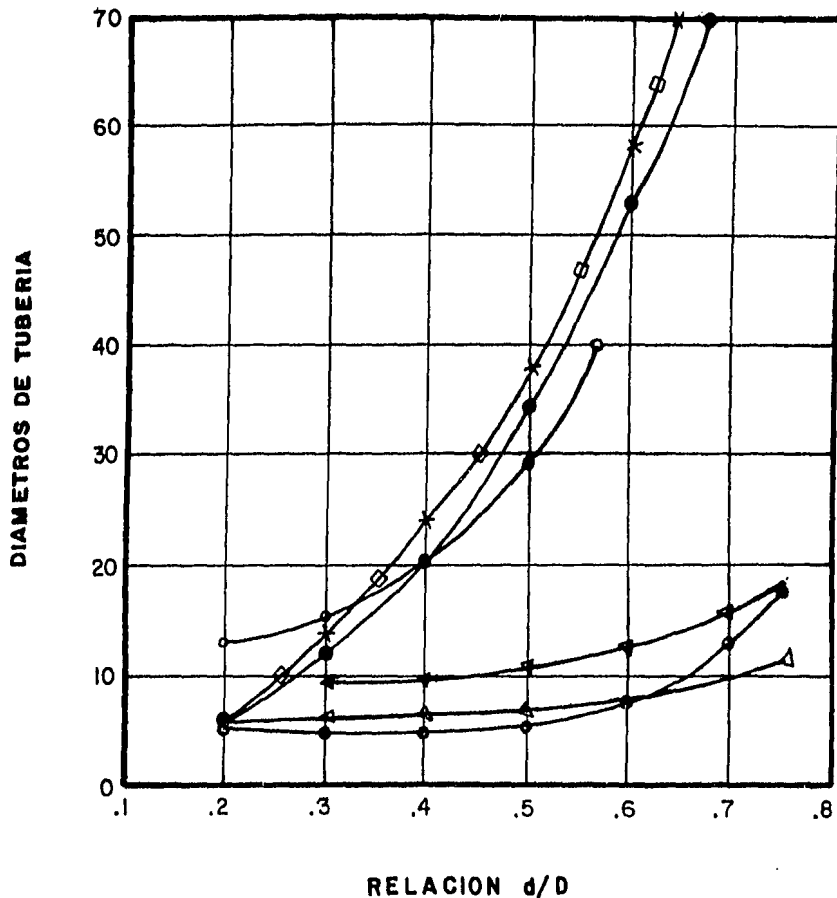
NOTA: CURVA ASME SUPERIOR, PARA CODOS DE RADIO CORTO
 CURVA ASME INFERIOR, PARA CODOS DE RADIO LARGO.

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA TOBERA LOCALIZADA DESPUES DE DOS CODOS DE 90° COLOCADOS EN EL MISMO PLANO



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- Δ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

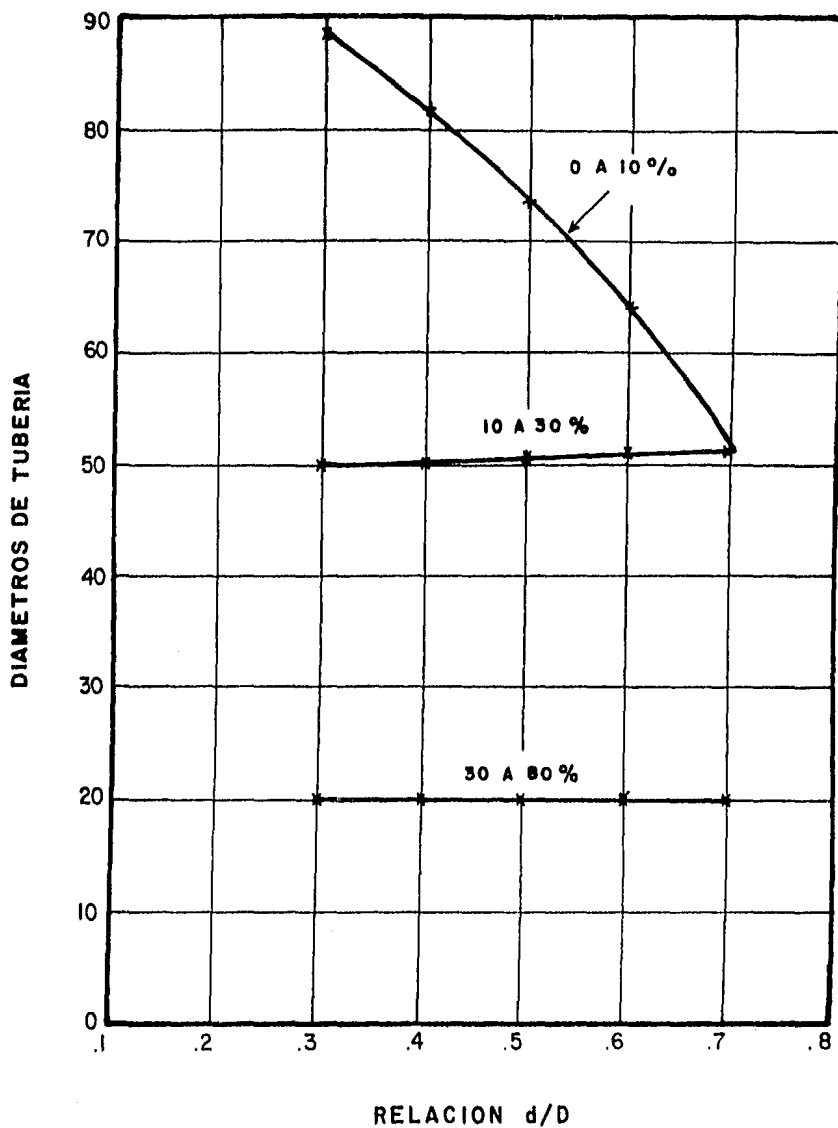
DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA TOBERA LOCALIZADA DESPUES DE TRES CODOS DE 90° COLOCADOS EN PLANOS DIFERENTES



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- X ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

NOTA : CURVA ASME SUPERIOR, PARA VALVULA DE GLOBO
 CURVA ASME INFERIOR, PARA VALVULA DE COMPUERTA

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA TOBERA LOCALIZADA DESPUES DE UNA VALVULA



- ESTANDARES DE AGA (AMERICAN GAS ASSOCIATION)
- △ ESTANDARES DE ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ESTANDARES INGLESES
- ESTANDARES FRANCESES
- × ESTANDARES ALEMANES
- ESTANDARES ITALIANOS

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UNA TOBERA LOCALIZADA DESPUES DE UNA VALVULA DE COMPUERTA A DIFERENTES ABERTURAS.

Un medidor de venturi puede instalarse en posición horizontal ; vertical, con flujo hacia arriba o hacia abajo; o inclinada, siempre y cuando se encuentre completamente lleno del fluido a medir. En la mayoría de los casos, las tomas de presión se colocan horizontalmente.

Como regla general, se requiere proveer al venturi de la longitud de tubería recta necesaria para tener un patrón simétrico de velocidades de flujo.

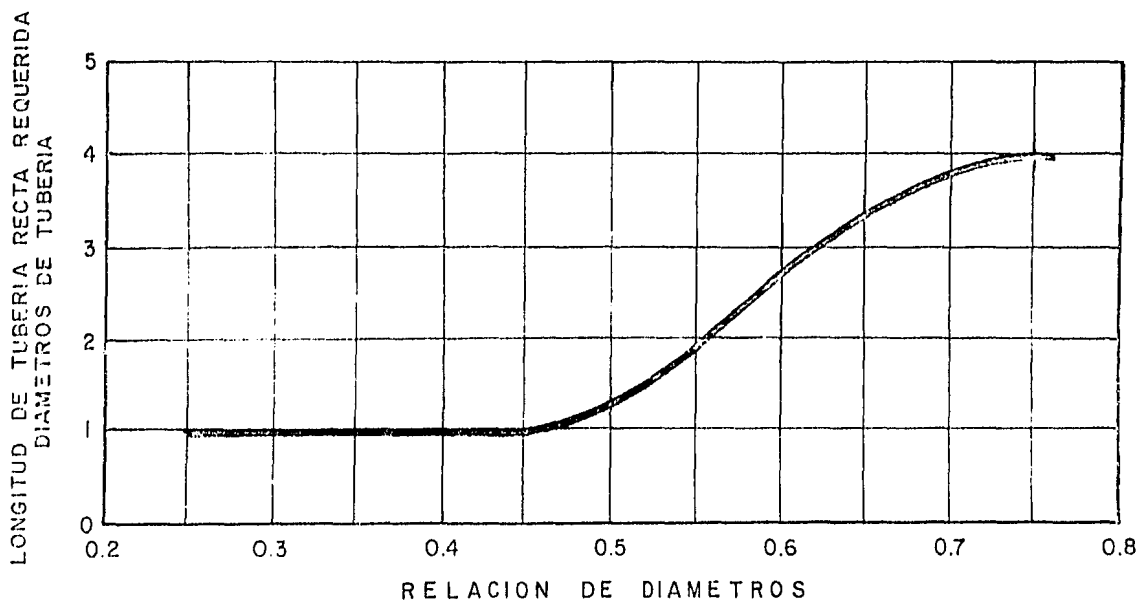
En la mayoría de las aplicaciones, un medidor de venturi requiere menos tubería recta que una placa de orificio, una tobera de flujo o un tubo pitot.

Se requiere menos tubería cuando la relación del diámetro de la garganta al diámetro de la tubería, es menor. Específicamente, con una relación de diámetros de 0.53, se requiere una longitud igual a 10 veces el diámetro de la tubería; con una relación de 0.63, se requiere una longitud de 20 veces el diámetro, para configuraciones de tubería en dos planos.

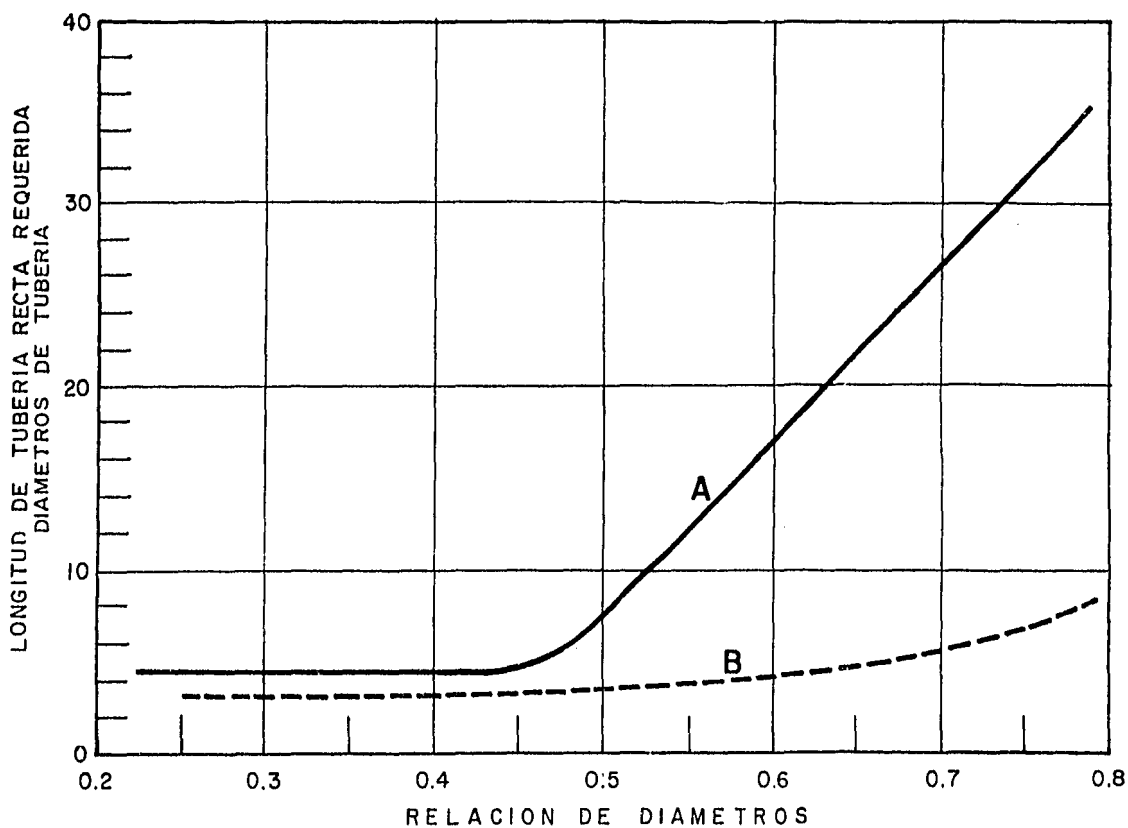
Si se usan alineadores de flujo, la distancia entre estos y el venturi, deberá ser por lo menos de 2 diámetros de tubería y la misma distancia entre el accesorio que ocasiona la perturbación del flujo, y los alineadores.

La configuración de la tubería después del venturi, no tiene efecto en la precisión de la medición. Puede conectarse un codo o una reducción a la salida del venturi; si el venturi estará seguido de una válvula, deberá dejarse una distancia mínima entre estos, de 2 diámetros de tubería.

Los requerimientos de tubería antes del medidor de venturi, para diferentes accesorios, pueden estimarse a partir de las gráficas que a continuación se presentan.^{6.8}



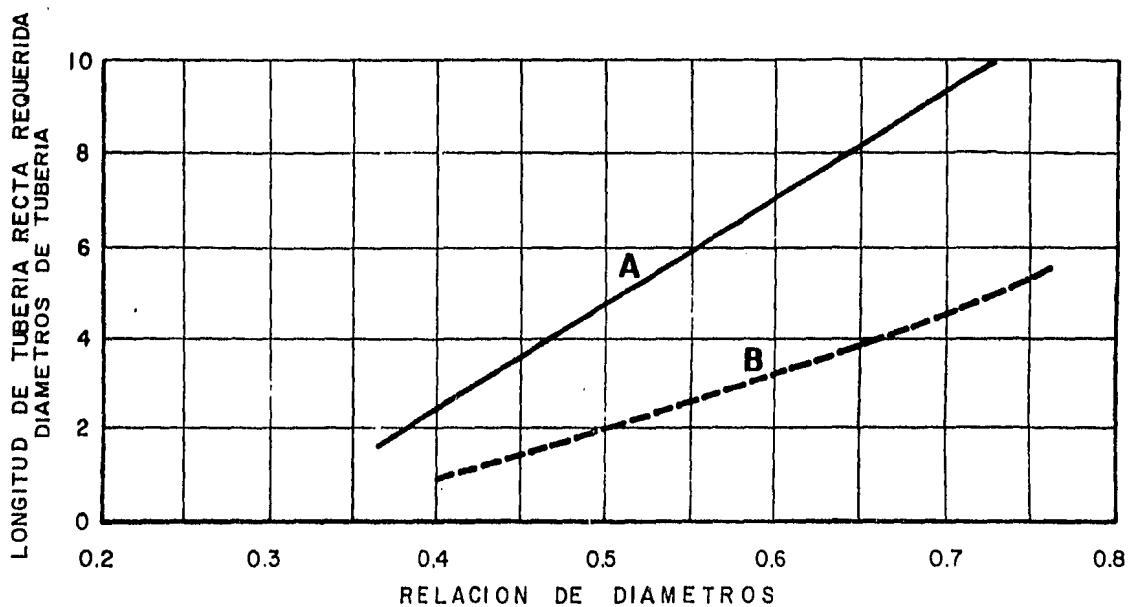
DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UN VENTURI LOCALIZADO DESPUES DE UNO O DOS CODOS DE 90° COLOCADOS EN EL MISMO PLANO.



A = SIN ALINEADORES DE FLUJO.

B = CON ALINEADORES DE FLUJO.

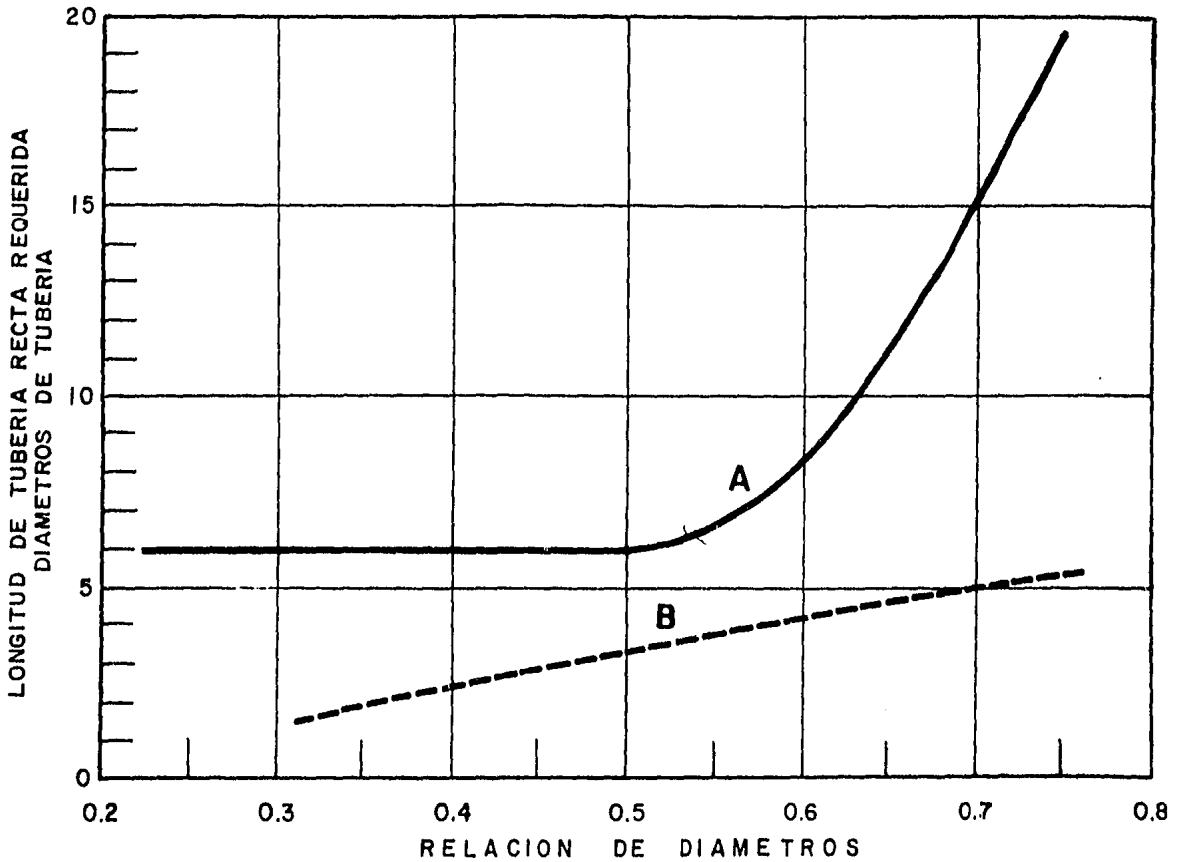
DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UN VENTURI LOCALIZADO DESPUES DE DOS CODOS DE 90° COLOCADOS EN PLANOS DIFERENTES



A = REDUCCION

B = EXPANSION

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UN VENTURI LOCALIZADO DESPUES DE UN CAMBIO DE AREA.



A = VALVULA DE COMPUERTA DE GLOBO O RETENCION PARCIALMENTE CERRADA.

B = VALVULA DE COMPUERTA TOTALMENTE ABIERTA.

DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA UN VENTURI LOCALIZADO DESPUES DE UNA VALVULA.

Como se mencionó anteriormente la ASME ha publicado sus estándares para requerimientos de instalación de placas de orificio, toberas, venturis y tubos lo-loss. A continuación se presentan las gráficas correspondientes.^{6.1}

Debe usarse el diagrama que corresponda más cercanamente al arreglo de tubería real para determinar las longitudes de tubería recta requeridas a la entrada y a la salida del medidor. Estas longitudes han sido determinadas para tener un error en la medición, ocasionado por configuraciones de tubería, de menos de $\pm 0.5\%$.

Cuando no es posible arreglar la tubería para proveer las longitudes recomendadas, o cuando existe incertidumbre con respecto a cuál de los diagramas usar, deben colocarse alineadores de flujo. En los diagramas se muestran también las dimensiones requeridas cuando se usan estos dispositivos, que deben estar precedidos por 2 o más diámetros de tubería recta.

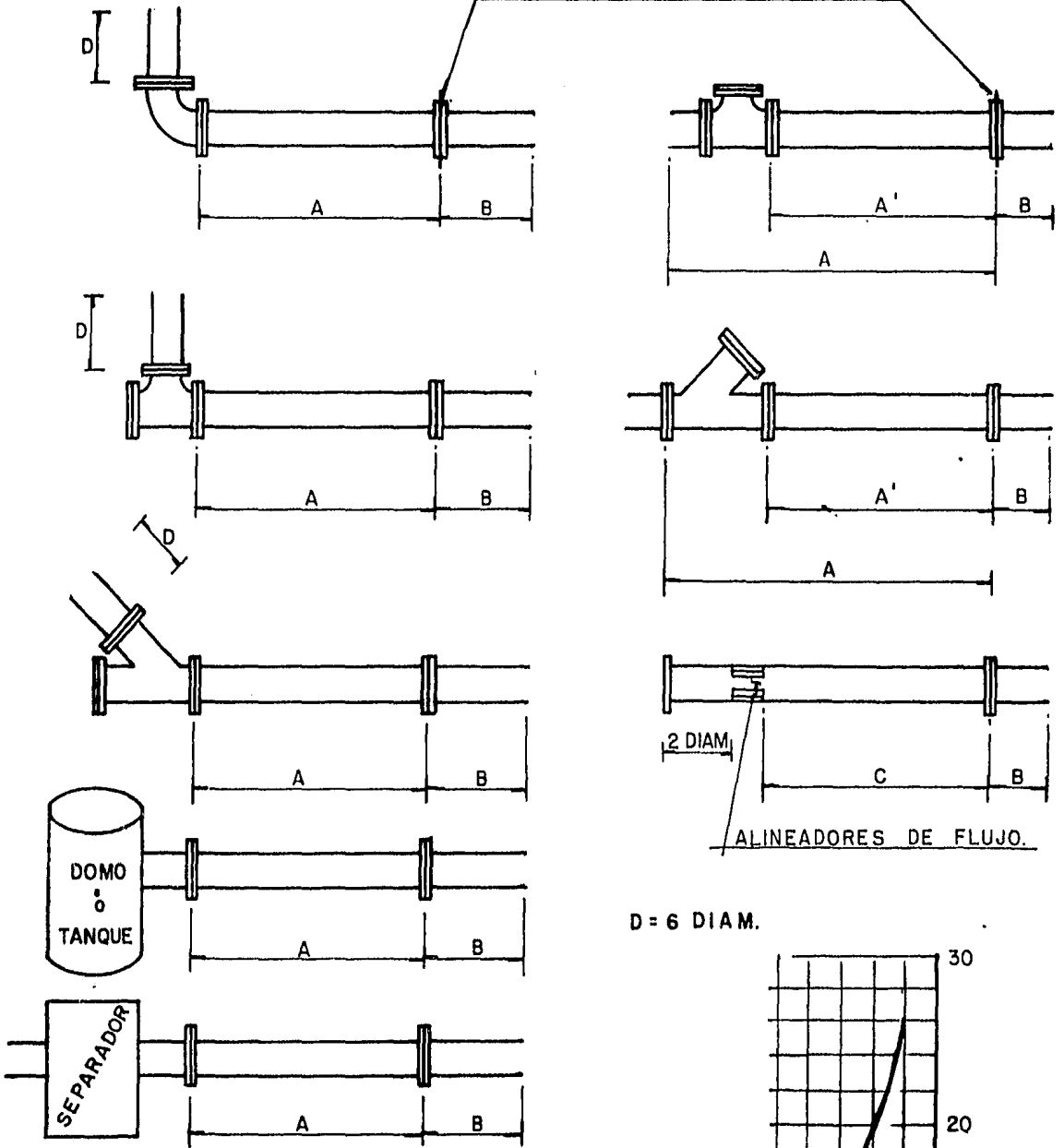
Deben proveerse longitudes mayores a las indicadas cuando sea posible.

Si no es posible proveer las longitudes mínimas recomendadas, aún con el uso de alineadores de flujo, debe aplicarse una tolerancia adicional a la medición de $\pm 0.5\%$.

Debe evitarse el uso de cualquier tipo de medidor de presión diferencial en tuberías que contengan equipos reciprocantes. Sin embargo, cuando se manejan líquidos, la medición puede corregirse por efectos de pulsación, si existe un tiempo de respuesta adecuado. Por otro lado, con flúidos compresibles, no es posible una medición confiable; si existen pulsaciones éstas deben reducirse o suprimirse completamente mediante algún dispositivo colocado entre la fuente y el elemento primario.

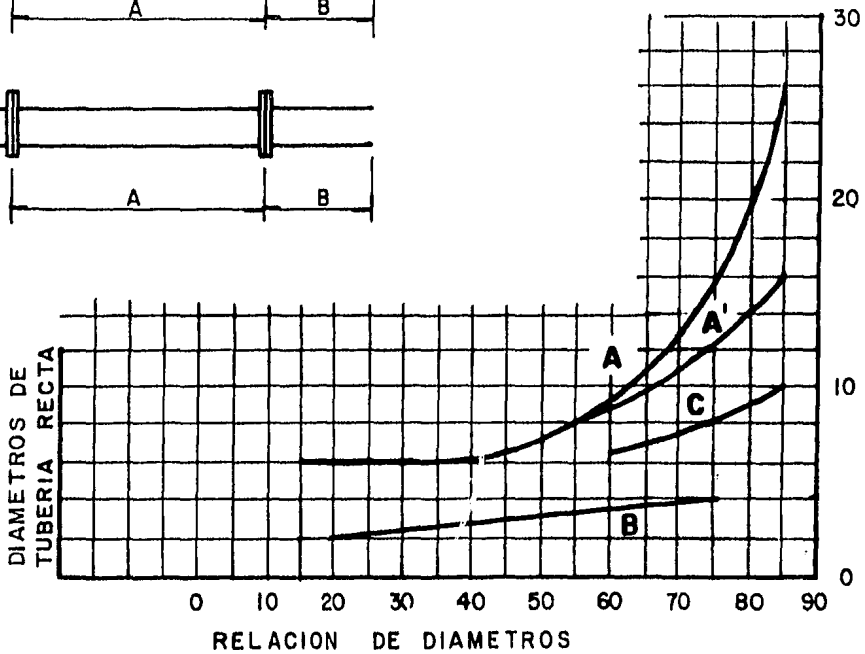
Si se tiene una bomba tipo turbina o centrífuga, el elemento primario de medición debe colocarse antes, y tan lejos como sea posible, de la bomba. Si se coloca a la descarga, siempre se necesitarán alineadores de flujo para eliminar los remolinos. Debe haber una longitud mínima de 8 diámetros de tubería entre los alineadores y el elemento primario. Si existen accesorios entre la bomba y el medidor, los alineadores deberán colocarse como se muestra en las gráficas.

PLACA DE ORIFICIO o TOBERA

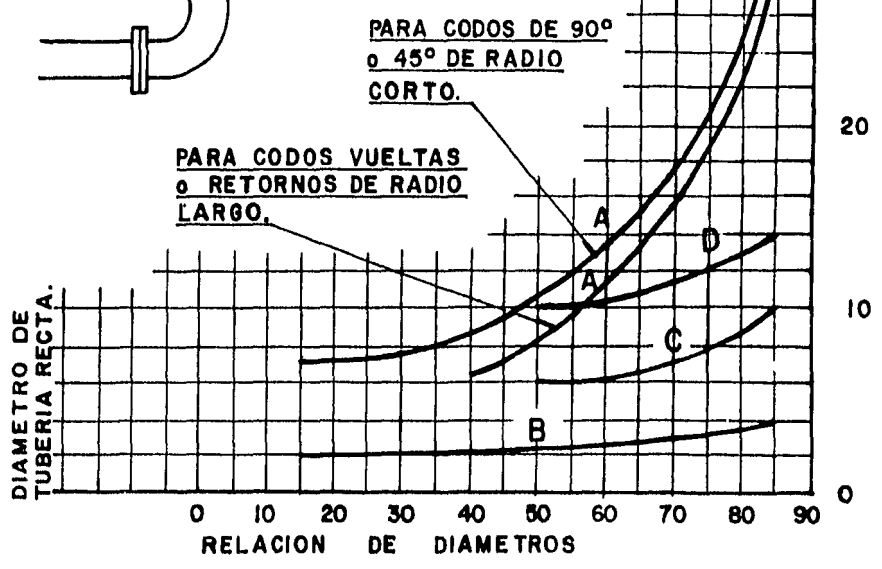
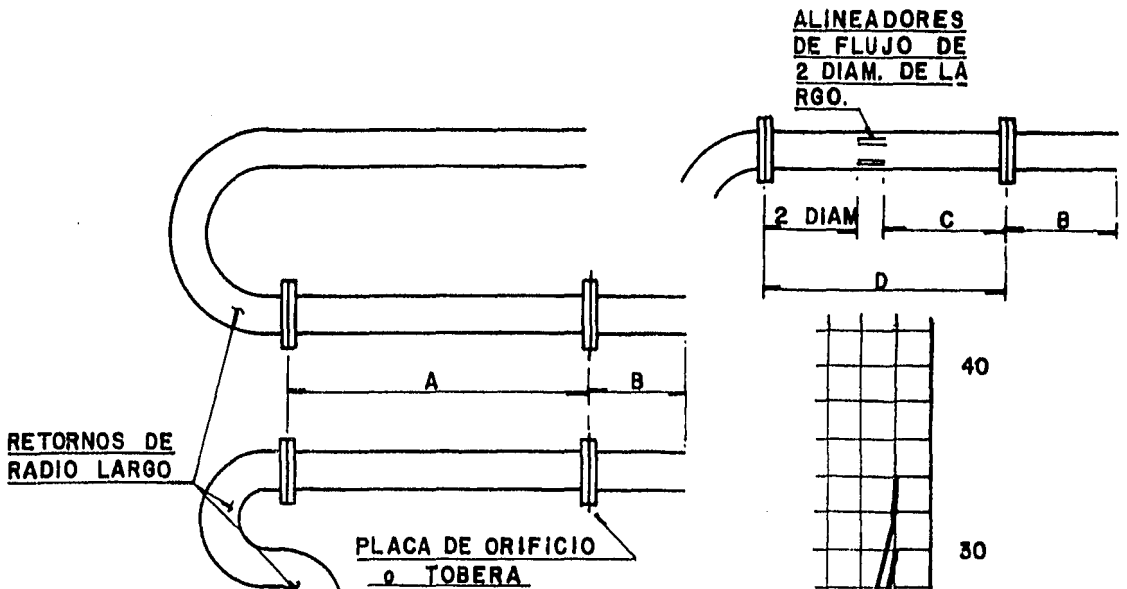
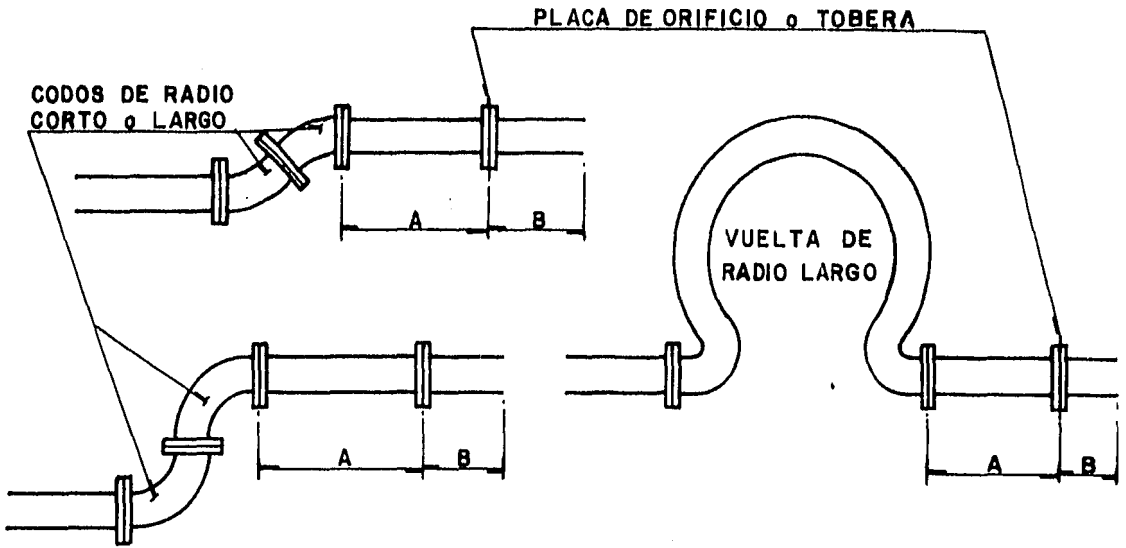


ALINEADORES DE FLUJO.

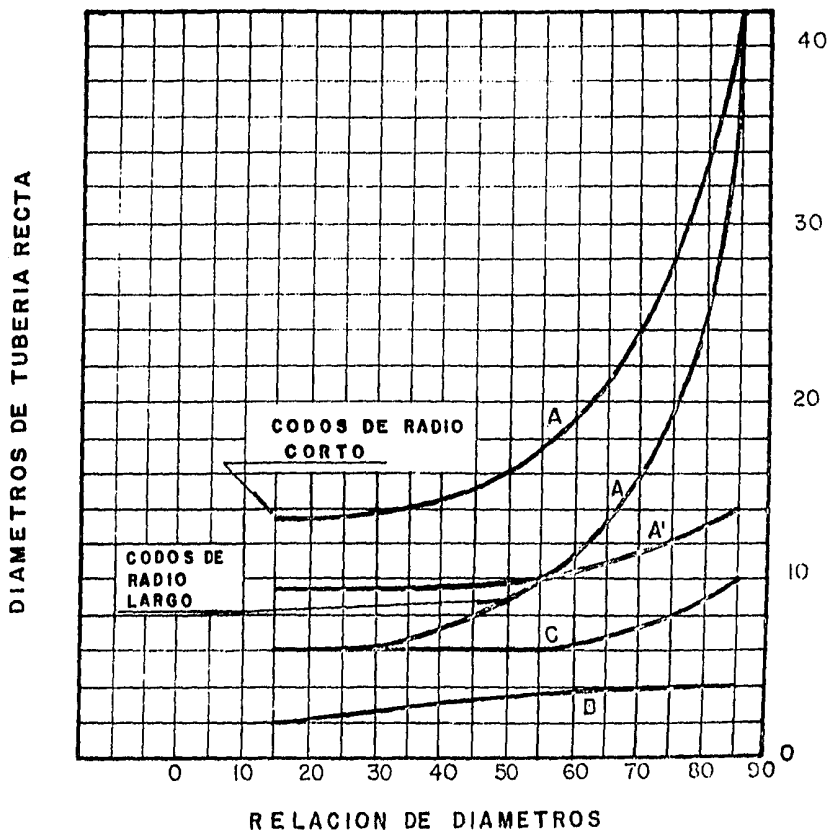
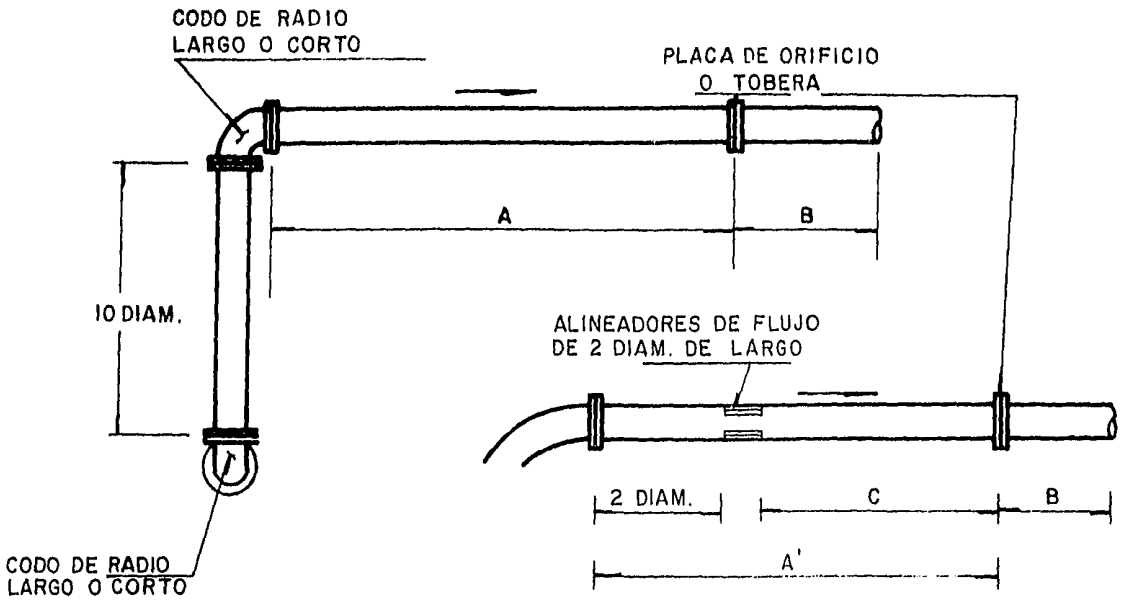
D = 6 DIAM.



LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS PRECEDIDAS DE ACCESORIOS DIVERSOS COLOCADOS EN EL MISMO PLANO.

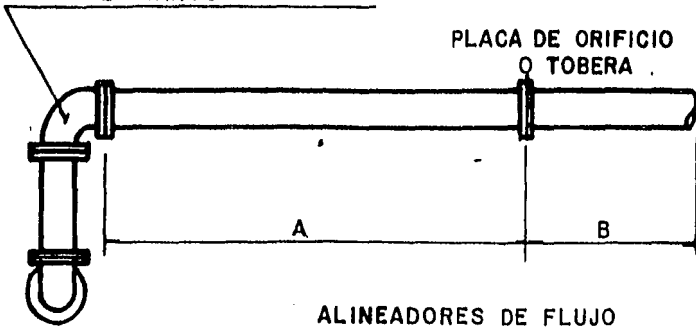


LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS PRECEDIDAS DE ACCESORIOS DIVERSOS COLOCADOS EN EL MISMO PLANO.

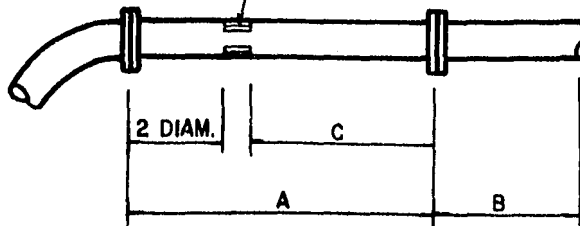


LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS PRECEDIDAS DE ACCESORIOS DIVERSOS COLOCADOS EN PLANOS DIFERENTES.

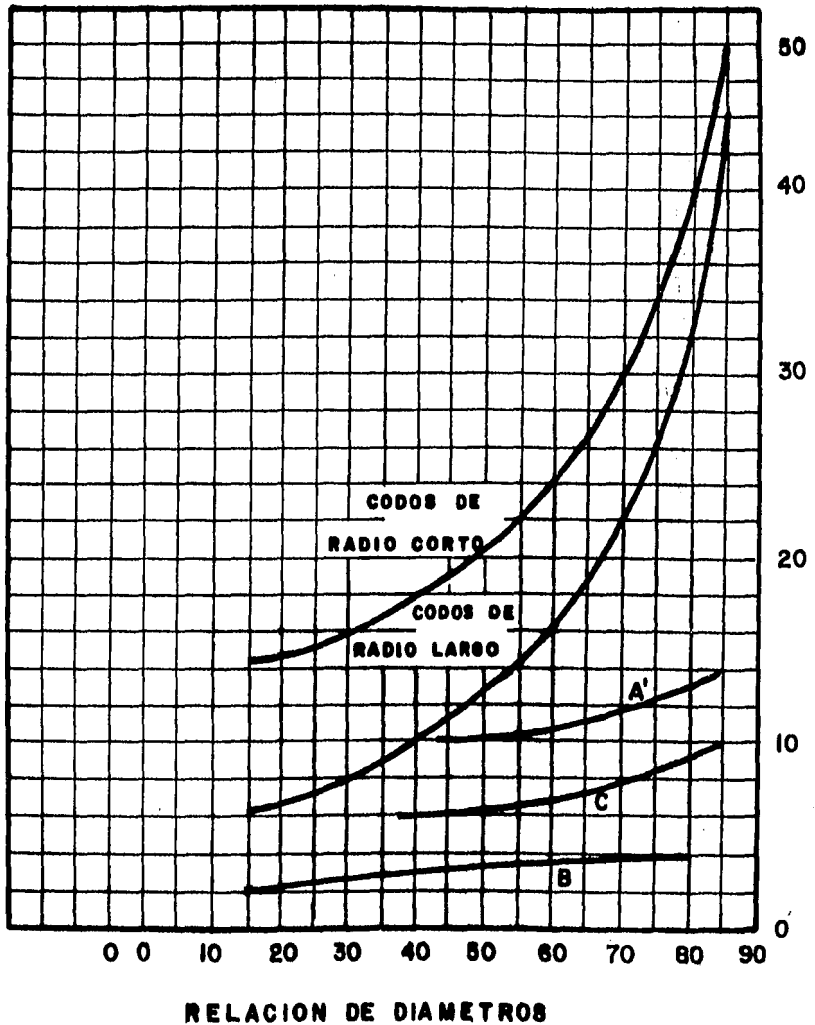
CODOS DE RADIO CORTO
O LARGO



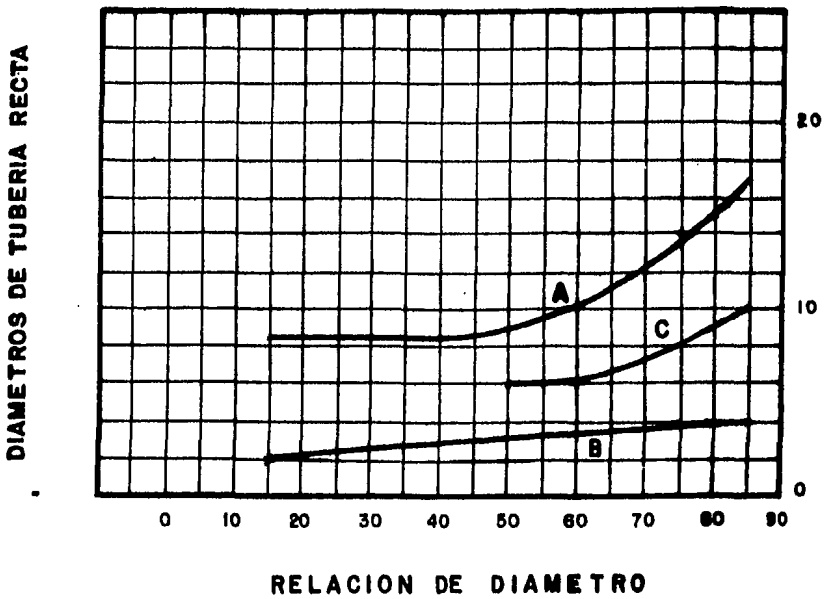
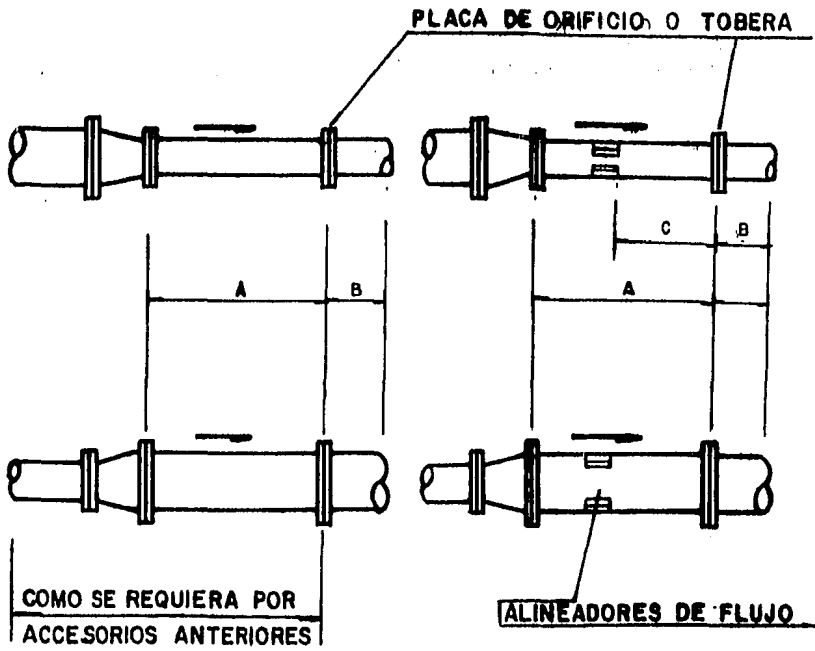
ALINEADORES DE FLUJO
DE 2 DIAM. DE LARGO



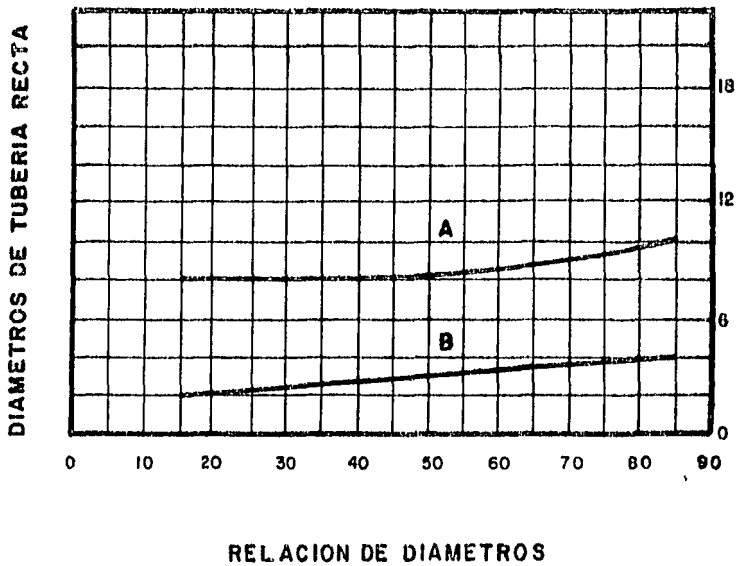
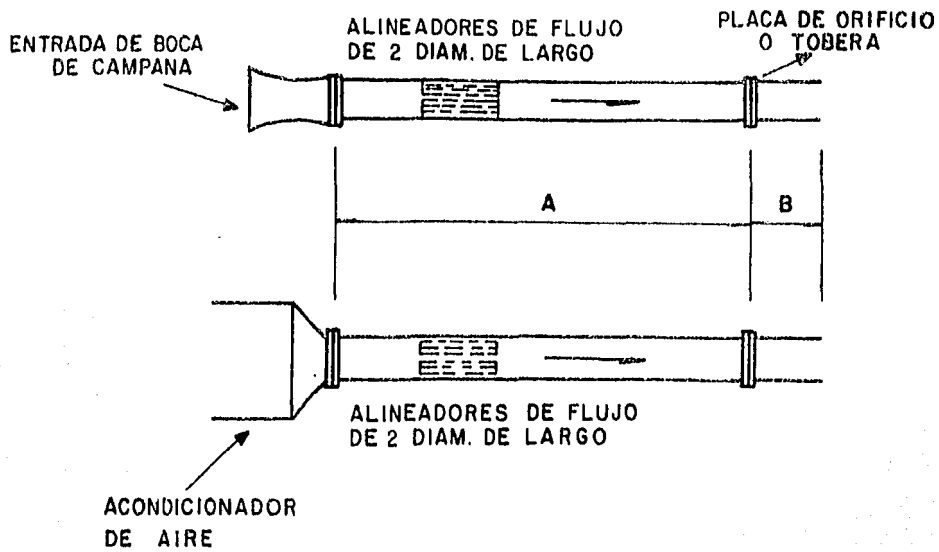
DIAMETROS DE TUBERIA RECTA



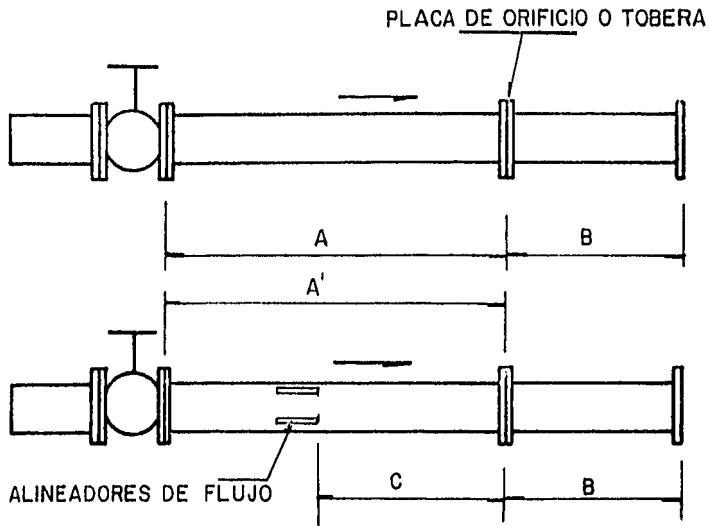
**LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS
PRECEDIDAS DE ACCESORIOS DIVERSOS COLOCADOS EN PLANOS
DIFERENTES.**



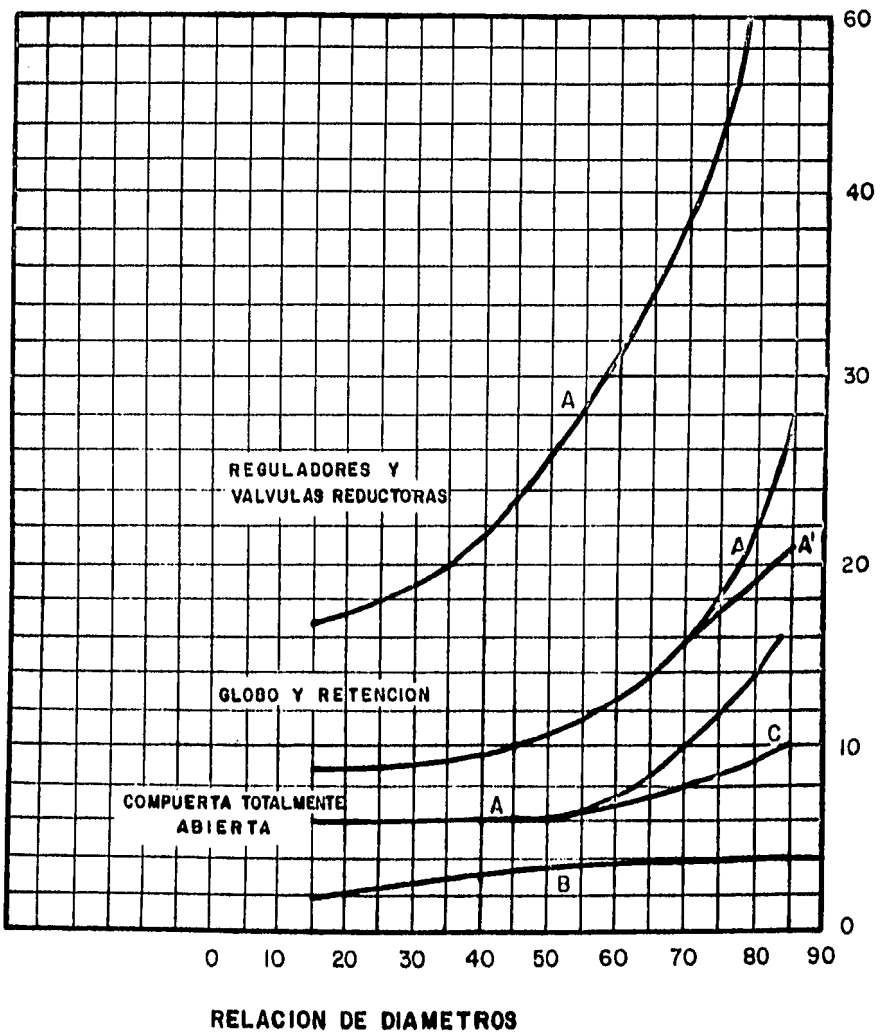
LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS PRECEDIDAS DE CAMBIOS DE DIAMETRO.



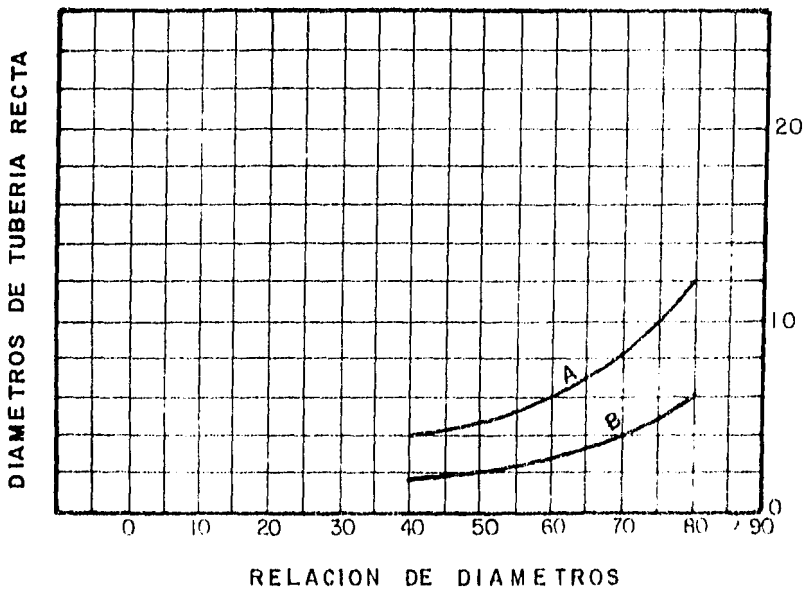
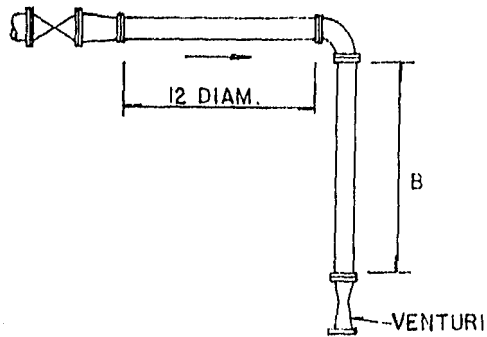
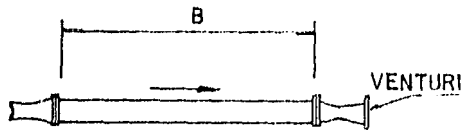
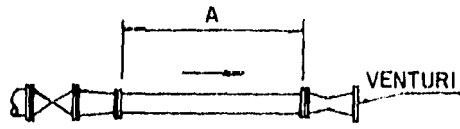
LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS LOCALIZADAS DESPUES DE TOMAS ATMOSFERICAS



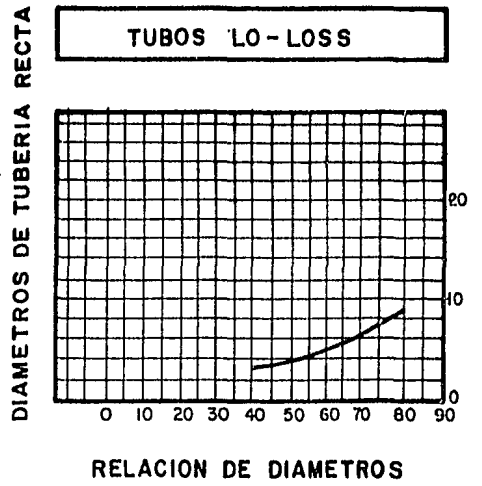
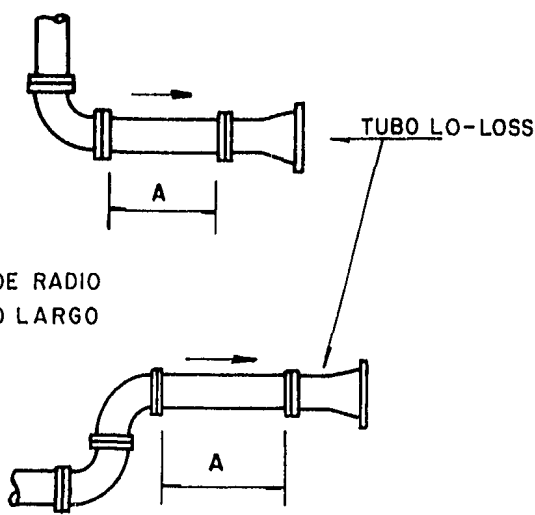
DIAMETROS DE TUCERIA REQUERIDA



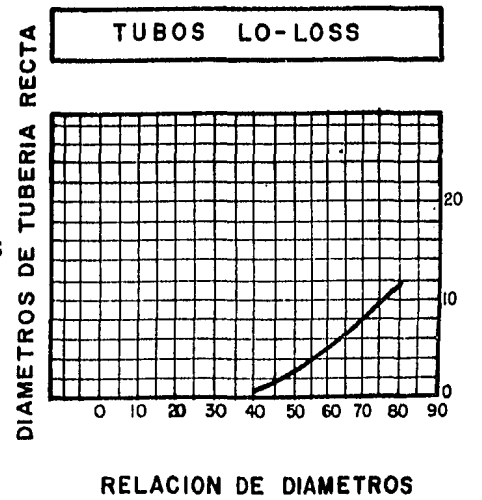
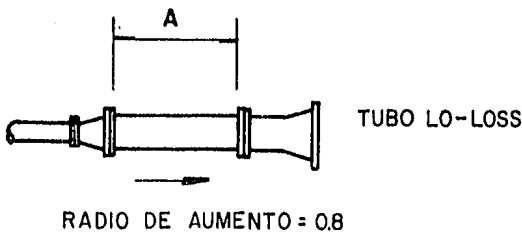
**LONGITUDES RECOMENDADAS PARA PLACAS DE ORIFICIO
Y TOBERAS PRECEDIDAS DE VALVULAS**



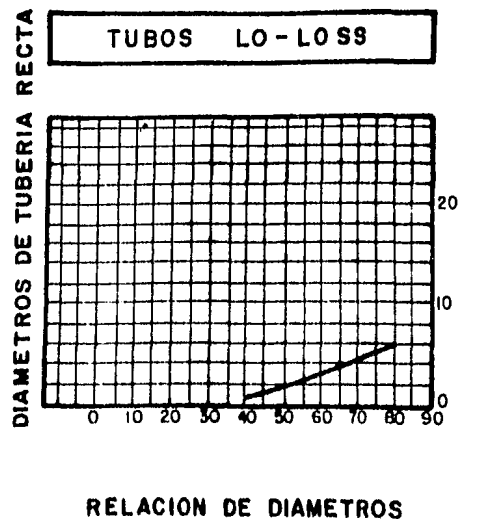
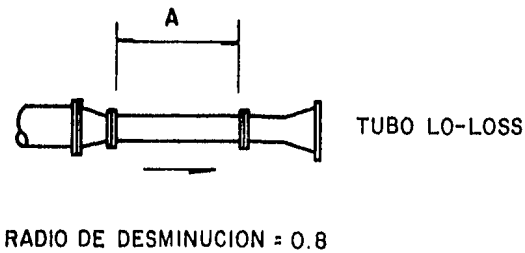
LONGITUDES RECOMENDADAS PARA MEDIDORES DE VENTURI



LONGITUDES RECOMENDADAS PARA TUBOS LO-LOSS PRECEDIDOS DE CODOS



LONGITUDES RECOMENDADAS PARA TUBOS LO-LOSS PRECEDIDOS DE EXPANSIONES



LONGITUDES RECOMENDADAS PARA TUBOS LO-LOSS PRECEDIDOS DE REDUCCIONES

Todas las desventajas que presenta el tubo pitot convencional, pueden eliminarse con un tubo pitot promediante, llamado Annubar.

El annubar es un dispositivo económico en términos de costos de operación y de capital, que en aplicaciones poco comunes puede instalarse en tuberías subterráneas sin tener que sacar éstas para mantenimiento.

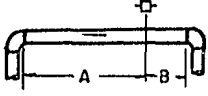
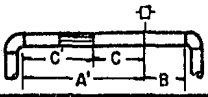
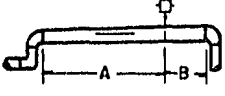
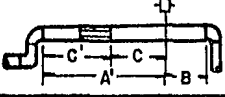
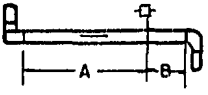
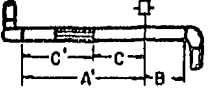
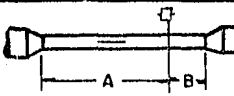
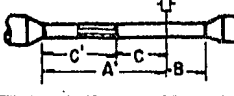
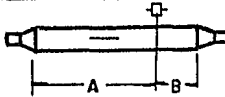
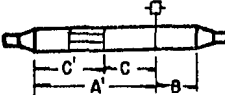
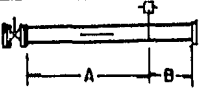
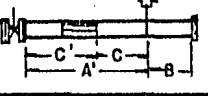
Este dispositivo puede instalarse en tuberías de $\frac{1}{2}$ a 180 pulgadas, para presiones de -30 in Hg a 2500 psi, y temperaturas de hasta 1200 °F.

A continuación se presenta una tabla en la que se indican las distancias mínimas recomendadas, en términos de diámetros de tubería, antes y después de un annubar. ^{6.8}

REQUERIMIENTOS DE TUBERIA RECTA PARA ANNUBARS

Configuración de la tubería	Distancia antes del annubar			Distancia después del Annubar
	con alineadores	mismo plano	distinto plano	
Un codo o "T"	6	7	9	3
Dos codos o un codo y una "T" en el mismo plano	8	9	14	3
Dos codos o un codo y una "T" en planos distintos	9	19	24	4
Reducción o expansión válvula de compuerta o bola totalmente abierta	8	8	8	3
Válvulas parcialmente abiertas válvula de globo	9	24	24	4

Nota: Las válvulas de control deben colocarse después del annubar

	DISTANCIA ANTES DEL ANNUBAR					DISTANCIA DESPUES DEL ANNUBAR B
	SIN ALINEADORES		CON ALINEADORES			
	MISMO PLANO A	DISTINTO PLANO A	A'	C	C'	
	7	9				3
				6	2.7	
	9	14				3
				8	3.6	
	19	24				4
				9	4.1	
	8	8				3
				8	3.6	
	8	8				3
				8	3.6	
	24	24				4
				9	4.1	

DIAMETROS DE TUBERIA RECTA MINIMA PARA ANNUBARS 6.17

CRITERIOS PARA DISEÑAR SISTEMAS QUE MANEJAN SUSPENSIONES

Las suspensiones son líquidos (usualmente agua), que contienen sólidos abrasivos suspendidos que ocasionan que la densidad relativa, del fluido base, aumente. Las suspensiones se clasifican en base al tamaño de los sólidos como finas, arenosas, cóarcicas y lodosas.

Las suspensiones se comportan como fluidos no newtonianos con una viscosidad aparente que depende del grado de suspensión, el cual depende a su vez del flujo. Generalmente, esto puede relacionarse con una velocidad de asentamiento o con un flujo mínimo necesario para que los sólidos se mantengan en suspensión y se evite el asentamiento. El asentamiento depende, por supuesto, del tamaño de los sólidos, así como de su concentración.

Velocidades Recomendadas

Las velocidades requeridas para mantener los sólidos en suspensión en agua, para varias clases de suspensiones, son: ^{6.16}

TIPO DE SUSPENSION	TAMAÑO DE PARTICULA	VELOCIDAD
Fina	75 μm o menos	3 ft./seg (0.9 m/seg)
Arenosa	75 a 850 μm	5 ft./seg (1.5 m/seg)
Coárcica	850 a 5000 μm	7 ft./seg (2.1 m/seg)

Las velocidades anteriores están basadas en suspensiones con un contenido de sólidos del 30 al 35%, teniendo los sólidos una densidad relativa de 2.5 a 3.0.

La velocidad de flujo es crítica, puesto que es un factor muy importante en la determinación de las pérdidas friccionales. Esto no es

necesariamente significativo en aplicaciones de transporte de fluidos que involucran velocidades dentro de los rangos recomendados.

Sin embargo, la velocidad puede ser un factor crítico en aplicaciones prácticas que involucren el transporte de sólidos en suspensión. La velocidad determinará que los sólidos se transporten en suspensión (flujo homogéneo) o que tiendan a asentarse formando capas en el fondo (flujo heterogéneo).

Para producir flujo homogéneo, es necesario que la velocidad de flujo sea mayor a la velocidad de asentamiento de los sólidos en el fluido. Esto establece requerimientos de velocidad crítica o mínima para el manejo de fluidos que contengan sólidos en suspensión, que sólo pueden determinarse satisfactoriamente mediante experimentación.

Algunas velocidades recomendadas se dan en la tabla siguiente.^{6.16}

VELOCIDADES MINIMAS PARA SUSPENSIONES

TIPO	TAMAÑO DE SOLIDOS (número de malla)	VELOCIDAD ft/seg (m/seg)
Fina	más de 200	3 - 5 (1.0 - 1.5)
Arenosa	200 - 20	5 - 7 (1.5 - 2.0)
Coárcica	20 - 4	7 - 11 (2.0 - 3.25)
Lodosa		11 - 14 (3.25 - 4.25)

Por otro lado, la abrasión producida por una suspensión, es importante a velocidades mayores a 7 ft/seg y es el factor clave a velocidades de 15 ft/seg. Para estas velocidades puede usarse tubería forrada. El desgaste de la tubería se incrementa exponencialmente con la velocidad y el exponente es del orden de 2.1 a 2.9.

Materiales de Tubería

Al diseñar sistemas que manejan suspensiones, se trata siempre de seleccionar la tubería más económica de acuerdo con la aplicación específica. Esta selección depende de los límites de temperatura y presión permisibles, y de la corrosividad y abrasividad de la suspensión. Los materiales disponibles son, acero al carbón no forrado, acero al carbón forrado de caucho, acero al carbón forrado de concreto, acero especial resistente a la abrasión y aluminio.

El acero al carbón no forrado es el material más empleado, ya que es el menos costoso, los demás materiales se usan sólo cuando la suspensión es muy corrosiva o muy abrasiva.

Espesor de Pared Requerido

El espesor de una tubería que maneja suspensiones depende obviamente de la abrasividad y corrosividad de la suspensión, lo cual sólo puede analizarse para cada caso específico. También depende de la presión de operación, lo cual se analiza con fórmulas estándares.

El rango económico de espesores es de 0.188 a 0.5 pulgadas, siendo 0.75 el máximo práctico usual. Como regla, puede decirse que la relación del diámetro externo de la tubería al espesor de la misma, sea menor o igual a 128.

Almacenamiento

El tamaño y el tipo de almacenamiento, dependen del tiempo de residencia de la planta de preparación de la suspensión y de la tubería para conducirla al almacenamiento. También depende del tipo de suspensión.

Para la mayoría de las suspensiones que se manejan en tuberías largas, es una buena regla tener una capacidad de almacenamiento mínima equivalente a 6 horas de producción de la planta.

Tubería de Succión de Bombas

Cualquier tubería que esté conectada a la succión de una bomba, debe colocarse algunos pies arriba del piso del tanque de almacenamiento, para evitar el arrastre de partículas asentadas hacia la bomba.

CRITERIOS APLICADOS A LINEAS DE RETORNO DE VAPOR CONDENSADO

El diámetro de la línea que conecta al cambiador de calor con la trampa de vapor se fija normalmente para acoplarse al tamaño nominal de la trampa.

Cuando se determina el diámetro de la línea de condensado que sale de la trampa, el "flasheo" debe considerarse. Aún a presiones muy bajas, si el condensado se encuentra a su temperatura de saturación antes de la trampa, el volumen de vapor es muchas veces el del líquido. En estos casos, es posible dimensionar la línea de condensado de acuerdo con la cantidad de vapor formado. La velocidad del vapor no deberá ser muy alta, para evitar ruido y erosión. Una velocidad de 50 ft/seg (15 m/seg), al final de la línea antes de la entrada del tanque colector o recipiente flash, es un valor empírico útil.

Para tuberías largas (de más de 300 ft o 100 m) y para flujos grandes de condensado, la caída de presión deberá calcularse para evitar que la contrapresión se vuelva muy elevada.

Cuando el condensado se encuentra principalmente en el estado líquido, la velocidad del mismo deberá ser, si es posible, de 1.64 ft/seg (0.5 m/seg) o mayor.

Si el condensado es bombeado en la línea de descarga, solamente podrá estar en fase líquida. Para determinar el diámetro de la línea, la velocidad media puede ser de 5 ft/seg (1.5 m/seg).

RECOMENDACIONES PARA DISEÑAR DISTRIBUIDORES

El tipo de distribuidor más ampliamente usado es el de tubería perforada. La distribución de flujo debe ser uniforme, ésto se logra cuando existe un balance adecuado entre (1) la energía cinética y la fuerza de momentum de la corriente de entrada, (2) las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería, y (3) la caída de presión en los orificios de salida.

Para lograr que la diferencia entre los flujos que salen de cada uno de los orificios sea menor a $\pm 5\%$, se recomienda (1) que el radio, de la energía cinética de la corriente de entrada a la caída de presión en el orificio, sea menor o igual a $1/10$, y (2) que el radio, de la caída de presión en la tubería a la caída de presión en el orificio, sea también menor o igual a $1/10$.

La energía cinética puede calcularse con la siguiente ecuación: ^{6.13}

$$\text{Energía Cinética} = \frac{B}{2} \frac{V_i^2}{gc} \quad \text{en ft de fluido}$$

en donde: V_i = velocidad promedio a la entrada en ft/seg

gc = constante dimensional = $32.17 \text{ lb ft/ lbf seg}^2$

B = factor de corrección para la velocidad promedio

Este factor B se toma como 1.0 para flujo tapón (distribución de velocidad uniforme), de 1.05 a 1.1 para flujo turbulento en tuberías largas rectas, y 2.0 para flujo laminar.

En cuanto al coeficiente de orificio, generalmente se usa un valor de 0.6 a 0.63, lo cual es aplicable si la velocidad del fluido en el orificio es mayor que la velocidad del fluido en la tubería.

La caída de presión en la tubería puede calcularse con la siguiente ecuación: **6.13**

$$h_p = \left(\frac{4 f L}{3 D} - 2 \right) \frac{V_i^2}{2 g}$$

en donde: h_p = caída de presión neta de la entrada al extremo cerrado del distribuidor en ft de fluido

f = factor de fricción, adimensional

L = longitud del distribuidor en ft

D = diámetro de la tubería en ft, y

V_i = velocidad a la entrada en ft/seg

Suponiendo que el coeficiente de orificio es constante, el porcentaje de distribución anormal entre el primero y el último orificio estará dado por la siguiente ecuación: **6.13**

$$\% \text{ de distribución anormal} = 100 \left(1 - \sqrt{\frac{h_{oi} - h_p}{h_{oi}}} \right)$$

en donde h_{oi} es la caída de presión en el primer orificio en ft de fluido.

BIBLIOGRAFIA capítulo seis

- 6.1 ASME Research Committee on Fluid Meters
FLUID METERS, THEIR THEORY AND APPLICATION, 6th Ed.
The American Society of Mechanical Engineers
New York, 1971.
p. 179, 180, 181, 182
- 6.2 Aude, Thomas C.; Cowper, Norman T.; Thompson, Terry L.; Wasp, Edward J.
SLURRY PIPING SYSTEMS: TRENDS, DESIGN METHODS, GUIDELINES
Chemical Engineering, June 28, 1971.
- 6.3 Constance, John D.
PIPING AROUND CONTROL VALVES
Chemical Engineering, November 5, 1979.
- 6.4 Cowper, Norman T.; Thompson, Terry L.; Aude, Thomas C.; Wasp, Edward J.
PROCESSING STEPS: KEYS TO SUCCESSFUL SLURRY-PIPELINE SYSTEMS
Chemical Engineering, February 7, 1972.
- 6.5 Gas Processors Suppliers Association
ENGINEERING DATA BOOK, 9th Ed.
Gas Processors Suppliers Association
Tulsa, 1979.
p. 1-7, 1-8
- 6.6 Kern, Robert
PUMP PIPING DESIGN
Chemical Engineering, October 11, 1971.

- 6.7** Kern, Robert
MEASURING FLOW IN PIPES WITH ORIFICES AND NOZZLES
Chemical Engineering, February 3, 1975.
- 6.8** Kern, Robert
HOW TO SIZE FLOWMETERS
Chemical Engineering, March 3, 1975.
- 6.9** Kern, Robert
HOW TO DESIGN PIPING FOR PUMP-SUCTION CONDITIONS
Chemical Engineering, April 28, 1975.
- 6.10** Kern, Robert
HOW TO SIZE PIPING FOR PUMP-DISCHARGE CONDITIONS
Chemical Engineering, May 26, 1975.
- 6.11** McCabe, Warren L.; Smith, Julian C.
UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, 2nd Ed.
McGraw-Hill Book Company, Kogakusha Company, Ltd.
Tokyo, 1967.
p. 227, 228
- 6.12** McNulty, Frank G.
DESIGNING ORIFICES FOR FLOW REGULATION
Chemical Engineering, November 12, 1973.
- 6.13** Perry, Robert H.; Green, Don W.
PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 6th Ed.
McGraw-Hill Book Company
New York, 1984.
p. 5-16, 5-17, 5-48, 5-49

- 6.14** Rase, Howard F.
PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS
John Wiley & sons, Inc.
New York, 1963.
p. 239, 240, 241, 242, 243, 244
- 6.15** Spink, Leland K.
PRINCIPLES AND PRACTICE OF FLOW METER ENGINEERING, 9th Ed.
The Foxboro Company
Foxboro, 1975.
p. 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97
- 6.16** Warring, R.H.
HANDBOOK OF VALVES, PIPING AND PIPELINES, 1st Ed.
Gulf Publishing Company
Houston, 1982.
p. 123, 124, 167, 189
- 6.17** Información técnica obtenida mediante entrevistas.

**ANALISIS Y EVALUACION DE
CRITERIOS HEURISTICOS**

CAPITULO SIETE

ANALISIS Y EVALUACION DE CRITERIOS HEURISTICOS

La finalidad de este capítulo es analizar y evaluar los criterios heurísticos que se presentaron en los capítulos anteriores y presentar también ciertas reflexiones con respecto al tema general de la tesis.

Los criterios heurísticos son sólo una parte de un concepto más amplio, que es la heurística en sí; la definición presentada en la introducción es reevaluada y justificada en este capítulo, mediante una discusión sobre el particular.

La realización de este capítulo, que constituye la parte medular de este trabajo, requirió de la participación de distinguidos y experimentados profesionistas de la rama, quienes mediante sus conceptos y puntos de vista, enriquecieron el contenido y el valor de la tesis. Al final del capítulo se presenta la lista de colaboradores, en riguroso orden alfabético.

Se presenta primeramente el análisis y evaluación de los criterios heurísticos más trascendentes contenidos en los capítulos anteriores, entre los que se incluyen:

Los criterios de selección de materiales de construcción de tuberías, enfatizando las diferencias que existen al respecto en países desarrollados y en vías de desarrollo; se incluye también una discusión del uso de materiales plásticos.

Los valores recomendados de velocidades y caídas de presión para efectuar el dimensionamiento de tuberías, considerando el impacto que tiene la economía nacional e internacional en el establecimiento de los mismos.

Los factores de seguridad, un aspecto muy discutido, que revasa el contexto de la tesis, siendo sumamente importante su adecuado establecimiento.

Los criterios de determinación de la caída de presión en una tubería, resaltando la selección de los diferentes métodos de cálculo; y la fricción producida por válvulas y accesorios, analizando las diferentes fuentes de valores de longitudes equivalentes y coeficientes de resistencia, reportados en la literatura para estos dispositivos.

Los criterios aplicados a válvulas y medidores de flujo; los criterios de selección, en los que el carácter heurístico no es muy evidente; y los criterios para dimensionamiento, entre los que destaca la caída de presión a través de válvulas de control.

Los criterios para diseñar tuberías de succión y descarga de bombas.

Los criterios para diseñar tuberías alrededor de medidores de flujo, de los que existe una gran cantidad de referencias en la literatura que no siempre concuerdan entre sí.

Y una discusión sobre el carácter heurístico de las normas, estándares y especificaciones, establecidas por diferentes organizaciones.

La segunda parte del capítulo es más general. Se presentan diferentes opiniones con respecto a los criterios heurísticos y la discusión mencionada en relación a su definición. Después se presenta el papel que juegan los criterios heurísticos en la Ingeniería Química y cuándo deben aplicarse. Posteriormente se analiza si la optimización y la computación representan una opción más adecuada que los criterios heurísticos. Y por último se trata a cerca de la aplicación de los criterios heurísticos y de la heurística en el ejercicio profesional del Ingeniero Químico.

CRITERIOS DE SELECCION DE MATERIALES

En el capítulo uno se presentaron criterios establecidos en base a las normas de algunas asociaciones internacionales, criterios recomendados por autores de libros, y criterios basados en las prácticas estándares de algunas compañías.

Una de las fallas más frecuentes de cualquier proyecto industrial es que la compañía o las personas que proporcionan la tecnología, suponen que nunca va a pasar nada imprevisto. La mayoría de las veces no se especifican adecuadamente las incrustaciones, las corrosiones y las eventualidades que que pueden presentarse en la operación del proceso.

Sin embargo, estas condiciones deben tratar de evaluarse de la mejor manera, ya que de ellas depende que se seleccione el material de construcción adecuado.

Para aplicar un criterio heurístico de selección de materiales de construcción de tuberías, debe considerarse siempre que las tablas y las informaciones que hay sobre corrosión, se refieren a especificaciones de materiales muy estrictas y para el manejo de fluidos de composición también muy bien especificada. Cualquier impureza que pueda presentarse en los materiales o en los fluidos, puede alterar considerablemente las condiciones de resistencia a la corrosión. En ocasiones, pequeñas trazas de algunas sustancias dentro del fluido, pueden producir una corrosión tremenda, y por otro lado, una impureza en el material de construcción puede ayudar a tener una mayor resistencia a la corrosión, como es el caso de algunos metales. Debe entonces procurarse la mayor información disponible a cerca de la presencia de posibles impurezas, para seleccionar entre los diversos materiales obtenidos a partir de las tablas e informaciones de corrosión.

Cuando se manejan mezclas, es igualmente importante conocer las propiedades de las mismas, ya que generalmente, varían con respecto a las de las sustancias puras.

Dentro de las eventualidades que pueden presentarse en el proceso, es muy importante considerar las condiciones extremas permisibles de trabajo, puesto que cuando se presentan, los materiales seleccionados pueden no ser adecuados.

Las tablas e informaciones sobre corrosión son una buena herramienta en la medida en que las condiciones que prevalecen en el fluido caen dentro de las especificaciones para el uso del criterio de selección de materiales.

Debe cuestionarse con mucho cuidado si las condiciones del fluido son similares a las que establecen las bases de criterios heurísticos, particularmente pH, temperatura, contaminantes que puedan corroer el material o partículas que puedan erosionarlo. Debe además tenerse en cuenta si no han surgido nuevos materiales, desde que la tabla de criterios de selección de materiales fué publicada, que sean más baratos o más eficaces, particularmente en usos críticos.

En este sentido, puede decirse que últimamente el uso de materiales plásticos se ha incrementado, aunque aún se usan con ciertas reservas en la actualidad, debido principalmente a la falta de experiencia en su uso. Lo que puede considerarse al respecto, es que los materiales plásticos presentan inconvenientes muy claros, como son: su falta de resistencia mecánica, que no les permite soportarse adecuadamente, especialmente en instalaciones subterráneas como las que se presentan en la industria petrolera; su falta de resistencia térmica a temperaturas elevadas; sus problemas en las uniones que en ocasiones no pueden realizarse adecuadamente; y su posible característica higroscópica, que los hace absorber humedad.

Por lo anterior, no es recomendable en la actualidad utilizar materiales plásticos como componentes estructurales.

Cuando las condiciones de corrosión indican forzosamente el uso de estos materiales, lo mejor es utilizar tuberías recubiertas que tengan como componente estructural, algún metal que elimine los inconvenientes de resistencia mecánica. Sin embargo, los demás inconvenientes deberán analizarse de cualquier forma.

Generalmente, las compañías tienen prácticas estándares que utilizan para seleccionar materiales de tuberías. Estas prácticas son casi la mejor guía que puede haber al respecto, ya que han sido obtenidas en base a las experiencias de muchas personas durante muchos años. Las compañías generan tablas que permiten seleccionar el material recomendado para diferentes fluidos en función de la temperatura y la presión. Sin embargo, las recomendaciones de una compañía son tan válidas como las de otra, por lo que no pueden considerarse como definitivas.

Las prácticas estándares de las compañías pueden verse influenciadas seriamente por cuestiones económicas. En general, en países desarrollados los costos de materiales de construcción de tuberías no varían drásticamente; sin embargo, en países en vías de desarrollo, que no disponen de una gran variedad de materiales nacionales, la economía mundial y la paridad de la moneda, pueden tener un impacto muy significativo en los criterios de selección de materiales.

El balance económico que debe realizarse siempre para establecer criterios heurísticos de selección de materiales, involucrará dos aspectos principales; el primero es el costo de inversión del material y el segundo es el costo de sustitución de dicho material, considerando que los paros siempre son costosísimos.

En México por ejemplo, el costo de sustitución de un material se ve altamente influenciado por la falta de disponibilidad de materiales que no se

fabrican en el país. Aunque los materiales sean muy buenos, no deben utilizarse si son difíciles de reponer. Deberá analizarse el costo de mantener en almacén una cantidad considerable de materiales, que puede representar una inversión inicial no justificable. Por lo tanto, la cuestión más importante en México es decidir si usar un material nacional o uno importado. Aunque el material importado sea la selección obvia, el material nacional, por su disponibilidad o por su costo, puede resultar una mejor opción, especificando un espesor mayor de tubería, sabiendo que se va a corroer o erosionar en un plazo determinado; sobretodo si se tienen contemplados los paros por reposición. Es importante hacer el análisis del costo de beneficio.

Cuando se selecciona entre dos materiales, de los cuales uno durará una semana y el otro toda la vida, el criterio de selección sigue siendo válido, independientemente de las condiciones económicas de un país u otro. Pero si ambos materiales tienen una vida de servicio de varios años, es importante hacer un análisis de costo de beneficio, para decidir si usar un material importado que durará más, o uno nacional que durará menos, y en México frecuentemente se toma la decisión de emplear materiales de sacrificio, por la situación económica del país.

En general, puede decirse que en los países en vías de desarrollo, en los que el capital es caro y el trabajo es relativamente barato, pueden favorecerse aquellos materiales menos duraderos pero que son menos costosos. En cambio, en los países desarrollados, el capital es barato y el trabajo es caro, por lo que se favorecerán los materiales más costosos y resistentes.

Los criterios heurísticos para seleccionar materiales de tuberías, deben estar basados fundamentalmente en los valores prevalecientes de los costos de tubería actualmente, de manera que sí es un poco delicado aplicar un criterio sin estar enterado de los movimientos en el aspecto económico de inversión y costos de materiales de construcción.

Cuando se desea seleccionar rápidamente un material, o cuando la magnitud del problema no amerita hacer un estudio económico riguroso, se toman directamente las reglas heurísticas para efectuar la selección.

Sin embargo, en caso de incertidumbre deberá seleccionarse el material más conservador, ya que en la selección de materiales se involucra una gran cantidad de dinero, que no puede arriesgarse por incertidumbre.

Siempre deberá considerarse la experiencia previa en el uso de un determinado material, para condiciones similares a las que se presenten y deberá utilizarse aquel material que haya demostrado en la práctica que sirve para dichas condiciones, aunque no sea el mejor.

Por ejemplo, si se tiene duda de que cierto material haya funcionado o no, en una aplicación determinada, podría hacerse un análisis a nivel laboratorio. Sin embargo, aunque se deje el fluido en el material por algún tiempo, el resultado difícilmente podrá resolver la duda, porque científicamente es difícil corroborar su funcionamiento; los resultados son parciales y no puede asegurarse que las condiciones de operación que se tendrán en realidad, podrán ser soportadas por un material que ha sido estudiado en un lapso de tiempo corto. Para la selección de materiales, lo más importante es la experiencia en operación, y no la experimentación en laboratorio.

VALORES RECOMENDADOS DE VELOCIDADES Y CAIDAS DE PRESION

En el capítulo dos se presentó una amplia recopilación de tablas de valores de velocidades y caídas de presión recomendados para dimensionar tuberías. Estos valores son los criterios heurísticos más conocidos y difundidos que existen.

Los valores de velocidades y caídas de presión recomendados se basan en la experiencia y pueden obtenerse a partir de cálculos, analizando diferentes parámetros como pueden ser los costos y la erosión y corrosión de las tuberías.

El criterio básico para dimensionar una tubería, debe ser la caída de presión recomendada, puesto que los valores son más racionales que los de velocidades recomendadas. Un valor recomendado de velocidad puede ser muy bueno para tuberías de diámetro grande, pero para tuberías pequeñas, ese valor puede ocasionar una caída de presión enorme, lo cual obviamente no es recomendable; en otras palabras, una velocidad recomendada para un fluido puede ser altísima para tuberías pequeñas y ridícula para tuberías grandes, por lo que el criterio tiene poca validez si no se especifica el diámetro; sin embargo, no es muy frecuente que se presenten estos casos, ya que las tuberías de diámetro pequeño generalmente son cortas y producen una caída de presión relativamente pequeña, y las tuberías de diámetro grande generalmente son largas.

El hablar de velocidades recomendadas es una forma más rápida de poder expresar un valor cercano al óptimo, es por esto que generalmente hay más información reportada en la literatura de velocidades recomendadas que de caídas de presión, ya que además de valores de tipo económico, existen limitaciones en velocidad por otros aspectos no necesaria o directamente

económicos, como serían, la abrasión, el desgaste, la erosión y la corrosión de la tubería.

No en todos los fluídos la velocidad influye en la corrosión, no puede generalizarse al respecto. Hay fluídos que son muy corrosivos a cualquier velocidad, y hay otros que no son muy corrosivos y se convierten en tremendamente corrosivos cuando se alcanza cierta velocidad. En este sentido, la ciencia no puede dar mayor información porque todavía no se entienden adecuadamente los mecanismos por los que la corrosión se presenta.

La corrosión de un material es una cuestión experimental, nadie puede establecer una regla definida científicamente que diga que a determinada velocidad del fluído se produzca corrosión. Por lo que ésta sólo puede analizarse si existe en la literatura referencia de que cierto fluído es corrosivo a ciertas velocidades, de otra manera no puede considerarse para establecer una velocidad recomendada.

En cuanto a la erosión, puede decirse que no es un criterio que predomine en el dimensionamiento de tuberías, ya que se presenta eventualmente. Para líquidos, por ejemplo, se presenta erosión a velocidades superiores a 20 ft/seg, pero para gases no existe un criterio generalizado al respecto; en éstos es más importante la vibración y el ruido, que la erosión.

Existen condiciones para un fluído determinado, en las que se tienen las condiciones más desfavorables, que pueden presentarse o no a una velocidad determinada, ya que dependen de otros factores, como combinaciones de presiones y temperaturas, e incluso impurezas de los materiales.

Por todo lo anterior, la caída de presión recomendada es un criterio heurístico mucho más válido que la velocidad recomendada. Por ejemplo, para fluídos con viscosidad parecida a la del agua, la caída de presión recomendada es de 1 a 3 psi por cada 100 ft. Con este criterio es difícilísimo que se seleccione más de un solo diámetro de tubería, de las que se dispone comercialmente, sobretodo en tuberías chicas, de 12 pulgadas y menores. Esto se debe a que el área de flujo casi se duplica de un diámetro a otro.

La caída de presión para dimensionar una tubería debe ser tal, que desde el punto de vista económico, no descompense desfavorablemente a la inversión en la tubería.

No obstante, los valores recomendados de caída de presión no son de ninguna manera infalibles, ya que dependen también del flujo manejado en la tubería, y esto puede hacerlos fallar para condiciones extremas.

La manera más simple de dimensionar una tubería, es tomando un valor de velocidad o caída de presión razonable, sin realizar análisis rigurosos. Debe tenerse un cuidado especial al hacer esto, tratando de establecer una base de cálculo bien definida.

Cuando se usan las tablas, lo más importante es leerlas con cuidado, tratando de averiguar si se indican limitaciones a los valores que presentan, las cuales pueden aplicar para el caso específico que se esté manejando.

Otro aspecto muy importante es que algunas de las tablas presentan ciertas ambigüedades, al establecer los rangos de valores; un ejemplo de esto es el especificar líquidos o flúidos viscosos, poco viscosos o muy viscosos, sin indicar los rangos de viscosidades. Otras veces se dan términos como líneas a presión alta o baja, sin indicar los valores a que se refieren estas categorías. Otro ejemplo son los términos tuberías cortas, largas, muy largas, etcétera, que no dicen absolutamente nada con respecto a la longitud real de la tubería. Otros casos son: flúidos limpios, flúidos erosivos o corrosivos, líquidos pesados, líquidos normales, líquidos promedio, flúidos a temperaturas bajas, etc.. Lo más conveniente en estos casos, es utilizar tablas que contengan el menor número de términos indefinidos.

Los valores pueden aplicarse como una guía preliminar y realizar estudios más rigurosos posteriormente. Pueden utilizarse métodos para obtener el llamado Diámetro Económico u Óptimo, que consisten en efectuar un balance económico entre los costos de operación e inversión.

En el dimensionamiento de tuberías el criterio más importante es el criterio económico.

Para obtener el diámetro económico se analiza el costo operativo que representa o implica una cierta caída de presión, contra el costo de inversión de una tubería de diámetro mayor o menor; el diámetro económico es el único término absoluto que se tiene para dimensionar una tubería. Por esto, el criterio económico número uno es la caída de presión.

Puede decirse que en general los valores de velocidades y caídas de presión recomendados, son adecuados, aunque como están ligados a problemas de costos fijos y variables, y la estructura de estos cambia con el tiempo, tal vez no sean tan válidos como cuando se originaron.

Consecuentemente, la validez de estos valores depende de qué tan actualizados estén. Todas las publicaciones que se hicieron antes de los 70's consideran condiciones de energía sumamente baratas, con respecto al costo de capital. En esas condiciones se tenían caídas de presión mucho más elevadas que las que económicamente se justificarían hoy en día.

El criterio heurístico toma un rango de valores donde se encuentra el mínimo de una optimización de costos. Los mínimos normalmente son relativamente planos, en la mayor parte de los casos, y por lo tanto, se puede especificar un rango con mucha confianza; si no se elige el punto mínimo, no importa demasiado porque la variación no es grande. Pero cuando las relaciones de costos se afectan radicalmente, como se afectaron con el costo de la energía, de antes de los 70's a la fecha, deben verse las cosas con otra óptica. Hoy en día, es más alto el peso del costo de energía en la integración de costos de una empresa, con relación a la depreciación de equipo. Esto obliga a utilizar criterios más conservadores en términos de los valores de velocidades, que deben ser menores, y las caídas de presión, más bajas.

Se ha hecho una labor importante de revisión de estos valores a finales de los 70's, por lo que simplemente debe tenerse cuidado en detectar cuándo

fueron publicados. En caso de duda sería conveniente revisar cuáles serían los factores relativos y si acaso tomar un ejemplo para determinar su validez.

Lo anterior se aplica a todos los criterios heurísticos que se derivan de un balance de costos fijos y de operación.

Ahora bien, cuando se menciona el dimensionamiento económico, algunos ingenieros piensan únicamente en balancear los costos de energía e inversión, para minimizar los costos anuales. Sin embargo, es mejor pensar en dimensionamiento económico dentro de un contexto mucho más amplio, porque siempre existirá un diámetro mejor y más económico, y ese diámetro puede no tener nada que ver con el consumo de energía. Por ejemplo, el diseño de tuberías que conectan recipientes a presiones fijas, no afecta el consumo de energía de la planta.

Una aproximación racional al dimensionamiento de una tubería, es primeramente, determinar si el tamaño de la tubería afectará el consumo de energía de la planta. Si es así, el dimensionamiento óptimo será requerido, pero si no, deberá ignorarse por completo y seleccionar otra base de cálculo.

Cuando se tienen dos tanques con presiones fijas, el diámetro de la tubería que los une se determina de manera totalmente heurística, puesto que ahí, el criterio económico no aplica.

Ahora bien, si la caída de presión disponible entre los tanques es muy grande, siempre se dimensionará la tubería usando criterios heurísticos en función de ruido o erosión, y no haciendo un análisis económico riguroso, ya que si se dimensiona la línea en función de la caída de presión disponible, y ésta es muy grande, pueden alcanzarse velocidades tan altas que produzcan erosión, ruido o corrosión. Si la caída de presión es muy pequeña entre los tanques, entonces la tubería se dimensionará de manera que se cumplan los requerimientos de presión, y en ese caso no se considerarán ni criterios heurísticos ni criterios económicos.

Las tuberías normalmente no se usan con el fin de producir una caída de presión, cuando ésta se requiere se colocan dispositivos en la línea para

el efecto.

Los criterios heurísticos sirven para saltarse el criterio económico y manejarlo de otra manera. Al establecer una caída de presión recomendada para dimensionar una tubería, se evita realizar el análisis económico riguroso.

En el diseño de tuberías no siempre es práctico optimizar, cuando en una planta se tienen 500 tuberías, no es práctico determinar el diámetro económico de cada una, porque esto involucraría una buena cantidad de tiempo y elevaría el costo de Ingeniería. En estos casos, los criterios heurísticos siempre serán usados.

FACTORES DE SEGURIDAD

En la primera parte del capítulo tres se presentaron los factores de seguridad que deben aplicarse al calcular la caída de presión en una tubería. Sin embargo, los factores de seguridad no sólo se aplican al realizar un cálculo sino al diseñar un sistema en sí, esto es, su aplicación es mucho más general, y para bien o para mal, constituyen una área en la que cada quien tiene sus propios criterios heurísticos. Casi todas las compañías cuentan con sus propios criterios estándares para establecer los factores de seguridad, y generalmente no son fáciles de averiguar porque pertenecen al acervo tecnológico de las diferentes firmas.

Como se mencionó en el capítulo tres, los factores de seguridad provienen de una incertidumbre o inseguridad en lo que se está haciendo, y dependen en primer lugar de que las condiciones escogidas como datos básicos, no se cumplan, lo cual es muy frecuente. Sin embargo, es importante distinguir aquellos factores que se aplican no por incertidumbre sino por certidumbre, tales factores no son estrictamente factores de seguridad, pero es muy común que se consideren como tales. En flujo de fluidos, y específicamente en el dimensionamiento de tuberías, es más común que se confundan los factores de seguridad por incertidumbre, con los factores que se aplican por efectos que realmente van a incidir en la operación del sistema. Un ejemplo de esto es el concepto de caída de presión en tuberías nuevas, y en tuberías con un determinado tiempo de operación; generalmente se da un margen del 10 al 15% a la caída de presión calculada para la tubería nueva, esto no es un factor de incertidumbre, sino algo que a ciencia cierta se sabe que sucederá.

Los factores de seguridad que se aplican por las incertidumbres que se tienen al realizar un diseño, pueden tener una cantidad innumerable de razones.

Algunas de las incertidumbres que pueden presentarse son:

Incertidumbre en las propiedades físicas del fluido. Es sumamente raro que se disponga de datos experimentales suficientes cuando se diseña un sistema, de hecho, aunque se dispusiera de ellos, existiría la incertidumbre experimental inherente en cualquier caso. Generalmente deben estimarse las propiedades, y los métodos para el efecto no son exactos, todos tienen su grado de precisión que debe considerarse como un factor de seguridad. Cuando el fluido es muy corrosivo, por ejemplo, pueden considerarse factores de seguridad adicionales. Por otro lado es muy raro también que se conozca con precisión la composición del fluido; al igual que en la selección de materiales, variaciones en la composición o presencia de impurezas, pueden indicar la aplicación de un factor de seguridad. Si no se conocen las características exactas de incrustación de los fluidos, pueden tomarse factores más o menos amplios dependiendo de la información disponible.

Posibles fallas en los servicios. Durante la operación del sistema, es común que se presenten fallas en los servicios y éstas pueden repercutir negativamente en el funcionamiento del proceso. Estas fallas que se prevén por miedo o precaución, pueden considerarse como un factor de seguridad.

Incertidumbre en los cálculos de la caída de presión. Dependiendo del diseñador y de las herramientas con que cuenta para efectuar los cálculos de caída de presión, pueden cometerse errores aleatorios que podrían considerarse dentro del factor de seguridad. La imprecisión en los cálculos es provocada por la veracidad de los datos, que no se pueden tener absolutamente definidos. Además, ninguna fórmula es precisa, todas tienen un margen de incertidumbre que debe considerarse como un factor de seguridad.

Incertidumbre en las condiciones extremas de operación del sistema. Estas condiciones son principalmente el flujo, la temperatura y la presión. Cuando no se conocen muy bien estas condiciones, y generalmente es difícil conocerlas porque dependen de muchos factores no previsibles, se considera un factor de seguridad al respecto.

Incertidumbre en la trayectoria definitiva que tendrá la tubería. Dependiendo de la secuencia que se siga al diseñar un proceso, es posible que deban diseñarse tuberías antes de diseñar otras partes del proceso, por lo que la trayectoria de la tubería puede requerir nuevos ajustes, cambios de dirección, etcétera; la caída de presión puede verse afectada por un factor de seguridad para absorber estas variaciones.

Incertidumbre en la estimación de longitudes equivalentes de tuberías. Al igual que en el punto anterior, es necesario estimar longitudes equivalentes de tuberías, que muchas veces no existen, puesto que se están haciendo cálculos en la etapa de diseño. Por este aspecto se considera un margen de seguridad.

Incertidumbre en el equipo de bombeo. Cuando se toma la curva de operación de una bomba, proporcionada por el fabricante, debe considerarse que no todas las bombas son iguales. Las bombas dan un margen de cabeza y flujo, y existe cierta incertidumbre en el desgaste de la bomba.

Diferencias en la calidad o especificación de los materiales de construcción. Como en la selección del material, en el cálculo de la caída de presión, una variación en la especificación del material, puede alterar las condiciones de flujo, por rugosidad y otros aspectos.

Factores de sobrecapacidad. Estos factores van desde los factores de certidumbre hasta los de incertidumbre, cuando se sabe qué sobrecapacidad deberá tener el sistema no hay ningún problema. Pero en ocasiones esto no se conoce de manera precisa, por lo que se da un margen "razonable".

Como puede apreciarse, las posibles fuentes de factores de seguridad son muy amplias. Existen incluso factores de seguridad intrínsecos que se toman

por ejemplo, cuando se establece el factor de servicio de un sistema.

En ocasiones los factores de seguridad no son adecuados, especialmente los factores de sobrecapacidad, ya que hay sistemas que no trabajan bien a condiciones de capacidad bajas. Siempre deben establecerse los límites mínimos de operación para que no se apliquen factores de seguridad excesivos, que no son convenientes por condiciones de operación. La sobrecapacidad puede ser desfavorable.

Cuando se aplica un factor de seguridad de sobrecapacidad al determinar la caída de presión en una tubería, debe ser tal que todos los elementos del proceso en cuestión, puedan incrementar su capacidad en la misma proporción. Con esto, se evitará que existan "cuellos de botella" en el sistema.

Los factores de seguridad no deben exagerarse, por ejemplo, si se toman factores de seguridad tanto en la cabeza como en el gasto de una bomba, estos factores se multiplican, obteniéndose un equipo totalmente sobrado que trabaje ineficientemente.

No deben considerarse demasiados factores de seguridad en el diseño de tuberías, lo cual es una tendencia generalizada. Muchas veces se diseña no para la capacidad esperada sino para una capacidad de diseño, que es un porcentaje por encima de la capacidad de la planta, 10% por ejemplo, y esto muchas veces no se cumple porque la planta no necesariamente operará al 100% de su capacidad; suponiendo que así operara, se considera un 10% de sobrediseño y además se redondea el diámetro de tubería; luego, al seleccionar la bomba, se da otro sobrediseño, o se especifica un impulsor que no necesariamente es el requerido; y se acaba por comprar una bomba en la que las condiciones reales de operación a las que estará sujeta, están muy lejos del punto de eficiencia óptima, y esto eleva tanto los costos de energía como los de inversión.

Los factores de seguridad se aplican a veces para tener la previsión de aumentos futuros de capacidad, pero por ejemplo, si se valora el costo acumulado de costos de operación incrementales debidos a la ineficiencia de la bomba, se paga una bomba adicional muchas veces en los primeros años de operación de la planta, que va a operar normalmente por debajo de su capacidad de diseño, porque el mercado no demanda la capacidad máxima de operación de la planta.

Es un error típico de diseño, la acumulación de factores de seguridad que lleva a seleccionar equipo rotatorio o de proceso, en condiciones que aparentemente son seguras, pero que están muy alejadas de las condiciones óptimas e incluso de las condiciones operables del equipo.

Sería conveniente en general dimensionar la tubería con factores de seguridad que pueden ser del 10% del gasto de operación, y posteriormente seleccionar la bomba y el impulsor de la misma, y la válvula de control, para las condiciones más probables de operación; y revisar si tienen la flexibilidad suficiente para operar en las condiciones máximas de diseño. Esta es la forma más adecuada de diseñar y desgraciadamente no siempre se hace así; se va diseñando aisladamente en forma secuencial sin tomar en cuenta los factores de seguridad que se dieron en las condiciones anteriores. El diseñador de tuberías da las dimensiones y la caída de presión con el gasto máximo, el instrumentista selecciona la válvula de control para esas condiciones, dando una caída de presión que se le suma a la caída de presión en la tubería, después se selecciona la bomba, se especifica el impulsor para una cierta sobrecapacidad y con las condiciones máximas con las que se diseñaron la tubería y la válvula, resulta que las condiciones reales de operación de la planta no tienen nada que ver con cómo se diseñó.

Los factores de seguridad exagerados repercuten también en las válvulas de control, la válvula puede estar operando no a la mitad del rango, sino a 3/4 partes o 4/5 partes de la carrera de la válvula, simplemente porque se sobreespecificó el sistema.

Si la bomba y la válvula de control están dimensionadas de acuerdo a las condiciones de diseño, con factores de seguridad acumulados, en lugar de las condiciones de operación, se tienen dos puntos en los que se pierde eficiencia en el sistema.

CRITERIOS DE DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION

Los criterios presentados en el capítulo tres para seleccionar el método de cálculo de la caída de presión en líquidos, gases y mezclas líquido-vapor, son válidos en general, puesto que provienen de un análisis experimental de las ecuaciones, que se corroboran haciendo pruebas a diferentes condiciones.

Para que un criterio de selección de una ecuación para el cálculo de la caída de presión sea adecuado, debe estar basado en una comprobación con sistemas reales, en los que pueda probar su validez.

La aplicación de los criterios heurísticos en este campo es muy notoria en cuanto a la obtención de ecuaciones simplificadas que son válidas cuando se mantienen ciertos parámetros constantes; estas ecuaciones no son ecuaciones empíricas, sino ecuaciones obtenidas mediante cálculos, de las cuales pueden obtenerse reglas de dependencia entre diversas variables. Las reglas heurísticas obtenidas son muy útiles para el diseño y evaluación de tuberías.

Otra aplicación importante de la heurística, que no fué mencionada en el capítulo tres, debido a que realmente no es un criterio heurístico como tal, sino un procedimiento heurístico, son las tablas de fricción, basadas en ecuaciones empíricas que deben corregirse mediante criterios heurísticos para cada aplicación específica.

En cuanto a los criterios para determinar la caída de presión en fluidos compresibles específicamente, puede decirse que se tienen dos límites para el efecto, la ecuación de flujo isotérmico y la ecuación de flujo isoentrópico. La isotérmica da la caída de presión máxima y la isoentrópica da la caída de presión mínima. La caída de presión real estará entre estas dos.

Las ecuaciones para gases, en realidad lo que hacen es simplificar estas ecuaciones rigurosas para hacerlas fáciles de utilizar, manteniendo ciertos parámetros constantes y usando ciertos criterios heurísticos.

En otras palabras, las ecuaciones para calcular la caída de presión en fluidos compresibles, de hecho no son empíricas, sino simplificaciones de las ecuaciones clásicas de flujo de fluidos en gases, con algunas suposiciones de factores de fricción constantes en ciertos rangos, y ésto las vuelve más explícitas en su resolución que las ecuaciones clásicas. Estas ecuaciones incluyen algunos factores de corrección por rugosidades o desviaciones en la caída de presión en sistemas reales, pero todas están basadas en la ecuación clásica del flujo de fluidos, considerando ciertos criterios heurísticos.

Para flujo a dos fases, la incertidumbre en el cálculo de la caída de presión, es bastante más grande que para una sola fase. De manera que en este campo, lo más conveniente es estar actualizado en cuanto a los nuevos métodos desarrollados para efectuar el cálculo, considerando que deben estar validados experimentalmente.

El criterio heurístico más general y aplicable para la determinación de la caída de presión en una tubería, ha sido hasta estos momentos, el considerar que los costos de operación tienen un impacto muy importante; en términos generales, ha sido y sigue siendo válido, diseñar con velocidades y caídas de presión bajas, por el impacto que se tiene de los costos de operación, aún en comparación con el incremento en los costos de materiales.

Este es el criterio heurístico que todavía prevalece, debido sobretodo a que cada día se le da más importancia al consumo de energía, puesto que su costo ha ido incrementándose al paso del tiempo.

Por otro lado, en el capítulo tres también se presentaron los criterios aplicados a la selección del concepto de longitud equivalente o bien el de coeficiente de resistencia, para determinar la fricción producida por válvulas y accesorios; se mencionó también el hecho de que los valores reportados en diferentes fuentes bibliográficas generalmente no coinciden.

En este sentido, es importante saber que en ocasiones los autores de libros no son muy cuidadosos.

Debe investigarse lo mejor que se pueda, las diferentes fuentes bibliográficas y eliminar las que presenten valores disparados.

Lo mejor es tomar los valores reportados por las casas fabricantes de estos dispositivos, que son la literatura más aceptada universalmente, provenientes de investigaciones y experimentaciones muy cuidadosamente realizadas.

Las fallas que pueden presentarse en los libros de texto pueden provenir de errores tipográficos, o bien de errores heredados de libro a libro, que se cometen por falta de revisión.

CRITERIOS APLICADOS A VALVULAS Y MEDIDORES DE FLUJO

En el capítulo cuatro se presentaron los criterios de selección de válvulas y medidores de flujo, y en el cinco, los criterios aplicados a su dimensionamiento.

La selección de válvulas y medidores de flujo no tiene un carácter claramente heurístico, puesto que estos dispositivos se fabrican para cumplir con ciertas aplicaciones específicas y teóricamente no debería haber ninguna duda al respecto.

Sin embargo, la tendencia de los fabricantes de válvulas y medidores, ha sido generar cada día más y mejores diseños, lo que indudablemente beneficia a la industria, pero complica en cierto grado, la labor del ingeniero, que debe seleccionar entre una gran variedad de opciones. Esto es crítico para profesionistas no muy familiarizados con el área, que deben utilizar las recomendaciones y criterios heurísticos emitidos por los autores de libros y por las asociaciones especializadas.

Consecuentemente, puede decirse que los criterios de selección del tipo de válvulas y medidores de flujo, en general son adecuados. Para evaluarlos habría que referirse a procesos ya instalados y operando, para ver hasta qué punto el criterio escogido al seleccionar, funcionó. Esto no es fácil de hacer por lo que el arma más importante en este sentido es, y será siempre, la experiencia.

En cuanto al dimensionamiento de medidores de flujo, los criterios heurísticos establecidos para determinar las dimensiones proporcionales de los elementos primarios de medición, han sido estudiados por las asociaciones y

por los fabricantes, que han emitido sus normas y especificaciones, las cuales sería improductivo y sumamente difícil evaluar, puesto que son aceptadas universalmente.

En este campo, los criterios heurísticos pueden usarse cuando se especifica, por ejemplo, la relación del diámetro del elemento primario al diámetro de la tubería, de lo cual se presentó una discusión en el capítulo cinco, y como se mencionó, el valor de esta relación debe de estar preferentemente de acuerdo con los rangos recomendados por los diferentes autores, con lo cual se tiene cierta seguridad de funcionamiento adecuado del medidor.

En cuanto a válvulas de control, el criterio heurístico más importante en su dimensionamiento es la caída de presión recomendada para la válvula.

Una caída de presión del 30% de las pérdidas totales del sistema, es el valor que ha sido usado desde hace muchos años. Este es un criterio heurístico que tiene una validez muy grande, porque está basado en proporcionar un control adecuado en el proceso; no es 10% porque no produciría un cambio en el flujo proporcional a una caída de presión en la válvula; no es 50% porque sería demasiado. Para determinar la validez del 30%, podría analizarse la curva del sistema y ver cuál sería la respuesta en flujo de la válvula a diferentes porcentajes de abertura.

Son dos las variables libres que se tienen en el dimensionamiento de una válvula de control, el diámetro y la abertura. Estas variables deben determinarse de manera que cubran los rangos de caída de presión que se esperan en la válvula.

Una limitación que puede tener este criterio heurístico es que probablemente el incremento en los costos de operación, esto es, los costos de energía, puede indicar una caída de presión menor en el sistema, con lo que el porcentaje podría ser menor al 30%; pero como este valor está establecido por razones de control, sería difícil demostrar que debiera tenerse un porcentaje menor. El ahorro en el consumo de energía puede obtenerse disminuyendo la

caída de presión total en el sistema, conservando el porcentaje producido por la válvula de control.

Por otro lado, debe siempre analizarse toda la línea para cumplir con las condiciones iniciales y finales, realizando un balance de presiones. Esto puede requerir que el porcentaje de caída de presión producido por la válvula sea diferente al 30%. Deben considerarse siempre las condiciones extremas permisibles de trabajo, y dimensionar la válvula de manera que pueda absorber todas las condiciones. De cualquier forma, éste es uno de los criterios más valiosos que existen, que da una guía para tener un buen control en el proceso.

Hay otro criterio que dice que la caída de presión debe ser de 10 psi en la válvula de control, pero éste no es muy aplicable ni puede generalizarse, porque no depende de la caída de presión en el sistema.

Otro criterio para dimensionar válvulas de control, es que se determine un tamaño de la válvula de un diámetro nominal menor al de la línea. Este es un criterio obtenido por la práctica y el sentido común; sin embargo, su aplicación es mucho más limitada que el de la caída de presión, por varias razones. En primer lugar, es resultado del criterio de caída de presión, y puede usarse como un criterio en sí, sólo para hacer estimaciones de costos muy globales. En segundo lugar, existen válvulas de control del diámetro de la tubería, y otras que son tres diámetros más chicas; mientras la caída de presión sea del 30%, las válvulas estarán dimensionadas adecuadamente.

CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS DE SUCCION Y DESCARGA DE BOMBAS

En el capítulo seis se presentaron algunos criterios aplicados específicamente a tuberías de succión y descarga de bombas.

En general, para tuberías de succión, los criterios presentados pueden englobarse en uno solo, que es el que produzcan una caída de presión baja.

Lo que puede decirse aquí, es que para tuberías de succión de bombas, el NPSH es el primer y único criterio que existe.

Es difícil demostrar que si la bomba tiene el NPSH adecuado a la succión, no vaya a funcionar, sea cual sea la caída de presión o velocidad que tenga la tubería de succión. Siempre y cuando el arreglo sea adecuado.

El que la línea de succión de una bomba sea generalmente de un diámetro nominal mayor al de la tubería de descarga, es válido, porque las líneas de succión deben diseñarse para minimizar las caídas de presión por fricción, por consideraciones de NPSH; en ese sentido, es un buen criterio bajar la velocidad del fluido para aumentar ese NPSH disponible del sistema y reducir el problema de cavitación.

Consecuentemente, para tuberías de succión de bombas se toman criterios sumamente conservadores, porque son tuberías cortas y muy importantes. No deben tomarse riesgos en tuberías que en costos representan poco y en operación son críticas para el funcionamiento de la bomba, y por ende, del sistema.

Para tuberías de descarga de bombas, el criterio es económico. Los criterios heurísticos derivados de este criterio básico, ya fueron discutidos en este mismo capítulo.

CRITERIOS PARA DISEÑAR TUBERIAS ALREDEDOR DE MEDIDORES DE FLUJO

En el capítulo seis se presentó una recopilación muy amplia de valores de longitudes requeridas de tubería recta antes y después de medidores de flujo; todas las tablas y gráficas presentadas contienen datos más experimentales que heurísticos, aunque sí pueden considerarse como criterios heurísticos.

Cuando se tiene alguna duda con respecto a las diferentes fuentes de información de tubería recta requerida alrededor de instrumentos, debe tomarse la que sea más conservadora, para asegurarse que la medición no se verá distorsionada por perturbaciones en el flujo.

Cuando existen limitaciones de espacio, puede optarse por seleccionar un medidor que no requiera mucha longitud recta de tubería para obtener mediciones confiables.

La diferencia que existe entre las diferentes fuentes de valores, se debe a que algunas fueron establecidas por autores de libros, y otras por organizaciones de diferentes países. Esto implica una cierta diferencia en el criterio o en el margen dado a la medición, y además, las condiciones experimentales no necesariamente fueron las mismas.

De cualquier forma, lo más recomendable en estos casos sería proveer una longitud de tubería recta mayor a la especificada en todas las tablas y gráficas. Cuando esto no es posible deben tomarse las longitudes mínimas

recomendadas, pero especificando muy claramente, cuál es la base que establece las longitudes, con el fin de poder justificar el diseño de acuerdo a cierta asociación internacional.

Estos criterios heurísticos son y seguirán siendo válidos, porque no dependen directamente de aspectos económicos, sino de cuestiones operacionales de precisión en la medición, que solamente están influenciadas por los diferentes diseños de los elementos primarios de medición, que podrían en el futuro ser más sofisticados, con lo que la longitud de tubería podría variar.

NORMAS, ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES

A lo largo de los capítulos anteriores, se presentaron algunas porciones de normas, estándares y especificaciones. Estos documentos son criterios heurísticos por definición, y responden principalmente a la necesidad de tener un apoyo legal al diseñar. Sirven para ponerse de acuerdo en cuáles son las especificaciones y tener una cierta garantía con respecto a la seguridad y precisión del diseño en cuestión.

En ocasiones, los estándares son algo exagerados y podrían no justificarse, sin embargo, siempre son útiles para tener un respaldo legal en lo que se hace. Obviamente dan valores que han sido estudiados con mucho cuidado y que generalmente representan un margen de seguridad bastante bueno.

Las normas, los estándares y las especificaciones de diferentes compañías, asociaciones y organizaciones internacionales, son una fuente muy recomendable, y en ocasiones determinante, de criterios heurísticos, puesto que resumen la experiencia de muchas personas por muchos años y están respaldados por el prestigio de las instituciones que las editan o publican.

Cuando un ingeniero se enfrenta a estas normas, estándares o especificaciones, dentro de una compañía, su obligación es seguirlas al pie de la letra. La situación cambia para un ingeniero independiente, que tiene la opción de decidir entre las diferentes normas o estándares; pero esto generalmente no se presenta.

Por otro lado, estos documentos están sujetos a actualizaciones y revisiones periódicas, que incrementan aún más su validez.

Sería conveniente, para firmas de ingeniería que empiezan, el comparar las diferentes normas disponibles para generar sus propias normas, cuando se carece de la experiencia acumulada; y posteriormente, al paso de los años, generar la experiencia propia que permita actualizar las normas obtenidas en base a las de otras compañías o asociaciones internacionales.

Esto significa crear tecnología.

CRITERIOS HEURISTICOS: OPINIONES

..."Debe tenerse mucho cuidado en la forma de presentar el tema de Criterios Heurísticos, porque suena a tema de discusión, como a cuestionar un dogma de una religión; no porque sea un tema prohibido, sino porque sorprende que alguien sea capaz de pensar en algo así; después de razonarlo y justificarlo, pueden concordar las diferentes opiniones al respecto"...

He aquí algunos de los conceptos en relación a los criterios heurísticos:

Los criterios heurísticos provienen del sentido común, establecido por la tradición de los buenos resultados, que han mostrado una aplicación casi axiomática.

Los criterios heurísticos son reglas relativamente generales que se aplican en cierta disciplina y que se han obtenido por experiencia.

Las reglas heurísticas no son más que el producto de la experiencia acumulada.

Los criterios heurísticos no son reglas de dedo ni reglas arbitrarias, sino el resultado, en algunos casos del cálculo, en otros de la experiencia, y lo más frecuentemente, el resultado de una combinación del cálculo avalado por la experiencia.

Los criterios heurísticos sirven extraordinariamente para interpretar el resultado obtenido al realizar algo, y representan los cálculos y experiencias de muchas personas, durante muchos años.

Los criterios heurísticos son reglas que dan rangos razonables de alguna variable, y se han obtenido en base a la experiencia y el cálculo de fenómenos estudiados adecuadamente. Por lo tanto, han funcionado bien y están avalados, en parte, por la experiencia.

Para que un criterio se considere heurístico, no debe existir una base sólida científica que pueda demostrarse con una ecuación.

Los criterios heurísticos generalmente están basados, y se aplican, en consideraciones de tipo económico; sin embargo, hay criterios heurísticos no necesariamente relacionados con aspectos económicos, sino con criterios operacionales o de tipo técnico.

Los criterios heurísticos surgen de la experiencia profesional y han sido validados en el pasado con resultados concretos; en algunos casos directamente por la experiencia y en otros por modelos teóricos, que permiten corroborar su validez.

Los criterios heurísticos están basados en la experiencia, pero todos, de una u otra manera, se fundamentan en consideraciones de tipo teórico; lo que sucede es que llega un momento en el que son tan evidentes, por lo menos durante un cierto tiempo, que se toman como verdad.

Las recomendaciones heurísticas son siempre una buena guía para tener una idea de lo que pudiera ser más apropiado. La regla heurística únicamente es un punto de partida; no es la última palabra.

Los métodos heurísticos son una simplificación a una resolución rigurosa de un problema. Son más que una guía preliminar.

Como puede observarse, algunos de estos conceptos se contraponen, pero la mayoría se refuerzan. En seguida se presenta la discusión con respecto a la definición planteada en la introducción de la tesis y se establece el marco sobre el cual se enfocaron los criterios heurísticos.

HEURISTICA Y CRITERIOS HEURISTICOS: UN PROBLEMA DE DEFINICION

"Los criterios heurísticos son todas aquellas normas o reglas encontradas o inventadas, que se utilizan en el ejercicio de la Ingeniería Química, y que pueden provenir directamente de la experiencia u obtenerse mediante cálculos; siendo, la mayoría de las veces, consecuencia de una combinación de estos dos aspectos".

Esta es la definición de Criterios Heurísticos presentada en la introducción de este trabajo, basada en las raíces de ambas palabras y complementada, en cierto grado, con una interpretación para su aplicación a la Ingeniería Química.

En base a esta definición se presentaron, en los capítulos anteriores, los criterios que respondían a la misma, enfocados al Diseño de Tuberías.

Sin embargo, esta definición, aunque estructurada, puede no estar de acuerdo con lo que se entiende por heurística, siendo tres principalmente los argumentos que plantean la controversia.

No puede hablarse de criterios heurísticos, lo heurístico implica un procedimiento en sí, y no un criterio.

La base de la heurística, entendiéndola como el arte de inventar, no es la experiencia, sino la invención.

Para que algo se considere heurístico, no debe existir ninguna base en

absoluto que lo fundamente, llámese ésta científica, matemática, analítica o experimental.

La heurística como tal, es una manera de resolver un problema; es un procedimiento en sí. El resolver un problema heurísticamente consiste en aplicar una serie de reglas generales, establecidas o validadas por el sentido común y la experiencia, para obtener una buena solución, aunque no necesariamente la óptima. Estas reglas generales son precisamente las que en este trabajo se llaman CRITERIOS HEURISTICOS.

El concepto de heurística tiene aplicaciones muy, muy amplias, que van desde una actitud del ser humano para resolver cualquier tipo de problemas, hasta el desarrollo de modelos matemáticos más o menos sofisticados; los criterios presentados en la tesis, quedan incluidos dentro de este amplio concepto.

Es sumamente difícil decidir cuándo algo es inventado o proviene de la experiencia, generalmente la invención se presenta como una consecuencia de la experiencia, del sentido común y del ingenio. De esta manera es como han podido generarse modelos matemáticos de fenómenos que analíticamente no pueden representarse, por lo que se inventan ciertas bases, parámetros o criterios, que hacen que el modelo corresponda al fenómeno. Y es con la realidad con la que se comparan sus resultados y se determina su validez. Si ese modelo no corresponde fielmente a la realidad, se genera un segundo modelo, basado en el anterior, con ciertas modificaciones pertinentes. No puede decirse que el primer método sea heurístico y el segundo no; estrictamente el primero pudo ser inventado, pero el segundo requirió de la experiencia generada inicialmente. Ambos modelos serán heurísticos; la invención no puede presentarse aislada de la experiencia; si acaso, en una etapa inicial pueden diferenciarse ambos conceptos, a medida que pasa el

tiempo, la diferenciación se vuelve sumamente ambigua.

Casi siempre existe una base para la generación de una heurística, si no científica, por lo menos experimental, de sentido común o de observación de la realidad.

Por lo tanto, puede decirse que los criterios presentados, sí tienen un carácter heurístico y consecuentemente pueden llamarse Criterios Heurísticos, enmarcados dentro de un concepto mucho más amplio; la Heurística.

No tendría caso entrar aquí en discusiones lingüísticas de verbos como encontrar, inventar, crear, observar y aprender, o de conceptos como invención, experiencia, sentido común e ingenio. Se deja a los académicos de la lengua su estricta definición.

Para los fines que persigue la tesis, el enfoque dado a los criterios heurísticos, de acuerdo con la definición inicial y ejemplificado en los capítulos anteriores, es adecuado dentro de las libertades que proporciona el idioma.

LOS CRITERIOS HEURISTICOS EN LA INGENIERIA QUIMICA

"La Ingeniería Química es una profesión en la que los conocimientos de matemáticas, física, química y otras ciencias naturales, obtenidos mediante estudio, experiencia y práctica, son aplicados con criterio para desarrollar métodos económicos, con el fin de utilizar la materia y la energía en beneficio de la humanidad".

Esta es la revisión a la definición de Ingeniería Química, que en fecha reciente presentó el Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos [American Institute of Chemical Engineers, AIChE].

Con este marco de referencia, no puede decirse que la Ingeniería Química sea más empírica que teórica, ni tampoco lo contrario. Los conocimientos de ingeniería química están definidos típicamente como conocimientos científicos, como conocimientos obtenidos por experiencias, y como conocimientos prácticos o técnicos.

Aun cuando la ciencia ha avanzado notablemente, existen fenómenos que no pueden calcularse en forma absoluta; de hecho, las operaciones unitarias se aplicaban en la industria mucho antes de que se hubiera desarrollado la teoría al respecto. La mayoría de las veces, la ciencia trata de sistematizar, explicar, analizar y organizar un conocimiento empírico que ya se tiene y que se aplica.

Una vez que se ha practicado durante mucho tiempo una operación unitaria, ha podido aplicarse un análisis sobre la práctica y entonces, desarrollar la teoría científica correspondiente.

En general, puede decirse que la tecnología va muy por delante del aspecto científico; aun cuando en cuestiones muy sofisticadas esto puede no ser cierto, frecuentemente ocurre de esta manera.

Es por todo esto que los criterios heurísticos se aplican en todos los campos del ejercicio profesional; mucho de lo que se aplica en Ingeniería, está basado en las llamadas "buenas prácticas de ingeniería", que se llaman así porque no tienen una base científica al fundamentarse en la experiencia pasada en la práctica de la profesión.

Precisamente las prácticas estándares de las compañías son las que han permitido el desarrollo tecnológico, puesto que se basan en la experiencia.

Las reglas heurísticas provienen necesariamente de la experiencia generalizada en el ejercicio de la Ingeniería Química, y existen porque hay fenómenos que no pueden resolverse mediante ecuaciones matemáticas científicas.

Todo intento de utilizar una teoría debe justificarse en base a la experiencia práctica. Los enunciados teóricos dan los conocimientos, pero la práctica es la que puede comprobarlos.

La heurística tiene por lo tanto una aplicación permanente en la Ingeniería Química, la ha tenido y la tendrá siempre; dependiendo del acervo científico que el hombre logre con el paso del tiempo, la aplicación de la heurística puede verse disminuída en ciertos períodos, pero a fin de cuentas habrá problemas en los que la aproximación deberá hacerse, por cuestiones de tiempo o por cuestiones prácticas, en base a los criterios heurísticos.

Los criterios heurísticos tienen su lugar en la Ingeniería Química y en el quehacer humano en general.

CRITERIOS HEURISTICOS: CUANDO SI Y CUANDO NO

"La primera regla de la Ingeniería es: en caso de duda, sé conservador".

Los criterios heurísticos siempre son buenos si existe una base sólida que los apoye. Debe estarse familiarizado con su rango de confianza para usarlos adecuadamente. Deben tomarse como una guía para hacer un estudio preliminar y emplearse métodos más rigurosos cuando se requiera.

Los criterios heurísticos son obtenidos de una generalidad, y aplicados a un caso específico, pueden ser adecuados o no. Son valiosos, pero deben aplicarse con mucho criterio y con mucho conocimiento de causa. Cuando se estudia un fenómeno fuera de las condiciones especificadas, debe analizarse muy bien el rango de validez de los criterios para poder usarlos adecuadamente.

Los criterios heurísticos implican un riesgo, porque la experiencia previa en la que se basan puede no corresponder fielmente a las condiciones que se tienen. En la medida en que el Ingeniero Químico se aleja de las condiciones sobre las que el criterio heurístico se generó, el riesgo aumenta, hasta llegar a un punto en el que la decisión que se tome puede ser errónea, desde el punto de vista de diseño, lo cual ocurre frecuentemente. Una extrapolación de un criterio heurístico, puede llevar a errores muy serios de diseño.

Las reglas heurísticas son válidas, siempre y cuando se apliquen con el debido criterio y para lo que fueron hechas. Por ejemplo, las reglas obtenidas mediante cálculos realizados en condiciones especificadas, como son algunas de las velocidades recomendadas para flúidos, deben utilizarse cuando estas condiciones están muy bien identificadas.

Errores típicos de diseño se cometen por usar una regla heurística que no necesariamente aplica en las condiciones que se tienen en la realidad.

Los criterios heurísticos deben tomarse como una guía de diseño, el resultado obtenido mediante un cálculo debe estar avalado por la experiencia obtenida en casos similares. Deben usarse en el lugar y en el momento adecuados, no es lo mismo dimensionar tuberías de acero al carbón que tuberías de titanio, porque la información de reglas heurísticas es para tuberías comunes en las que se ha podido generar una cierta experiencia; pero para tuberías no tan comunes, es difícil tener reglas heurísticas, porque no hay la experiencia generalizada de quien ejerce la profesión.

Las reglas heurísticas son valiosas cuando son aplicables al caso específico para el cual fueron creadas, Cuando se salen del rango de aplicación se forman barreras inexistentes por ignorancia o falta de experiencia. Permiten tomar decisiones sin tener que analizar a profundidad un problema determinado, porque están basadas en la experiencia acumulada, en la que si las variables del entorno son similares, la solución ya está probada.

Si se diseña una misma planta diez veces, a partir de la segunda, si las condiciones del entorno no han cambiado, los diseños van a ser similares, nunca van a ser iguales pero sí similares. Si el entorno económico cambia, si hay avances importantes en el diseño de algunos equipos y si se tienen algunos criterios nuevos, deben analizarse cuidadosamente los criterios originales. Y si la planta no es similar sino parecida, debe analizarse qué tan similar es y

dónde están las diferencias, y esas diferencias en qué pueden afectar al diseño planteado en base a la experiencia pasada.

Las reglas heurísticas casi siempre sustituyen a criterios económicos y deben revisarse por los cambios en inflación y costos de energía que se producen al paso del tiempo.

Lo más importante para evaluar un criterio heurístico es detectar y saber a fondo cuáles son los factores que lo determinaron, de esta forma puede anticiparse la actualización en su oportunidad y dar los lineamientos para que, dependiendo de los costos fijos y de operación, regular y periódicamente se actualicen. Lo peor que puede pasarle a un criterio heurístico, es no saber de dónde vino y en qué está basado, porque esto implicaría tomar una verdad sin ninguna base y en ese caso lo mejor sería ignorarlo.

En ocasiones deben revisarse las reglas para ver si todavía es válido el criterio. Deben realizarse muestreos tomando precios reales y hacer un análisis económico para compararlo con el criterio heurístico.

Una situación económica cambiante, como la de México, en donde todavía los costos de inversión son caros y los de energía son baratos, tiende a invertirse dentro de algunos años; es importante ver cuál es la tendencia de la economía nacional en áreas críticas, en las que el costo de energía se vuelve crítico para la operación de una planta.

Sería conveniente revisar los principales criterios heurísticos para las condiciones económicas que prevalecen en el país en este momento. Costos de energía contra costos de inversión.

Los criterios heurísticos son convenientes, pero debe tenerse precaución en actualizarlos, porque se corre el riesgo de volverlos obsoletos, puesto que los criterios que prevalecían cuando se originaron se ven afectados por movimientos de tipo económico o incluso técnico, entonces hay que tomarlos con cautela porque se corre el riesgo de volver permanente una aplicación que

ya no funciona.

Específicamente, para evaluar criterios heurísticos de diseño de tuberías, debe hacerse por lo menos un análisis cualitativo de cuáles son los parámetros que intervienen en la optimización del sistema, si son nada más el costo de energía que consume la bomba contra la depreciación del sistema, los criterios de diseño suelen ser válidos. Pero cuando intervienen otros factores como por ejemplo, la eficiencia de recuperación de energía de un nivel caro de refrigeración o la recuperación de un producto en una torre de destilación, que se ve afectada por el diseño del sistema, deben considerarse otros factores de costos que son mucho más importantes y que modifican las condiciones de diseño. Esto ocurre, por ejemplo, cuando la caída de presión del sistema no sólo afecta al diámetro de la tubería o a la capacidad de la bomba, sino que afecta otras variables de proceso, como puede ser la recuperación de un producto o la recuperación de calor de una corriente en condiciones extremas.

Por otro lado, debe diseñarse no para las condiciones de hoy, sino para las que prevalecerán dentro de cinco años, que es cuando la planta empezará a funcionar a su máxima capacidad.

Las condiciones de diseño en México, corresponden hoy a las condiciones que prevalecían en Estados Unidos antes de los setentas. Dentro de cinco años, tal vez las condiciones serán en México similares a las que tiene Estados Unidos en la actualidad. Esa es la tendencia del país y los criterios heurísticos van asociados a ella. Si se preve un cambio importante y se desea diseñar para el futuro, quizás deba interpolarse un poco entre las reglas heurísticas que prevalecían en Estados Unidos en los sesentas y las que prevalecen en los ochentas.

Siempre que se quiere definir una variable de diseño de manera simplificada se usan criterios heurísticos. El criterio heurístico es una recomendación y como tal debe tomarse, en función del criterio ingenieril del diseñador. Puede constituir también una barrera a la creatividad y a la

optimización y lamentablemente al conocimiento más profundo de ciertos fenómenos.

Los criterios heurísticos son valiosos, implican utilizar la experiencia para acortar caminos, pero no debe confiarse en ningún caso. Cada vez que se usen deben cuestionarse, no aplicarlos ciegamente, sino verificar si siguen siendo válidos. Si después de realizar un estudio riguroso de revisión, se encuentra que es válido lo que ha sido aplicado durante muchos años, el criterio puede usarse con toda confianza.

Con cualquier criterio heurístico pueden tenerse errores serios de diseño, si no se vigila la vigencia del mismo. Un criterio heurístico no es un axioma, sino una buena costumbre que conviene actualizar, porque de lo contrario puede convertirse en una mala costumbre.

No existe una tendencia de eliminar los criterios heurísticos, estos siempre tendrán su lugar y se irán enriqueciendo. A medida que se van acumulando nuevas experiencias en condiciones diferentes, se van modificando, enriqueciendo y poniendo limitaciones adicionales que permitirán usarlos con mayor eficiencia y generar nuevas reglas heurísticas para nuevas condiciones.

COMPUTACION Y OPTIMIZACION: ¿ENEMIGOS DE CRITERIOS HEURISTICOS?

"Las computadoras y los criterios heurísticos son herramientas que deben usarse racionalmente".

En la actualidad, el uso de sistemas electromecánicos de cálculo, como son las computadoras, se ha incrementado notablemente, con lo que el individuo se ha ido acostumbrando a manejar números. Sin embargo, mientras no se haga una interpretación física de los mismos, éstos no son información, y difícilmente podrán servir de algo.

Podría pensarse en primera instancia que con el advenimiento de las computadoras y el empleo de modelos complejos, los criterios heurísticos no parecen ser tan necesarios, con excepción de la necesidad de los valores supuestos iniciales de los cálculos. Las computadoras hacen más fáciles los problemas de optimización, y podría decirse que mientras más optimización se haga, menos criterios heurísticos tendrán que aplicarse; puesto que la optimización no es otra cosa que la determinación económica de las variables libres, y esas variables son las que son determinables desde un punto de vista heurístico.

Con el uso de las computadoras pueden efectuarse análisis rigurosos de manera más rápida, pero por ejemplo, el trabajo que implica obtener el

diámetro económico de manera rigurosa, que puede tener un valor no comercial, no se justifica al tener que seleccionar un diámetro disponible. Y como este existen muchos otros ejemplos.

Los criterios heurísticos son muy valiosos, porque permiten determinar rápidamente cuáles son las variables de diseño sin tener que llegar a optimizaciones cuando éstas no valen la pena.

Con las reglas heurísticas se evita realizar una optimización, sin embargo, los criterios deben corroborarse de alguna manera, y no generalizarlos, sino especificarlos.

En Ingeniería Química se tienen siempre problemas en los que los grados de libertad son positivos, esto es, tener más incógnitas que restricciones o ecuaciones. Los criterios heurísticos sirven para darle valor a esas incógnitas y poder resolver los problemas. Normalmente las variables libres que se determinan mediante criterios heurísticos, están en realidad limitadas por un criterio económico.

Por lo tanto, aun con el uso de las computadoras, los criterios heurísticos seguirán siendo válidos y seguirán usándose.

LOS CRITERIOS HEURISTICOS EN EL EJERCICIO PROFESIONAL DEL INGENIERO QUIMICO

"En Ingeniería Química se aplican criterios heurísticos en todos los campos del ejercicio profesional".

El Ingeniero Químico que tiene el criterio de saber cuestionarse a sí mismo, si su experiencia pasada es válida en las condiciones actuales, es un ingeniero que va a ser un éxito en su profesión, y que va a llevarle ventaja a cualquier otro profesional, por muy hábil que sea en el manejo de las herramientas modernas de cálculo.

Un ingeniero que se dedica a analizar problemas nuevos no convencionales, a cualquier nivel, desarrolla una formación diferente a un profesional que lleva veinte años trabajando en una área profesional definida, donde su experiencia es precisamente basarse en reglas heurísticas, porque es lo que le ayuda a mejorar su capacidad y rendimiento en el trabajo.

El ingeniero atraído por problemas no convencionales debe saber cómo abordar problemas no conocidos en los que no se tiene experiencia. De esa manera es como más se aprende. Si este es el caso, las reglas heurísticas convencionales pueden llevar a errores de diseño. Pueden obtenerse soluciones más elegantes y económicas olvidándose de los criterios heurísticos tradicionales.

La experiencia del ingeniero en diseño dentro de una área determinada se obtiene mediante el desarrollo de una serie de criterios heurísticos propios que le permiten tomar decisiones con mucho mayor rapidez y con mucho mayor seguridad. Pero si la experiencia se utiliza como un pretexto para no pensar o como una excusa para no hacer el esfuerzo de analizar nuevamente un problema, el Ingeniero Químico está condenado al fracaso y será reemplazado por un ingeniero con iniciativa y capacidad. El Ingeniero Químico que considera que lo sabe todo y no duda de su criterio y no se cuestiona a sí mismo, es un profesionalista que nunca va a prosperar y que cometerá errores muy serios por extrapolar experiencias sin cuestionar si siguen siendo válidas o no.

Los criterios heurísticos sirven para ahorrar una buena cantidad de tiempo, están basados en buenas experiencias de un gran número de Ingenieros Químicos y por lo tanto son una enorme ayuda para el diseño de procesos. Sin embargo, si la experiencia acumulada de muchos ingenieros muy capaces que generaron una regla heurística validada por otros muchos ingenieros que la utilizaron y la mantuvieron, falla en condiciones no convencionales, con mucho más razón pueden fallar las reglas heurísticas generadas en la propia experiencia de un Ingeniero Químico, que se validan exclusivamente por los pocos o muchos ejemplos que pueda haber analizado en su vida, que a final de cuentas, representan un número muy reducido con respecto a los casos que dieron valor a las heurísticas utilizadas en un diseño a nivel convencional.

Es muy importante, en este sentido, que el profesionalista tenga un nivel de humildad con respecto a su alcance.

El profesionalista con éxito es aquel que sabe utilizar al máximo su experiencia para acortar caminos, para encontrar soluciones aparentemente nuevas en una área de conocimiento. Lo que hace es trasladar experiencias de otra área de conocimiento, siendo capaz de extrapolarlas a una nueva área, pero al mismo tiempo que tiene el criterio suficiente para saber distinguir similitudes y diferencias. Curiosamente, esto se aprende con la experiencia.

En investigación, el investigador con éxito es aquél que traslada experiencias y soluciones de problemas de un campo, a otro que aparentemente no tiene nada que ver; es capaz de aprovechar su experiencia y la de los demás en una área determinada para resolver problemas que no han sido resueltos en otra área. Un buen Ingeniero de procesos hace eso, transfiere su experiencia con criterio, de diseño de un proceso en un contexto dado a otro contexto diferente.

Hay ingenieros que independientemente de que tengan muchos años de experiencia en una sola actividad, al cambiar de área tienen el criterio suficiente para saber qué es válido transferir y qué no. Hay otros que desgraciadamente se olvidaron del criterio ingenieril que se necesita para abordar cualquier problema nuevo, y lo único que saben utilizar es lo que les quedó de su experiencia de muchos años.

Es importante que el Ingeniero Químico esté conciente de que existen ejemplos en los que las reglas heurísticas son totalmente inválidas; debe conocer la conveniencia de utilizarlas, pero también debe tener la humildad de saber que no siempre va a tener la razón y de que habrá casos en los que las reglas heurísticas son el fracaso total. Tienen el grave inconveniente de cerrar la mentalidad del ingeniero, poniéndole una barrera que en realidad no existe. Muchas veces se usa un criterio heurístico y se limita el juicio del ingeniero al tratar de aplicarlo forzosamente.

Un ingeniero que se basa exclusivamente en su experiencia y que no ha desarrollado el criterio para saber si su experiencia aplica o no, puede cometer errores muy serios. Los errores más grandes se cometen cuando se confía en que las condiciones son las mismas y es la experiencia la que lo dicta. Por otra parte, también se dan errores muy serios del ingeniero que teóricamente conoce los modelos y los criterios, pero que se olvida que el modelo no es

aplicable al caso específico que está considerando, porque no tiene la experiencia que le permite juzgar.

La experiencia no siempre desarrolla el criterio, sino que impide o ciega su aplicación. Ayuda mucho, pero debe enriquecerse con el análisis concienzudo de si esa experiencia sigue siendo válida, la propia o la de los demás, que generaron las reglas heurísticas.

Es el criterio ingenieril el que permite realizar un análisis profundo de las cosas, de los porqués; muchas veces la experiencia obliga a hacer este análisis, pero es el criterio del Ingeniero Químico el que debe juzgar si las condiciones de diseño son similares o parecidas a las que sirvieron de base para la generación del criterio heurístico.

Para un buen profesionalista dentro de su área, el utilizar criterios heurísticos resulta no obvio, pero lo hace sin racionalizarlos. Un profesionalista que aborda problemas nuevos como su actividad profesional, tiene una forma de vida diferente que lo obliga a cuestionar continuamente la experiencia acumulada, porque los hechos lo justifican; esa experiencia es válida, pero debe usarse distinguiendo similitudes de diferencias.

En general, el profesionalista con éxito es el que combina experiencia con criterio y con conocimiento, el que sabe enriquecer su experiencia con el conocimiento y que sabe reenriquecer el conocimiento con su experiencia.

Hay gente que sigue aprendiendo toda su vida, que sabe seguir aprendiendo; ésa es la gente más valiosa.

Hay que aprender a aprender; no sólo aprender a estudiar; el estudiar es una de las tantas formas de aprendizaje;

hay que saber aprender de los que tienen experiencia, lo positivo y lo negativo.

COLABORADORES capítulo siete.

- 7.1 Ing. Alejandro Anaya Durand
Gerente de Proceso y Bienes de Capital del Instituto Mexicano del Petróleo
México, D.F.
- 7.2 Ing. César Octavio Baptista
Presidente Fundador del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos
Ex - Subdirector General de Petróleos Mexicanos
Asesor Personal del Secretario de Energía, Minas e Industria Paraestatal
México, D.F.
- 7.3 Dr. Francisco Barnés de Castro
Director General de la Industria Paraestatal de la Secretaria de Energía, Minas
e Industria Paraestatal
Presidente Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos
México, D.F.
- 7.4 Ing. Pablo Barroeta González
Sub - Gerente de Planeación Comercial de Petróleos Mexicanos
México, D.F.
- 7.5 Mr. Stanley S. Grosse
Engineering Fellow. Head - Standards and Design Methods Section.
Corporate Engineering Dept.. Hoffmann - La Roche Inc.
Nutley, New Jersey, 07110
- 7.6 Prof. Dr. Ing. Lothar Jaeschke
President. UHDE GmbH
AINSA - UHDE, S.A. de C.V.
México, D.F.

- 7.7** Mr. Hernan Mujica
Product Engineer. Harrison Operation. Worthington Group
McGraw - Edison Company
Harrison, New Jersey, 07029
- 7.8** Mr. Eugene F. Newman
Application Engineer. Harrison Operation. Worthington Group
McGraw - Edison Company
Harrison, New Jersey, 07029
- 7.9** Ing. Ernesto Rios Montero
Vicepresidente de Bufete Industrial
México, D.F.
- 7.10** Ing. Jaime Toral G.
Gerente de Proceso de Bufete Industrial
México D.F.
- 7.11** Ing. Alberto Urbina del Razo
Director Técnico de SOMEX
México, D.F.
- 7.12** Mr. Shmariahu Yedidiah
Hydraulic Specialist. Ampere Operation. Worthington Group
McGraw - Edison Company
East Orange, New Jersey, 07017

CONCLUSIONES

CAPITULO OCHO

CONCLUSIONES

Este capítulo contiene las conclusiones a cerca de los criterios heurísticos que se aplican cuando se diseña una tubería, y también las que pueden generarse de la aplicación de los criterios heurísticos y de la heurística en general, dentro del ejercicio profesional de la Ingeniería Química.

Las conclusiones que aquí se presentan, fueron basadas en los criterios recopilados en los capítulos uno a seis, y en el análisis y evaluación que de ellos se presentó en el capítulo siete.

Primeramente se presentan las conclusiones generales y posteriormente las correspondientes a los aspectos más importantes analizados en los capítulos anteriores. Es importante hacer notar que estas conclusiones no son de ninguna manera absolutas, sino el resultado del análisis y evaluación realizado como objetivo primordial de esta tesis.

- Un buen profesionalista es aquel que sabe utilizar su experiencia, sus reglas heurísticas y las de los demás, pero con criterio. La mejor combinación es la experiencia con el criterio, la regla heurística con el criterio para aplicarla o incluso modificarla.
- Los criterios heurísticos no son enemigos de la optimización y la computación. La computadora debe permitirle al ingeniero decidir cuándo desea utilizar un criterio heurístico y cuándo no. Ambas herramientas deben usarse racionalmente.
- Los criterios heurísticos deben aplicarse cuando el efectuar la optimización de un sistema resulta poco práctico, por razones de tiempo, dinero y esfuerzo.
- Cuando se aplica un criterio heurístico debe estarse completamente seguro de que las condiciones sobre las cuales se establece el mismo, corresponden fielmente al caso que se está considerando.
- Las reglas heurísticas provienen necesariamente de la experiencia generalizada en el ejercicio de la Ingeniería Química y existen porque hay fenómenos que no pueden resolverse mediante ecuaciones matemáticas científicas. Por esta razón la heurística y sus criterios tienen una aplicación permanente en la Ingeniería Química.
- Las normas, estándares y especificaciones son un conjunto de criterios heurísticos muy valiosos, que tienen además la ventaja de proveer un respaldo legal. Este tipo de criterios deben usarse siempre que no se tenga la capacidad, la experiencia, los recursos o el prestigio, para generar una especificación propia.

- Mientras los criterios heurísticos estén respaldados por asociaciones o instituciones de reconocido prestigio, como son las relativas a las tuberías alrededor de medidores de flujo, pueden y deben usarse si no se dispone de mayor espacio para proveer la tubería recta antes y después del medidor.
- Para el diseño de tuberías de succión de bombas, el criterio heurístico de producir una caída de presión baja, es completamente válido, puesto que el NPSH es el primer y único criterio que existe.
- Para el diseño de tuberías de descarga de bombas, deben usarse los criterios derivados del criterio económico, que es básico en este caso.
- Los criterios de selección de válvulas y medidores de flujo, aunque no son rigurosamente heurísticos, deben aplicarse con cautela; en este caso, lo más recomendable es recurrir a un especialista.
- Para el dimensionamiento de válvulas de control, el criterio heurístico de diseñar con un 1% de las pérdidas totales del sistema, es y seguirá siendo válido, porque está basado en proveer una caída de presión adecuada para control.
- Para la determinación de la caída de presión en una tubería, los criterios de selección de la correlación adecuada para efectuar el cálculo, son válidos en tanto estén respaldados por resultados experimentales y sobretodo por mediciones reales en sistemas industriales ya instalados.
- En cuanto a los valores de coeficientes de resistencia y longitudes equivalentes de válvulas y accesorios, el criterio básico de utilizar sólo coeficientes de resistencia es válido. Debe tratarse que la fuente bibliográfica escogida comprenda todos los elementos considerados en el sistema. Para tuberías de diámetro pequeño, de hasta 6", ambos conceptos son adecuados.

- El factor de seguridad debe aplicarse globalmente al final de los cálculos y debe involucrar el conjunto de todas las incertidumbres que se tengan en el diseño, después de considerar los diferentes factores de certidumbre. Para el diseño de tuberías, el valor más recomendable es del 10% en flujo, que corresponde a 20% en caída de presión.
- Los valores recomendados de velocidades y caídas de presión para la determinación heurística del diámetro de una tubería, son inmensamente útiles para evitar una optimización de costos, cuando ésta no se justifica. Deben usarse principalmente cuando el diámetro de la tubería influirá en el consumo de energía de la planta, puesto que generalmente provienen de un criterio económico. Y por lo tanto debe tenerse un cuidado especial si se han producido cambios importantes en costos.
- Los valores recomendados de velocidades tienen más limitaciones que los de caídas de presión, pero pueden usarse para tuberías pequeñas, de hasta 6" pulgadas de diámetro, sin que exista una diferencia significativa con respecto al resultado que se obtendría utilizando valores de caídas de presión.
- Para seleccionar un material de construcción de tubería, debe tenerse siempre referencia de su uso exitoso en instalaciones reales en operación; y cuando su costo lo justifique, debe hacerse un análisis de costos de reposición por la dificultad de adquisición de materiales importados en el país.

(CODIGOS DE TUBERIA)

APENDICE A

CODIGOS DE TUBERIA

La información contenida en este apéndice tiene como finalidad mostrar los códigos de tubería más utilizados en las firmas de ingeniería nacionales, así como algunas de sus características más relevantes.

En México, el diseño de tuberías se hace comunmente en base a los códigos del Instituto Nacional Norteamericano de Estándares (American National Standards Institute, ANSI).

Lo anterior se debe principalmente a la cercanía de nuestro país con Estados Unidos, y también al hecho de que los Estados Unidos constituyen una potencia tecnológica de primer orden en el planeta; de manera que México y en general todos los países latinoamericanos y en vías de desarrollo, han adoptado las normas, estándares y especificaciones emitidas por ese país.

La edición de códigos propios requiere de un desarrollo tecnológico importante, con el cual lamentablemente no contamos. Sin embargo, los códigos son estudiados en nuestro país para adaptarlos a nuestras propias características y necesidades.

A continuación se presenta la información concerniente a los códigos del ANSI.

HISTORIA DE LOS CODIGOS DE TUBERIAS

- 1915 POWER PIPING SOCIETY (Sociedad de Tubería de Potencia)
- Publica las especificaciones estándares para tubería de potencia. Primer código nacional para tubería a presión.
- 1924 OHIO SOCIETY OF SAFETY ENGINEERS (Sociedad de Ingenieros de Seguridad del Estado de Ohio)
- Publica las "Reglas para Tubería de Vapor y Agua de Plantas de Potencia".
- 1925 OHIO STATE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL RELATIONS (Departamento de Relaciones Industriales del Estado de Ohio)
- Publica "Código de Regulaciones y Reglas de Seguridad que cubre la Instalación de Tubería de Vapor a Alta y Baja Presión".
- 1926 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION (Sociedad Norteamericana de Estándares)
- Inicia el Proyecto B31: "Código de Tubería a Presión".
- 1935 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION
- Publica el B31.1: "Código Tentativo Norteamericano para Tubería a Presión".
 - Sección 1 - Tubería de Potencia
 - Sección 2 - Tubería de Gas y Aire
 - Sección 3 - Tubería de Petróleo
 - Sección 4 - Tubería Distrital de Calentamiento
 - Sección 5 - Detalles de Fabricación
 - Sección 6 - Materiales

- 1937 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION
- Agrega una nueva sección al B31.1, cubriendo Tubería de Refrigeración, en cooperación con la "American Society of Refrigeration Engineers" (Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Refrigeración).
 - Agrega reglas para cálculos de flexibilidad.
- 1939 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION, ASA
- ASA B9: Código Estándar Norteamericano de Seguridad para Refrigeración Mecánica.
- 1942 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION
- Nueva edición del B31.1.
- 1944 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION
- Suplemento 1 al B31.1.
 - Establece el procedimiento para obligaciones e interpretaciones.
 - Publica discusiones en la revista "Mechanical Engineering".
- 1947 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION
- Suplemento 2 al B31.1
- 1948 AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION y AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Mecánicos)
- Forman un comité de estándares para cubrir aplicaciones de tubería adicionales.
- El Comité de Estándares quedó compuesto por:
- Sociedades Técnicas
 - Industriales
 - Asociaciones Comerciales
 - Gobierno
 - Asociaciones Laborales
 - Institutos de Investigación
 - Miembros Especiales

- 1951 COMITE DE ESTANDARES B31
- Publica una versión grandemente modificada y expandida del B31.1.
- 1952 COMITE DE ESTANDARES B31
- Publica el B31.8: Tubería de Transmisión de Gas.
Primer código publicado de tubería industrial, fuera del B31.1.
- 1955 COMITE DE ESTANDARES B31
- Publica una nueva versión del B31.1.
Ultima vez que el B31.1 es publicado con aplicaciones industriales combinadas.
 - Se somete a votación la autorización para la preparación y publicación de documentos separados de tubería industrial.
- 1959 ANSI
- Publica el B31.3: Tubería de Refinerías.
 - Publica el B31.4: Tubería de Transporte de Petróleo Líquido.
- 1962 ANSI
- Publica el B31.1: Tubería de Potencia.
- 1967 ANSI
- Publica nuevamente el B31.1: Tubería de Potencia.
- 1968 ANSI
- Publica el B31.2: Tubería de Combustible Gaseoso.
- 1968 CODE OF FEDERAL REGULATIONS (Código de Regulaciones Federales)
- El congreso emite el Acta 49 CFR 192: "Transporte de Gas Natural y Otros Gases en Gasoductos: Estándar Federal de Seguridad Mínima".
- 1969 ANSI
- Publica el B31.7: Tubería de Plantas Nucleares de Potencia.

- 1970 ASME
Publica la "Guía Sistemas de Tubería de Transmisión y Distribución de Gas".
Un suplemento que dice como implementar el estándar federal de tuberías de gas.
- 1971 ASME
- Publica el ASME Sección III
 - El B31.7, Tubería de Plantas Nucleares de Potencia, queda incluido en la nueva versión de la Sección III.
- 1976 ANSI
- El B31.6, Tubería de Plantas Químicas, nunca se publica como tal y queda incluido en el B31.3: Tubería de Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo.
- 1977 ASME
- Se publica una nueva edición de la Sección III.
 - Se publica el Caso de Código N-155, Reglas para Tubería de Resina Termofija de Fibra de Vidrio Reforzada, Sección III.
- 1978 ANSI
- Se elimina el B31.7, Tubería de Plantas Nucleares de Potencia.
- ANSI
- Nuevas Secciones:
 - B31.9: Tubería de Servicio de Edificios.
 - B31.10: Tubería Criogénica.

CODIGOS DE TUBERIA VIGENTES

ANSI	B31	<u>Código de Tubería a Presión</u>
	B31.1	Tubería de Potencia
	B31.2	Tubería de Gas Combustible
	B31.3	Tubería de Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo
	B31.4	Tubería de Transporte de Petróleo Líquido
	B31.5	Tubería de Refrigeración
	B31.7	Tubería de Plantas Nucleares de Potencia (1)
	B31.8	Tubería de Transporte y Distribución de Gas (2)
	B31.9	Tubería de Servicio de Edificios
	B31.10	Tubería Criogénica

ASME Sección III División 1 Componentes de Plantas Nucleares de Potencia

Parte 192 Título 192 Código de Regulaciones Federales "Transporte de Gas Natural y Otros Gases en Gasoductos: Estándar Federal de Seguridad Mínima

NOTAS: (1) Cubierto por el ASME Sección III
(2) Cubierto por el Título 192

CONSIDERACIONES DE LOS CODIGOS

TEMA	B31.1	B31.3	ASME III Clase 1
Alcance y Definiciones	Capítulo 1	Capítulo 1	NB-1000
Diseño	Capítulo 2	Capítulo 2	NB-3600
Materiales	Capítulo 3	Capítulo 3	NB-2000
Componentes (Dimensiones y Dimensionamiento)	Capítulo 4	Capítulo 4	NB-3600
Fabricación, Ensamble y Erección	Capítulo 5	Capítulo 5	NB-4000
Examen e Inspección	Capítulo 6	Capítulo 6	NB-5000
Prueba	Capítulo 6	Capítulo 6	NB-6000
Servicio con Fluidos Peligrosos	No incluido	Capítulo 7	No incluido
Programa de Seguro de Calidad	Sólo ASME Sección 1	No incluido	Sub-Sección NCA
Protección contra sobre-presión	-----	-----	NB-7000
Placas de Nombre de Código y Etiquetado	Sólo ASME Sección 1	-----	NB-8000

OTROS ESTANDARES RELACIONADOS CON TUBERIAS

ANSI, AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
(Instituto Nacional Norteamericano de Estándares)

- A21.1 Cálculo de resistencia y espesor de tubería de fierro fundido.
- A21.6 Tubería de Fierro Fundido centrífugamente en moldes metálicos, para agua y otros líquidos.
- A21.8 Tubería de fierro fundido centrífugamente en moldes recubiertos de arena, para agua y otros líquidos.
- A21.10 Accesorios de fierro gris y dúctil.
- A21.11 Juntas de empaque de caucho, para tubería y accesorios de fierro fundido.
- A21.12 Tubería de fierro fundido centrífugamente de 2" y 2½", para agua y otros líquidos.
- A21.50 Diseño de espesor de fierro dúctil.
- A21.51 Tubería de fierro dúctil, fundida centrífugamente en moldes metálicos o recubiertos de arena, para agua y otros líquidos.
- B1.1 Roscas de tornillo unificadas.
- B2.1 Roscas de tubería (excepto de sello seco)
- B2.2 Roscas de tubería de sello seco.
- B16.1 Bridas de tubería y accesorios bridados, de fierro fundido, 25, 125, 250 y 800 lbs.
- B16.3 Accesorios roscados de fierro fundido, 150 y 300 lbs.
- B16.4 Accesorios roscados de fierro fundido, 125 y 250 lbs.
- B16.5 Bridas de tubería y accesorios bridados, de acero.
- B16.9 Accesorios soldados a tope, de acero forjado.
- B16.10 Dimensiones de válvulas ferrosas.
- B16.11 Accesorios de boquilla para soldar y roscados, de acero.
- B16.14 Tapones, boquillas y tuercas, ferrosas, con roscas de tubería.
- B16.15 Accesorios roscados de bronce fundido, 150 y 300 lbs.
- B16.18 Soldadura de bronce fundido, accesorios de juntas a presión.
- B16.20 Empaques de junta de anillo, bridas de acero.
- B16.21 Empaques no metálicos para bridas.
- B16.22 Accesorios de juntas a presión de soldadura de bronce y cobre forjado.
- B16.24 Accesorios y bridas de bronce, 150 y 300 lbs.
- B16.25 Extremos soldados a tope, tubería, válvulas, bridas y accesorios.
- B16.28 Codos de radio corto y retornos, soldados a tope, de acero forjado.
- B16.34 Válvulas de extremos soldados a tope, de acero.
- B18.2.1 Tornillos y pernos hexagonales y cuadrados.
- B18.2.2 Tuercas hexagonales y cuadradas.
- B18.21.1 Arandelas flador o de presión o de seguridad.

- B26 Roscas de tornillo de acoplamiento para mangueras contra-incendio.
- B27.2 Arandelas planas.
- B27.4 Arandelas ahusadas o achaflanadas.
- B31.3 Tubería de Refinación de Petróleo.
- B31.4 Tubería de Transporte de Petróleo.
- B31.8 Tubería de Transporte y Distribución de Gas.
- B36.10 Tubería de fierro y acero forjado.
- B36.19 Tubería de acero inoxidable.

MSS, MANUFACTURERS STANDARDIZATION SOCIETY OF THE VALVE AND FITTINGS INDUSTRY

(Sociedad de Estandarización de los Fabricantes de Válvulas y Accesorios)

- SP-6 Terminados, sobre bridas, válvulas y accesorios.
- SP-9 Fresamiento de puntos para bridas de bronce, fierro y acero.
- SP-25 Marcado, para válvulas, accesorios, bridas y uniones.
- SP-42 Válvulas bridadas fundidas, 150 lbs.
- SP-43 Accesorios soldados a tope de acero inoxidable forjado.
- SP-45 Conexiones de desvío y drenaje.
- SP-51 Bridas y accesorios bridados, fundidos, resistentes a la corrosión, 150 lbs.
- SP-53 Inspección de partícula magnética, fundición de acero.
- SP-55 Inspección visual, fundiciones de acero.
- SP-58 Suspensores y soportes de tubería, materiales y diseño.
- SP-61 Prueba hidrostática para válvulas de acero.
- SP-67 Válvulas de mariposa.
- SP-69 Suspensores y soportes de tubería, selección y aplicación.
- SP-75 Accesorios de soldadura forjados de alta resistencia.
- SP-80 Válvulas de compuerta, globo angular y retención, de bronce.

AWS, AMERICAN WELDING SOCIETY
(Sociedad Norteamericana de Soldadura)

- A5.1 Electrodo de soldadura de arco cubiertos de acero suave.
- A5.2 Varillas de soldadura de gas de fierro y acero.
- A5.4 Electrodo de soldadura cubiertos de acero Cr-Ni y Cr resistente a corrosión.
- A5.5 Electrodo de soldadura de arco cubiertos de acero de baja aleación.
- A5.6 Electrodo de soldadura de arco de cobre y aleación de cobre.
- A5.7 Varillas de soldadura de cobre y aleación de cobre.
- A5.8 Metal de aporte para soldadura fuerte.

- A5.9 Varillas y electrodos desnudos, acero Cr-Ni y Cr resistente a corrosión.
- A5.10 Varillas y electrodos desnudos de soldadura, aluminio y aleación de aluminio.
- A5.11 Electrodos de soldadura cubiertos de níquel y aleación de níquel.
- A5.12 Electrodos de soldadura de arco de tungsteno.
- A5.14 Electrodos y Varillas de soldadura desnudas de níquel y aleación de níquel.
- A5.17 Fluxes y electrodos desnudos de acero suave para soldadura de arco sumergido.
- A5.18 Electrodos de acero suave para soldadura de arco metálico gaseosa.
- A5.20 Electrodos de acero suave para soldadura de arco de flux nucleado.

**AWWA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION
(Asociación Norteamericana de Trabajos Hidráulicos)**

- C-101 Cálculo de la resistencia y el espesor de tubería de fierro fundido.
- C-106 Tubería de fierro fundido centrífugamente en moldes metálicos.
- C-108 Tubería de fierro fundido centrífugamente en moldes recubiertos de arena.
- C-110 Accesorios de fierro fundido de 2" a 48".
- C-111 Juntas empaque de caucho para tubería y accesorios de fierro fundido.
- C-112 Tubería de fierro fundido centrífugamente de 2" y 2½".
- C-150 Diseño de espesor para tubería de fierro dúctil.
- C-151 Tubería de fierro dúctil fundido centrífugamente, molde metálico o con arena.
- C-201 Tubería de acero fabricada por fundición eléctrica.
- C-207 Bridas de tubería de acero.
- C-208 Dimensiones para accesorios de tubería de acero de agua.
- C-300 Tubería de agua, acero reforzada de concreto, tipo cilindro, no pretensionada.
- C-301 Tubería de agua, acero reforzada de concreto, tipo cilindro, pretensionada.
- C-302 Tubería de agua, acero reforzada de concreto, tipo no cilin., no pretensionada.
- C-400 Tubería de asbesto cemento.
- C-500 Válvulas de compuerta para servicios ordinarios de trabajos hidráulicos.
- C-600 Instalación de tuberías maestras de agua, de fierro fundido.
- C-603 Instalación de tubería de asbesto cemento.

ESPECIFICACIONES FEDERALES

- SS-P-351 Acoplamiento de tubería de asbesto cemento.
- SS-P-381 Tubería: Concreto, (a presión, reforzamiento de acero reforzado pretensionado, tipo cilindro).
- WW-P-421 Tubería de fierro fundido gris y dúctil, a presión (para agua y otros líquidos).

OBJETIVOS DE LOS CODIGOS

Códigos de Tubería ANSI B31

- Establecer los requerimientos mínimos que redunden en una instalación segura, confiable y económica.
- Los códigos no son Manuales.
- Proveer un documento básico para arreglos contractuales entre el contratista y el comprador.
- Proveer una base para la adopción gubernamental.
- Dar margen al diseñador.

Código Nuclear ASME Sección III

- Documento Legal
- Proveer los requerimientos mandatorios para Plantas Nucleares.
- No dar margen al diseñador.

PERSONAL INVOLUCRADO EN LOS CODIGOS

Los miembros son voluntarios.

Los miembros no representan a sus empleados, sino que actúan como individuos.

Los miembros se seleccionan por su conocimiento y experiencia industrial.

Los miembros se encargan de realizar una evaluación continua del código, para garantizar el objetivo de seguridad y confiabilidad.

Los Comités están balanceados por representantes de:

- Fabricantes
- Propietarios / Operadores
- Diseñadores
- Constructores
- Agencias Reguladoras
- Agencias de Seguros
- Agencias de Inspección
- Interesados Generales

CONSENSO DE CODIGOS

Los códigos son estándares de consenso. Los cambios y adiciones son sometidos al voto de los miembros.

Las reglas están sujetas a comentarios por correspondencia. Los individuos que estén en desacuerdo, pueden presentar su punto de vista escribiendo una carta dirigida al cuerpo completo del código.

CASOS DE CODIGO Y OBLIGACIONES

Tanto el ANSI B31, como el ASME Sección III, proveen las obligaciones.

Casos de Código publicados: Revista "Mechanical Engineering" y a los suscriptores del servicio de casos de código.

Usualmente, los casos de código son incluidos eventualmente en el código en fecha futura.

COMPARACION DE LOS CODIGOS

TEMA	B31.1	B31.3	ASME III Clase 1	ASME III Clase 2	ASME III Clase 3
=====					
Diseño	Simplifi- cado	Simplifi- cado	Riguroso	Simplifi- cado	Simplifi- cado
Base de Esfuerzo Permisible	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja
Materiales	Estándar	Estándar	Alta NDE	NDE inter- media	Estándar
Requerimientos de Fabricación	Estándar	Estándar	Prácticas Óptimas	Estándar	Estándar
Requerimientos de NDE	Varía con el peligro	Varía con el peligro	Altos	Interme- medios	Estándares
Inspecciones	Propieta- rio y ter- ceros Sólo para BEP	Propieta- rio	Propieta- rio y ter- ceros	Propieta- rio y ter- ceros	Propieta- rio y ter- ceros
Programa QA Mandatorio	QC para BEP sola- mente	No	Si	Si	Si
Legalidad	Sólo para BEP	No	Si	Si	Si

=====

QC = Quality Control (Control de Calidad)
 QA = Quality Assurance (Aseguramiento de Calidad)
 NDE = Non Destructive Examination (Prueba no destructiva)

SELECCION DE BRIDAS

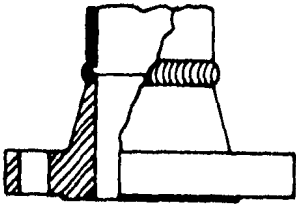
APENDICE B

SELECCION DE BRIDAS

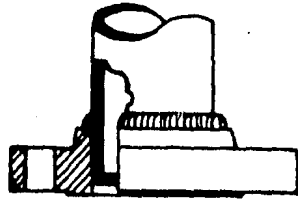
Las bridas son dispositivos sumamente importantes en los sistemas de tubería, puesto que permiten un fácil desmonte de dichos sistemas para mantenimiento. En este apéndice se presenta información que puede ser útil para la selección de estos dispositivos.

Se presenta primeramente un dibujo de los tipos de bridas más comunes y después una tabla en la que se indican, la descripción, los usos, las ventajas y las desventajas de los diferentes tipos de bridas.

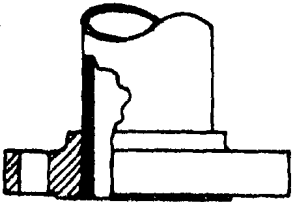
Posteriormente se presenta un dibujo con los tipos más comunes de caras para bridas y su tabla correspondiente, en la que se indican, la descripción, los usos, las ventajas y las desventajas de los tipos de caras considerados.



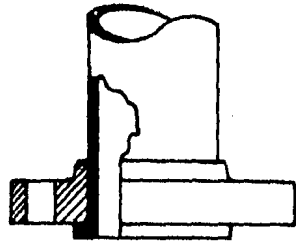
CUELLO SOLDABLE



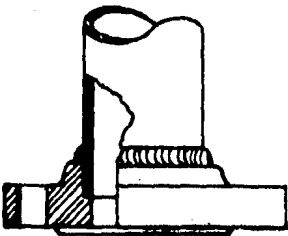
DESLIZABLE



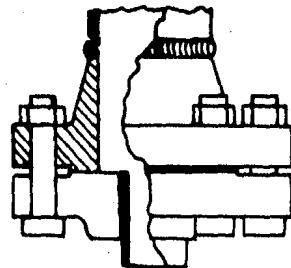
ROSCADA



A TRASLAPE O LOCA



INSERTO SOLDABLE



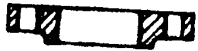
ROSCADA-REDUCCION

TIPOS DE BRIDAS

GUÍA DE SELECCIÓN DE BRIDAS

TIPUS DE BRIDAS	DESCRIPCIÓN	USOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ROSCADA	Se directamente roscada a la tubería, no necesita soldadura.	Baja presión y temperatura moderada.	Se usa para rapidez en el montaje.	No es adecuada para servicios que impliquen fatigas térmicas y es susceptible al galván.
DESIZABLE	Este tipo de brida se desliza sobre el exterior del tubo, el cual coincide con el diámetro interior de la brida, se fija al tubo mediante dos cordones de soldadura, uno interior y el otro exterior.	Se recomienda para condiciones de servicios moderados.	Requiere menos destreza en el montaje.	Su instalación es más costosa que una brida de cuello. La resistencia y la vida bajo presión interior y por fatiga son menores que en una brida de cuello.
CUELLO SOLDABLE	Esta es la brida más utilizada, terminada en cubo cónico que coincide con la tubería.	En condiciones de servicio severas, alta presión y temperatura o criogénico, servicios inflamables o fluidos explosivos.	Su tipo de construcción hace posible la reducción de esfuerzos, su instalación es la más barata y sólo requiere de una soldadura.	
BRIDA LOCA	Hay contacto solamente del fluido con la tubería, ya que se usa casquillo en el extremo de la tubería.	Para servicios corrosivos donde se requiera frecuentemente inspección y desmontaje, para grandes diámetros en los que la posibilidad de girar la brida es importante.	Como la brida no tiene contacto con el fluido, ésta puede ser de acero al carbón en un sistema de tubería de aleación.	Se deben evitar para condiciones que impliquen fatiga.
INSERTO SOLDABLE	La tubería se ajusta en un rebaje en el interior de la brida y se sujeta a la tubería mediante un cordón exterior de soldadura.	Es muy útil para tuberías de diámetros pequeños operando a presiones altas.	Con una soldadura interna tiene un 50% más de resistencia a la fatiga con la misma resistencia estática.	La unión interna entre la tubería y la brida puede estar sujeta a gran corrosión y presenta tensiones estancamientos.
CIEGAS	Sirven como un tapón u obstáculo en los extremos de los cabezales, lo cual permite continuarlos con facilidad en caso de ampliaciones o para limpieza.	Servicios de presión, vacío y terminales de tuberías y válvulas.	Absorben altos esfuerzos a la deformación.	En absorben esfuerzos causados por expansión térmica o por el peso del sistema de tubería.
BRIDA DE ORIFICIO	Se compone de un par de bridas con una placa porta-orificio entre ellas, cada brida tiene dos tomas de presión, una frente a otra.	Para medir el gasto a través de una tubería.	Ocupa menos espacio que un "dall tube" o un venturí.	Sólo las hay roscadas, desizables y de cuello soldable y no las hay de 150#.
REDUCCION	Son bridas cuyo orificio central es menor que el correspondiente a su diámetro exterior.	Reducción de diámetro.	En ocasiones es más económico utilizar este accesorio.	Por la caída de presión, no es recomendable, sólo hay roscadas desizables y de cuello soldable.
CUELLO LARGO	Son más largas que las comunes.	Son usadas principalmente para boquillas de equipos.	Apropiadas para temperaturas altas, resisten el impacto y esfuerzos aplicados por vibración.	Raramente se usan en tuberías.

342



CARA PLANA
(FLAT FACE-FE)



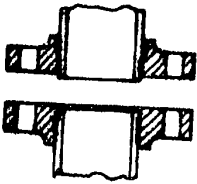
CARA REALZADA
(RAISED FACE-RF)



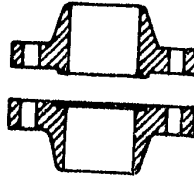
CARA ENGARGOLADA O
TRASLAPADA
(LAP JOINT)



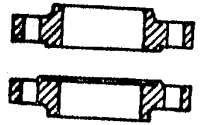
CON ANILLO
(RING JOINT TYPE)



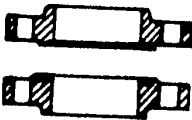
MACHO Y HEMBRA (PEQUEÑO)
(MALE & FEMALE - SMALL)



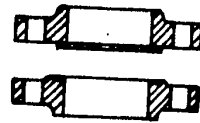
MACHO Y HEMBRA (PEQUEÑO)
(MALE & FEMALE - SMALL)



MACHO Y HEMBRA (GRANDE)
(MALE & FEMALE - LARGE)



LENGUA Y RANURA (GRANDE)
(TONGUE & GROOVE LARGE)



LENGUA Y RANURA (PEQUEÑA)
(TONGUE & GROOVE SMALL)

TIPO DE CARAS PARA BRIDAS

GUIA DE SELECCION DE CARAS DE BRIDAS

344

TIPOS DE CARAS	DESCRIPCION	USOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
REALZADA	Ambas bridas son idénticas, teniendo un realce de 1/16" para 150 y 300 lbs. y de 1/4" para 400 lbs. y mayores. La junta es menor al realce.	Servicios moderados.	Son las más comunes.	
ANILLO	Tiene una ranura en la cara en forma cóncava y se le coloca un anillo convexo que generalmente es del mismo material.	Para servicios de alta presión y temperatura.	Es más eficiente y difícil de dañar.	Más cara.
MACHO Y HEMBRA	En juego de bridas de este tipo, una cara es hembra y tiene una profundidad de 3/16", y la cara compañera es macho con un realce de 1/4". Estas caras tienen dos clasificaciones, que es macho y hembra, grande y pequeña.	Esta junta puede ser sometida a gran compresión en bridas pequeñas y grandes.	Poca probabilidad de fuga.	Problemas al ser almacenadas por parejas. No es recomendable usar empaques metálicos.
LENGUETA Y RANURA	Las hay en dos tipos, lengüeta y ranura, chica y grande.	En bridas grandes y pequeñas, en servicios que requieren una junta retenida, para sistemas de refrigeración o para <u>emernia</u> co.	El fluido no entra en contacto con la junta.	No son frecuentes en diámetros pequeños, dan mayor eficiencia con juntas planas. Problemas de almacenaje.
PLANA	La cara es plana sin realce.	En presiones y temperaturas bajas. Muy usada en bombas.	Se emparejan con válvulas y accesorios de hierro fundido de 125# y de 250#.	Se usa normalmente en hierro fundido para bajos esfuerzos.

**NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA DE
ACCESORIOS DE TUBERIA**

APENDICE C

NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA DE ACCESORIOS DE TUBERIA

En los sistemas de tubería se ha generado una nomenclatura y una simbología especiales para los diversos accesorios que van asociados a estos sistemas. En este apéndice se presenta la información sobre el particular.

Se presentan diferentes dibujos, entre los que se incluyen:

Nomenclatura Típica de Conexiones.

Conexiones de Refuerzo.

Tipos Comunes de Juntas.

Tipos de Sostenes y Soportes.

Diferentes Tipos de Curvas de Expansión.

Símbolos de Conexiones para Dibujos de Tuberías.

Símbolos de Válvulas para Dibujos de Tubería.



90° RADIO LARGO



90° RADIO CORTO



45°



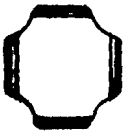
RECTA



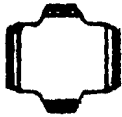
REDUCIDA

CODOS

TEES



RECTA



REDUCIDA

CRUCES

RETORNOS



CACHUCHA SOLDABLE



RADIO CORTO



RADIO LARGO



CONCENTRICA



EXCENTRICA

REDUCCIONES



REDUCCION BUSHING



YE



COPLÉ

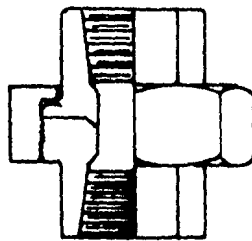


MACHO

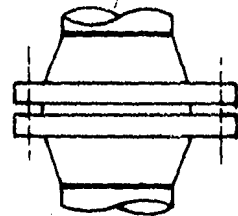


HEMERA

TAPONES



ROSCADA

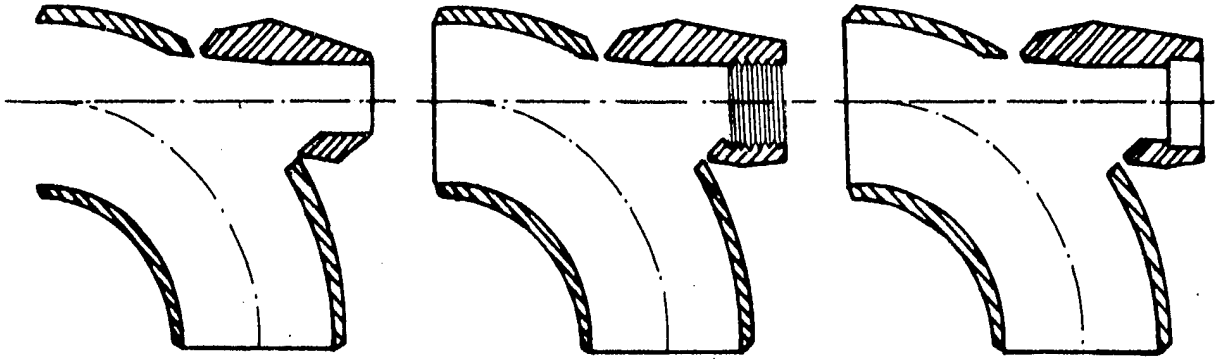


BRIDADA

UNIONES

NOMENCLATURA TIPICA DE CONEXIONES

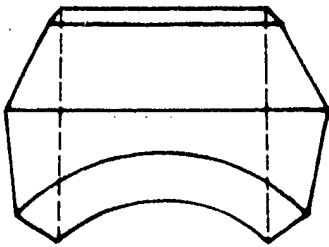
a) EL BOLET



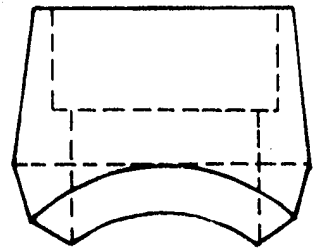
SOLDABLE A TOPE

ROSCADO

INSERTO SOLDABLE

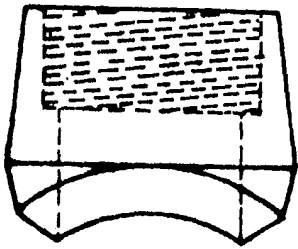


b) WELDOLET

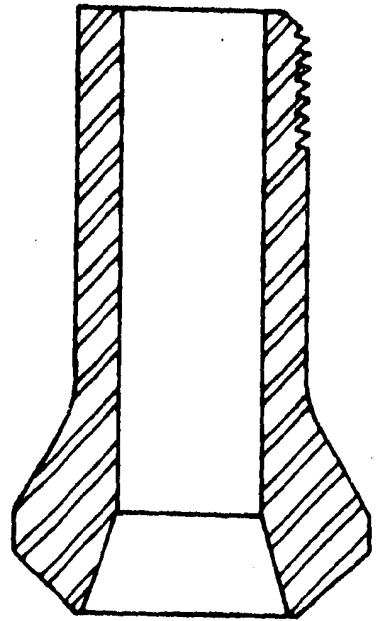


c) SOCKOLET

CONEXIONES DE REFUERZO

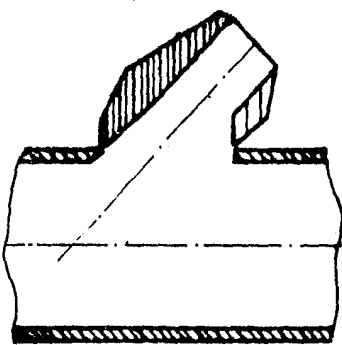


d) THIREDOLET

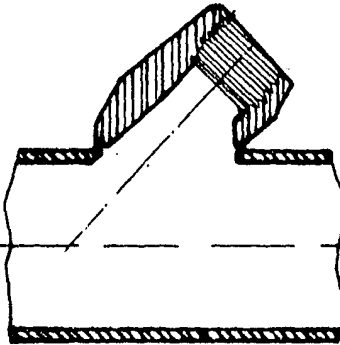


e) NIPOLET

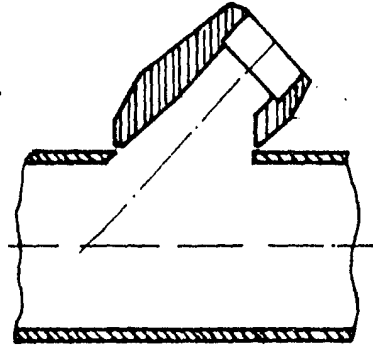
f) LATROLET



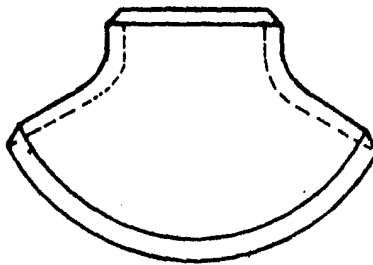
SOLDABLE A TOPE



ROSCADO



INSERTO SOLDABLE



g) SWEEPOLET

CONEXIONES DE REFUERZO

ANILLO PLANO



JUNTA PLANA NO METALICA



JUNTA PLANA DE METAL



JUNTA DENTADA

TIPO LAMINADA



ENCAMISADA



ENROLLADA EN ESPIRAL

TIPO CORRUGADA

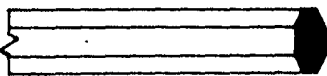


RELLENA DE ASBESTO



ASBESTO INTERCALADO

JUNTA DE ANILLO



TIPO OCTAGONAL



TIPO OVALADO

TIPOS COMUNES DE JUNTAS



**SOSTEN TIPO
ABRAZADERA
AJUSTABLE**



**SOSTEN TIPO
TORNOQUETE
AJUSTABLE**



**ABRAZADERA
SUBTERRANEA
CON OREJAS**



**ABRAZADERA
DE ANILLO**



**ANILLO
DIVIDIDO**



**ANILLO
DIVIDIDO
CON ENCHUFE**



**ANILLO
DIVIDIDO
CON TEMPLADOR**



ABRAZADERA



**ABRAZADERA
AJUSTABLE**



ABRAZADERA



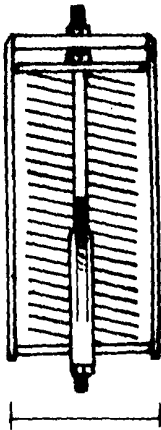
SOPORTE DE RODILLO



**SOPORTE DE
RODILLO
AJUSTABLE**



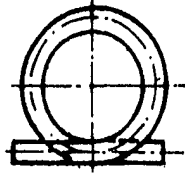
**SOSTEN DE
ESTRIBO
CON RODILLO
AJUSTABLE**



SOSTENES DE RESORTES PRECALCULADOS



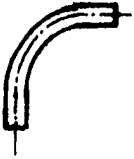
**CURVA PARA CRUCE
POR ENCIMA**



CURVA EN ANILLO



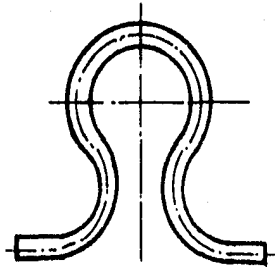
CURVA DE DESPLAZAMIENTO



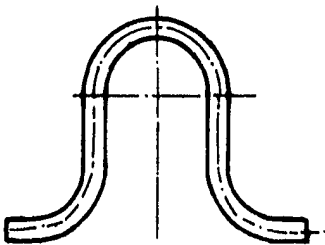
**CURVA DE UN CUARTO
DE VUELTA (90°)**



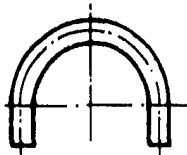
**CURVA DE UN CUARTO DE VUELTA
CON DESPLAZAMIENTO SENCILLO**



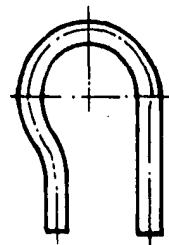
**CURVA DE COMPENSACION "U"
CON DOBLE DESPLAZAMIENTO**



CURVA DE EXPANSION "U"



MEDIA CURVA (91° A 180°)



**CURVA DE COMPENSACION "U"
CON DESPLAZAMIENTO SENCILLO**

DIFERENTES TIPOS DE CURVAS DE EXPANSION

TIPO DE CONEXION	VISTA	ROSCADA O INSERTO SOLD.	SOLDABLE			BRIDADA	
		UNIFILAR	DOBLE LINEA	UNIFILAR	DOBLE LINEA	UNIFILAR	
CODO DE 90°	SUPERIOR						
	LATERAL						
	INFERIOR						
CODO DE 45°	SUPERIOR						
	LATERAL						
	INFERIOR						
TE	SUPERIOR						
	LATERAL						
	INFERIOR						
LATERAL	SUPERIOR						
	LATERAL						
	INFERIOR						
REDUCCION	CONCENTRICA						
	EXCENTRICA						
BRIDAS	UNIFILAR						
	DOBLE LINEA						
VARIAS	UNIFILAR						
	DOBLE LINEA						

SIMBOLOS DE CONEXIONES PARA DIBUJOS DE TUBERIAS

 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA	
VALVULA DE COMPUERTA				VALVULA DE GLOBO				VALVULA DE RETENCION			
 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA	
VALVULA DE CONTROL O DE MOTOR				VALVULA DE ALIVIO				VALVULA DE ANGULO			
 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA	
TIPO REGULAR (OPERADA CON MANERAL)		TIPO REGULAR (OPERADA CON ENGRANES)				TIPO CON SELLO (PARA ALTAS PRESIONES, OPERADA CON MANERAL)					
 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA					
OPERADA CON ENGRANES		OPERADA CON MANERAL		OPERADA CON MOTOR							
 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA		 PLANTA ELEV. LATERAL BRIDADA		 PLANTA ELEV. LATERAL ROSCADA					
VALVULAS DE BOLA				VALVULAS DE DIAFRAGMA							

SIMBOLOS DE VALVULAS PARA DIBUJOS DE TUBERIA

EPILOGO

EPILOGO

Estas 374 hojas, que incluyen aproximadamente 60 tablas y más de 80 dibujos y gráficas, son el producto de dos años y medio de trabajo, que como mencioné en el Prólogo, se realizó gracias al apoyo y a la ayuda de, por lo menos 63 personas. Irremediablemente, al ver la tesis concluída, me surge la necesidad de reflexionar a cerca de su realización.

Recuerdo muy bien una tarde, saliendo de clase, que encontré al Ing. Alejandro Anaya en uno de los pasillos de la Facultad de Química, [yo había hablado anteriormente con él, sobre la posibilidad de realizar mi tesis de licenciatura bajo su dirección, pero no habíamos llegado todavía a ningún acuerdo]. Fue en esa ocasión cuando el Ing. Anaya me propuso el tema de este trabajo.

Mi primera impresión fue de entusiasmo, porque el tema me atrajo desde el principio por su originalidad e importancia. Posteriormente, al iniciar la investigación bibliográfica y ubicarme en lo que implicaba realizar una tesis con el título de "Actualización de los Criterios Heurísticos Aplicados a la Ingeniería Química", el entusiasmo se vió disminuído. Resultó sumamente difícil (incluso el definir que era lo que debería contener el trabajo, y después de algún tiempo, llegué a la conclusión de que debería delimitar el tema.

La primera delimitación fué "Criterios Heurísticos Aplicados al Flujo de Flúidos"; con este título planteé el esquema de los capítulos y reinicié la ejecución del proyecto. Pero nuevamente la amplitud del tema disminuyó el entusiasmo, así que lo delimité por segunda vez a "Criterios Heurísticos Aplicados al Diseño de Tuberías". Obviamente, con estas dos delimitaciones tan drásticas, se quedó en el tintero una gran cantidad de información ya procesada, pero con la firme intención de recuperarla más adelante y desarrollar el tema global con más calma.

La razón más importante para efectuar estas delimitaciones fué el tiempo de realización del proyecto; pero además, la certeza de que deben conocerse muy bien las limitaciones propias, para poder realizar un trabajo adecuadamente. Fué necesario evaluar la experiencia propia, muy escasa por cierto, en el ejercicio de la profesión, para saber hasta dónde podía llegarse con tan escasos recursos.

Fué entonces cuando pensé en la posibilidad de recurrir a una serie de profesionistas con experiencia, con el fin de evaluar los criterios heurísticos.

La primera etapa de entrevistas se realizó en Octubre y Noviembre de 1984, en los Estados Unidos, en donde me puse en contacto con algunos profesionistas que trabajaban cerca del area de la visita, los cuales fueron detectados en base a sus artículos publicados en diferentes revistas especializadas. Fué muy gratificante el descubrir su buena disponibilidad para conceder las entrevistas a un estudiante de otro país, que en realidad, no podía aportarles mucho, demostrando una gran amabilidad y un gran interés hacia el tema.

La segunda etapa de entrevistas se realizó en la Ciudad de México, de Marzo a Mayo de 1985, en la cual recurrí a ingenieros de muy alto prestigio, quienes muy amablemente contribuyeron de manera importantísima en la realización del último capítulo de la tesis, e incluso en los anteriores.

Las entrevistas realizadas no se transcribieron; fueron estudiadas y analizadas, extrayendo de ellas los puntos más importantes, que junto con mis propios puntos de vista, formaron la estructura del capítulo siete y sirvieron de base para la elaboración del capítulo ocho.

Es muy satisfactorio el saber que un ingeniero joven, que apenas inicia su desarrollo profesional, puede contar con el apoyo de profesionistas con experiencia, que están dispuestos a ayudar, concediendo un poco de su tiempo y sobretodo sus conocimientos, para orientarlo y enriquecerlo.

El realizar la tesis en ocasiones representa hacer un sacrificio que mucha gente no está dispuesta a realizar; deben relegarse a un segundo plano, actividades que son sumamente interesantes para cualquier persona. Sin embargo, la satisfacción de ver un trabajo concluido, que además representa un esfuerzo especial y que intenta servir de algo, es enorme.

Lo peor que puede pasarle a una tesis es permanecer empolvada en la biblioteca de una Facultad; espero que no ocurra eso con este trabajo, porque independientemente de servir para obtener el título de Ingeniero Químico y presentar el examen profesional, sirvió de manera decisiva en mi formación profesional.

El manejo de técnicas de comunicación, como la entrevista, es sumamente ilustrativo; debe saberse como plantear las preguntas a la persona entrevistada, tratando de que ésta conteste lo más libremente posible.

El reiterar que es posible contar con la gente y que las relaciones humanas son importantísimas, es una de las cuestiones más trascendentes que pude constatar. Las relaciones humanas afortunadamente dependen en gran medida de uno mismo y deben cultivarse con humildad y honestidad.

La aportación del tema en sí, fué también muy provechosa para mí. El entender que la experiencia profesional es un arma de dos filos y que los criterios heurísticos, que en última instancia son el producto de la experiencia, pueden ser muy buenos o muy malos, constituye una guía de la forma de ejercer la profesión que orientará indudablemente mis actitudes de aquí en adelante.

La tesis de licenciatura que puede aparentar ser un mero requisito de titulación, puede y debe representar la conclusión de una formación académica y el inicio de una formación profesional. Debe además constituir una aportación, aunque sea modesta, a la Institución de Enseñanza.

Este trabajo pretende ser una aportación a los alumnos, profesores y personal administrativo de la Universidad Nacional Autónoma de México, como agradecimiento por su decisiva contribución al desarrollo del individuo dentro y fuera de su campo profesional, y a la Sociedad Mexicana en su conjunto.

INDICE DE TABLAS

INDICE DE TABLAS

Límites de Temperatura para Tuberías Termoplásticas	34
Límites de Temperatura para Recubrimientos Termoplásticos.....	35
Límites de Temperatura para Resinas Termofijas Reforzadas.....	36
Resistencia a la Corrosión de Diferentes Tipos de Materiales para Tuberías.....	38
Sumario de Tuberías Metálicas.....	50
Sumario de Tuberías No Metálicas.....	51
Sumario de Recubrimientos Plásticos.....	52
Guía de Selección de Tuberías para Refinerías y Plantas Petroquímicas.....	54
	55
	56
Velocidades Típicas para Líquidos en Tuberías de Acero.....	62
Velocidades Típicas para Gases y Vapores.....	63
Velocidades Máximas para Prevenir Erosión y Corrosión en Tuberías.....	64
Ecuaciones para Diámetros Típicos.....	65
Ecuaciones para Diámetro Mínimo.....	66
Velocidades Recomendadas para Fluídos en Tuberías de Diferentes Materiales.....	67
	68
Resistencia a la Erosión-Corrosión Producida por Velocidad del Fluído.....	70
Velocidades Económicas de "Regla de Dedo" para Dimensionar Tuberías de Acero.....	71
Velocidades Permisibles Usuales para Sistemas de Ductos y Tuberías.....	72
Velocidades de Diseño Típicas para Vapor.....	73
Velocidades Recomendadas para Líneas de Vapor que Conectan a Turbinas de Vapor.....	74
Velocidades Recomendadas para Fluídos en Refinerías.....	75
Flujos Recomendados para Líneas de Petróleo Líquido.....	76

Velocidades Típicas de Diseño para Aplicaciones en Procesos.....	77
Velocidades Representativas de Flúidos en Tuberías.....	78
Velocidades Económicas de Flúido en Tuberías.....	79
Velocidades y Caídas de Presión Máximas Recomendadas para Líneas de Gases y Líneas de Vapor.....	80
	81
Rango Económico para la Caída de Presión en Tuberías para Líquidos.....	82
Velocidades Recomendadas para Líneas de Succión.....	84
Velocidades Recomendadas para Líneas de Descarga.....	85
Velocidades Recomendadas en Base a la Densidad Relativa del Flúido.....	87
Pérdidas Friccionales Adicionales para Flujo Laminar en Válvulas y Accesorios.....	99
Métodos Recomendados para el Cálculo de la Caída de Presión en Tuberías con Flujo a Dos Fases.....	107
Guía para Selección de Válvulas.....	124
Aplicaciones de los Diferentes Tipos de Válvulas.....	127
Tipos de Válvulas para Servicios Específicos.....	128
Conveniencia de los Diferentes Tipos de Válvulas.....	129
Tamaños y Rangos de Operación Típicos para Válvulas.....	131
Válvulas para Servicios al Vacío.....	132
Comparación de Válvulas de Control.....	134
Tabla Comparativa de Medidores de Flujo.....	139
Guía de Selección de Medidores de Flujo (Relaciones de Disminución).....	141
Aplicaciones que Requieren el Uso de Venturi, Tobera de Flujo y Otros Tipos de Medidores.....	145
Coefficientes de Recuperación para Válvulas.....	156
Guía de Selección de Características de Flujo.....	164
Guía para Dimensionar Válvulas de Control, de Bloqueo y de Desvío.....	206
Accesorios Permitidos a la Salida de Placas de Orificio.....	221
Localización de Orificios y Toberas de Medición con respecto a Accesorios de Tubería.....	224
Requerimientos de Tubería Recta para Annubars.....	252
Diámetros de Tubería Recta Mínima para Annubars.....	253
Velocidades Mínimas para Suspensiones.....	255

Consideraciones de los Códigos.....	331
Comparaciones de los Códigos.....	338
Guía de Selección de Bidas.....	342
Guía de Selección de Caras de Bidas.....	344

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE FIGURAS

Caída de Presión Permisible para Líquidos y Gases.....	89
Válvulas de Bola.....	115
Válvula de Diafragma Tipo Saunders.....	116
Válvula de Bola con Asiento de Metal.....	118
Válvula de Globo con Cuerpo en "Y" y el Bonete Sellado con Diafragma....	119
Válvula de Globo de Control con Cuerpo Partido para Fácil Mantenimiento y Cambio de Asientos.....	119
Válvula de Angulo.....	120
Válvula de Compuerta con Bonete Sujetado con Pernos y Vástago Saliente.....	120
Válvula de Mariposa con Dos Tipos Básicos de Diseño del Cuerpo.....	121
Válvula de Compuerta con Disco Deslizante Usada para Manejar Líquidos Pastosos.....	121
Válvula de Macho sin Lubricación para Evitar la Contaminación de Fluído.....	122
Válvula de Bola de Puerto Completo.....	122
Válvula de Retención de Columpio.....	123
Válvula de Retención de Bola.....	123
Válvula de Alivio de Seguridad con Boquilla Completa Convencional.....	123
Placa de Orificio Concéntrico de Borde Rectangular.....	169
Placa de Orificio de Bordes Especiales para Números de Reynolds Bajos....	171
Otras Formas Especiales de Orificios para Medición a Bajos Números de Reynolds.....	172
Proporciones Recomendadas de Toberas ASME de Radio Largo.....	174
Tobera con Arco Elíptico Incompleto.....	176
Tobera ISA.....	178
Dimensiones Recomendadas del Medidor de Venturi Clásico Tipo Herschel..	180

Distancias Recomendadas para una Placa de Orificio Localizada después de una Válvula de Compuerta a Diferentes Aberturas.....	230
Distancias Recomendadas para una Tobera Localizada después de un Codo de 90°.....	231
Distancias Recomendadas para una Tobera Localizada después de dos Codos de 90° Colocados en el Mismo Plano.....	232
Distancias Recomendadas para una Tobera Localizada después de tres Codos de 90° Colocados en Planos Diferentes.....	233
Distancias Recomendadas para una Tobera Localizada después de una Válvula.....	234
Distancias Recomendadas para una Tobera Localizada después de una Válvula de Compuerta a Diferentes Aberturas.....	235
Distancias Recomendadas para un Venturi Localizado después de uno o dos Codos de 90° Colocados en el Mismo Plano.....	237
Distancias Recomendadas para un Venturi Localizado después de dos Codos de 90° Colocados en Planos Diferentes.....	238
Distancias Recomendadas para un Venturi Localizado después de un Cambio de Area.....	239
Distancias Recomendadas para un Venturi Localizado después de una Válvula.....	240
Longitudes Recomendadas para Placas de Orificio y Toberas Precedidas de Accesorios Diversos Colocados en el Mismo Plano.....	242
	243
Longitudes Recomendadas para Placas de Orificio y Toberas Precedidas de Accesorios Diversos Colocados en Planos Diferentes.....	244
	245
Longitudes Recomendadas para Placas de Orificio y Toberas Precedidas de Cambios de Diámetro.....	246
Longitudes Recomendadas para Placas de Orificio y Toberas Localizadas después de Tomas Atmosféricas.....	247
Longitudes Recomendadas para Placas de Orificio y Toberas Precedidas de Válvulas.....	248
Longitudes Recomendadas para Medidores de Venturi.....	249
Longitudes Recomendadas para Tubos Lo-Loss Precedidos de Codos.....	250
Longitudes Recomendadas para Tubos Lo-Loss Precedidos de Expansiones..	250

Venturi Truncado.....	181
Tobera-Venturi.....	182
Venturi de Entrada Radial.....	183
Rompedores de Vórtices en Recipientes de Proceso Típicos.....	191
Datos para Dimensionar Tuberías de Succión de Bombas.....	194
Resolución Gráfica de la Ecuación de Darcy. Rango Práctico para Tuberías de Succión.....	196
Datos para Dimensionar Tuberías de Descarga.....	198
Guía para Dimensionar Tuberías de Descarga de Bombas Centrífugas.....	200
Arreglos para Líneas y Válvulas de Control de 1½" y Menores (Roscadadas)...	202
Arreglos para Líneas Bridadas con Válvulas de Control Roscadadas de 1½" y Menores.....	203
Arreglos para Líneas Bridadas con Válvulas de Control Bridadas de 1½" y Menores.....	203
Arreglos para Líneas y Válvulas de Control de 2" y Mayores (Bridadas).....	204
Alineador de Flujo Tipo Radial de una Sola Pieza.....	209
Alineador de Flujo Tipo Tubular.....	209
Diseños Recomendados de Alineadores de Flujo.....	211
Estándares AGA para Tuberías de Placas de Orificio.....	214
	215
	216
	217
	218
Distancias Recomendadas para Medidores de Placa de Orificio con Relación de Diámetros de 0.7 o menor. Estándares AGA-ASME.....	220
Arreglos de Tubería para Placas de Orificio.....	222
Distancias Recomendadas para una Placa de Orificio Localizada después de un Codo de 90°.....	226
Distancias Recomendadas para una Placa de Orificio Localizada después de dos Codos de 90° Colocados en el Mismo Plano.....	227
Distancias Recomendadas para una Placa de Orificio Localizada después de tres Codos de 90°.....	228
Distancias Recomendadas para una Placa de Orificio Localizada después de una Válvula.....	229

Longitudes Recomendadas para Tubos Lo-Loss Precedidos de Reducciones.. 250

Tipos de Bridas..... 341

Tipos de Caras para Bridas..... 343

Nomenclatura Típica de Conexiones..... 347

Conexiones de Refuerzo..... 348

..... 349

Tipos Comunes de Juntas..... 350

Tipos de Sostenes y Soportes..... 351

Diferentes Tipos de Curvas de Expansión..... 352

Símbolos de Conexiones para Dibujos de Tuberías..... 353

Símbolos de Válvulas para Dibujos de Tubería..... 354

INDICE TEMATICO

INDICE TEMATICO

- ACCESORIOS, 93, 98-100, 221, 222, 224, 241-247, 346-354
- ACCIONADORES, 71
- ALINEADORES DE FLUJO, 209-213, 236
- BOMBAS, 62, 68, 71, 75, 77, 78, 80, 82-87, 189-200, 241, 257, 258, 322
 - cavitación en, 189, 290, 291
- BRIDAS, 340-344
- CAIDAS DE PRESION, CALCULO DE,
 - en flujo a dos fases, 103-107
 - en gases, 101, 102
 - en líquidos, 101
 - en válvulas de control, 152-155
- CAIDAS DE PRESION RECOMENDADAS, 60, 61, 88, 89, 272-277
 - en gases, 80, 81
 - en líquidos, 75, 76, 82, 83, 86, 195, 196, 199, 200
- CALDERAS, 62, 68, 77, 81, 83
- CAMBIOS DE DIAMETRO, 217, 239, 246, 252, 253
- CARACTERISTICA DE VALVULAS DE CONTROL, 160-164
- CHIMENEAS, 72
- COEFICIENTES DE RECUPERACION DE VALVULAS DE CONTROL, 154-156
- COEFICIENTES DE RESISTENCIA "K", 98-100, 286, 322
- CODIGOS, 325-338
 - AGA (American Gas Association), 144
 - ANSI (American National Standards Institute), 328-331, 335-338
 - ASME (American Society of Mechanical Engineers), 327-331, 335-338
- CODOS, 99, 100, 214, 216, 221, 222, 224, 226-228, 231-233, 237, 238, 252, 253
- COMPRESORES, 63, 71, 80
- COMPUTACION, 310, 311, 321

CONDENSADORES, 63, 77, 80
CORROSION, 27, 37, 38, 54-56, 62, 64, 66, 69, 70, 268
CRITERIOS, 21
CRITERIOS HEURISTICOS, 265, 266, 305-309, 312-315, 321
 definición de, 21, 299-301
 opiniones, 296-298
DIAMETRO, 60
 económico, 61
 mínimo, 66
 típico, 65, 88
DISTRIBUIDORES, 259, 260
DRENAJE, 62, 65, 77
DUCTOS, 72
EROSION, 27, 62, 64, 66, 69, 70
ESPECIFICACIONES, 294, 295, 321, 334
ESTANDARES, 294, 295, 321
 AGA (American Gas Association), 144, 213-218, 225-235
 ANSI (American National Standards Institute), 332, 333
 ASME (American Society of Mechanical Engineers), 219, 220, 225-235, 241-250
 AWS (American Welding Society), 333, 334
 AWWA (American Water Works Association), 334
 MSS (Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry), 333
FACTOR DE FRICCION, 96, 97
FACTORES DE SEGURIDAD, 95, 96, 278-283, 323
FLUIDOS, 22, 23, 93, 142, 143
FLUJO A DOS FASES, 63, 77, 104, 107
FLUJO DE FLUIDOS, 22, 23, 94
FLUJOS RECOMENDADOS, 76
HEURISTICA, 21, 265, 299-301
INGENIERIA QUIMICA, 22, 24, 302-304, 321
 definición de, 302
INGENIERO QUIMICO, 22, 23, 312-315, 321

LONGITUDES EQUIVALENTES, 98, 286, 322
MATERIALES DE TUBERIA, 27, 29-36, 67, 267-271, 323
MATERIALES METALICOS, 30-33, 37, 38, 41, 45, 48-50, 53-56, 69, 70, 97
MATERIALES NO METALICOS, 33-35, 39, 40, 45-47, 49, 51, 52, 268
MEDIDOR DE CORRIDA, 143
MEDIDOR DE DERIVACION, 139, 141
MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO, 139, 141
MEDIDOR DE DISCO (Target Meter), 142, 143
MEDIDOR DE TURBINA, 139, 141
MEDIDOR DE VORTICES, 139, 141
MEDIDOR MAGNETICO, 142-145
MEDIDORES DE FLUJO, 24, 111, 112, 287-289, 322
 dimensionamiento de, 150, 166, 169-183
 rango diferencial para, 166
 selección de, 135-142, 145, 146
 tubería de, 208-253, 292, 293, 322
NORMAS, 294, 295, 321
NPSH, 189, 190, 290
OPTIMIZACION, 310, 311, 321
PATRONES DE FLUJO, 103, 104
PLACAS DE ORIFICIO, 24, 139, 141-144, 166-172, 212
 tubería de, 213-230, 241-248
PLANTAS DE POTENCIA, 75, 326, 328, 330
PLANTAS PETROQUIMICAS, 53-56, 329, 330
PLANTAS NUCLEARES DE POTENCIA, 328, 329, 330
RECUBRIMIENTOS, 35, 46-49, 52, 97
REFINERIAS, 53-56, 75, 328, 329, 330
REGLAS DE DEDO, 21, 71
ROMPEDORES DE VORTICES, 190, 191
ROTAMETROS, 24, 145
SOLDADURAS, 333, 334, 350
SOPORTES, 351
SOSTENES, 351
SUSPENSIONES, 254-257

TOBERAS, 24, 139, 141-146, 173-178, 182, 231-235, 241
 TUBERIAS, 23, 24
 dibujo de, 353, 354
 espesor de, 54-56
 sistemas de, 187, 188
 TUBOS LO-LOSS, 144, 241, 250
 TUBOS PITOT, 24, 251
 TUBOS PITOT PROMEDIANTES (ANNUBAR), 139, 141, 251-253
 TURBINAS, 63, 74, 81
 VALVULAS, 98-100, 111-113, 218, 287, 289, 322
 actuadores de, 127
 materiales de, 124
 para gases, 128
 para líquidos, 128
 selección de, 118, 124, 132
 VALVULAS DE AGUJA, 124, 129, 131
 VALVULAS DE ALIVIO, 123, 124
 VALVULAS DE ALTA CONDUCTANCIA, 132
 VALVULAS DE ANGULO, 99, 120, 124
 VALVULAS DE BLOQUEO, 127, 128, 205, 206
 VALVULAS DE BOLA, 114, 115, 122, 124, 127, 129, 131, 132
 de control, 134, 156
 VALVULAS DE COLUMPIO, 132
 VALVULAS DE COMPUERTA, 99, 114, 121, 124, 127-129, 131, 132, 221, 222, 224, 229, 234,
 235, 240, 248
 VALVULAS DE CONTROL, 113, 127, 128, 252, 322
 apertura en, 159
 caída de presión en, 152-155, 157, 158, 288, 289, 322
 capacidad de, 159
 característica de, 160-164
 cavitación en, 154, 155, 157, 158
 dimensionamiento de, 150, 159, 205, 206
 flasheo en, 154, 155, 157, 158
 flujo en, 159
 selección de, 133, 134
 tubería de, 201-204, 207

VALVULAS DE CONTROL ANGULARES, 134, 156
VALVULAS DE CONTROL CAMFLEX, 134, 156
VALVULAS DE CONTROL DE AUTOARRASTRE, 134
VALVULAS DE CONTROL DE CUERPO PARTIDO, 156
VALVULAS DE CONTROL DE TRES VIAS, 134
VALVULAS DE CORREDERA, 127, 129, 131
VALVULAS DE DESVIO, 205, 206
VALVULAS DE DIAFRAGMA, 116, 117, 127-129, 131, 132
VALVULAS DE DISCO, 129
VALVULAS DE GLOBO, 99, 115, 118, 119, 124, 129, 131, 132, 224, 229, 234, 240, 248, 252, 253
 con WHISPER I, 134
 de control, 134, 156
VALVULAS DE MACHO, 99, 114, 124, 127, 129, 131, 224
VALVULAS DE MAMPARAS, 132
VALVULAS DE MARIPOSA, 115, 116, 121, 124, 127-129, 131
 de control, 134, 156, 165
VALVULAS DE MUESTREO, 129
VALVULAS DE PLACA, 132
VALVULAS DE REDUCCION DE PRESION, 128, 129
VALVULAS DE RELEVO, 63, 127-129
VALVULAS DE RETENCION (CHECK), 99, 117, 123, 124, 127-129, 131, 224, 240, 248
VALVULAS DE SEGURIDAD, 128
VALVULAS DE TURBINA, 127, 128
VALVULAS OBLICUAS "Y", 115, 129, 131
VALVULAS PINCH, 127-129, 131
VALVULAS PRE-SOBRECALENTADAS, 128
VALVULAS SOLENOIDES, 113
VELOCIDADES, 60, 61, 69, 70, 79, 272, 277, 323
 en válvulas de mariposa, 165
 para gases, 63, 64, 67, 68, 71-75, 78, 80, 81, 258
 para líquidos, 62, 64, 67, 68, 71, 72, 75, 78, 83-85, 87, 190, 194-200
 para suspensiones, 128, 254, 255
VENTURIS, 24, 139, 141, 142, 144, 145, 179-182, 183, 236-241, 249