



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**EVALUACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE LA PLANTA DE GASES
ESPECIALES AGA GAS, C.A. CON LA FINALIDAD DE
AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD**

Autor:
Alexis Villamarín

Valencia; noviembre de 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**EVALUACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE LA PLANTA DE GASES
ESPECIALES AGA GAS, C.A. CON LA FINALIDAD DE
AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO QUÍMICO

Tutor académico:
Ing. Jesús Camacho

Alexis Villamarín

Tutor Industrial:
Ing. Jhessica Rodríguez

Valencia; noviembre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE LA PLANTA DE GASES ESPECIALES AGA GAS, C.A. CON LA FINALIDAD DE AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD”**, realizado por el bachiller Alexis J. Villamarín O. C.I. 17.251.093, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo sin hacernos responsables de la totalidad de su contenido, sin embargo lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof.: Jesús Camacho

Presidente

Prof. (a): Zulay Niño

Jurado

Prof. (a): Carmen de Flores

Jurado

Valencia; noviembre de 2008

DEDICATORIA

Trabajo especial de grado dedicado con la más alta devoción a mi mejor amigo

y buen Dios Jesucristo.

...en segundo lugar a:

Mi amada madre, mi amado tío José,

y a el resto de mi bella familia.

ALEXIS VILLAMARÍN

AGRADECIMIENTOS

Eternamente agradecido por la bondad y gran misericordia de mi buen Señor Jesucristo al permitirme obtener este logro; seguro que uno de los muchos que tiene reservados para mí, y que con la más sincera humildad espero alcanzar.

A mi hermosa y amada madre quien con esfuerzo y bellísima dedicación ha sido el más valioso e importante apoyo a lo largo de mi vida y carrera.

A mi amado tío José quien contribuyó con el logro de esta meta a través de la ayuda dada.

A toda mi familia: Abuela, tíos, hermanos y primos; todos, de forma directa o indirecta sirvieron de apoyo para poder alcanzar esta meta.

A la Ing. Jhessica Rodríguez Jefe de producción de Gases Especiales por el excelente trato dado y la amplia tutoría brindada durante el desarrollo del trabajo especial de grado en AGA GAS, C.A.

Al profesor Jesús Camacho, por la asesoría dada en medio del desarrollo de este trabajo especial de grado.

Gracias a todos mis hermanos en Cristo quienes con sus oraciones lograron que en medio del ajetreado día a día universitario tomara nuevas fuerzas para continuar hasta alcanzar el final de la carrera. Oración respondida!!!

SUMARIO

La finalidad principal de esta investigación estuvo orientada a la evaluación de propuestas de mejoras en el proceso de la planta de gases especiales AGA GAS, C.A. con el objeto de aumentar la productividad de esta, manteniendo en todo momento la generación de productos de alta calidad. El alcance de este trabajo especial de grado se limitó al planteamiento de propuestas de mejora, llegando a plasmar el beneficio económico que la misma obtendría a lo largo de un año de implementar los cambios sugeridos.

Entre las variables manejadas durante el desarrollo de la investigación se tiene: El número de purgas realizadas como procedimiento de eliminación de impurezas en los cilindros, paso previo a la operación de llenado; además de la exclusión de llenado de productos no pertenecientes a la planta de gases especiales y el análisis de la operatividad de la estación de llenado de helio líquido. Al eliminar de planta el llenado de mezclas que no pertenecen a productos de gases especiales, fue necesaria la extensión de tuberías en la planta de gases industriales a partir de líneas principales como las de N_2 y CO_2 , empleando la ecuación de espesor mínimo requerido. En el caso de la verificación de la operatividad de la estación de helio fue necesaria la determinación de la caída de presión en un tramo de tubería, empleando: Balances de energía, la ecuación de Colebrook, el número de Reynolds, entre otras.

El sitio donde se llevó a cabo la investigación fueron las instalaciones de AGA GAS, C.A. San Vicente específicamente la planta de gases especiales y la planta de gases industriales, de donde se extrajo la información de proceso necesaria. En la planta de gases especiales, el panel 941 sirvió de apoyo para tener una referencia de tiempo invertido en la obtención de productos.

Para el desarrollo satisfactorio de la investigación se procedió inicialmente a la definición de la duración de cada etapa llevada a cabo en la planta de gases especiales, delimitando luego, aquellas en las que se pudiesen plantear propuestas de mejoras. Una vez identificadas las etapas, se procede a tomar la información de las

características del sistema en funcionamiento y a partir de ello se establecen cambios tentativos. Para el caso de número de purgas se procedió a recabar información del histórico de los análisis de producto para el año 2007, mientras que para el establecimiento de tuberías se consultó con el personal de la planta de G.I, se realizó visitas a planta y se revisaron los DTI existentes. Para la determinación de la caída de presión en la estación de helio líquido se tomó información de la longitud total de tuberías y accesorios presentes por cada diámetro existente.

De todas las propuestas presentadas aquellas que desde el punto de vista técnico y económico presentaron mayores beneficios fueron: alternativa A para el cambio en el número de purgas y la alternativa A para exclusión de llenado de productos no pertenecientes a planta (extensión de tuberías); definiendo para el número de purgas el siguiente esquema: Para el argón espectrometría 3 purgas, oxígeno UAP 2 y para el argón y nitrógeno AP 1, manteniendo 3 purgas para el nitrógeno y argón UAP y para en el establecimiento de tuberías un espesor de pared de 0,065" para la tubería 3/8" sometida a presiones de 1000 psig y 0,083 para la tubería de 3/8" sometida a presiones de 2900 psig y para la de 1/2". Para mejorar el tiempo de operación y la calidad del producto final en la estación de helio líquido se plantea el cambio de las tuberías de 1/2" a 1" en la sección estudiada y el cambio de las válvulas de globo en la línea de 1/2" por válvulas de bola.

Entre las conclusiones más destacadas se tiene: La productividad de cada llenado de 24 cilindros se ve aumentada en un $(5,3 \pm 0,4)\%$ por cada purga eliminada. La capacidad productiva a liberar en la planta de gases especiales una vez trasladado el llenado de las mezclas Mapax a la planta de gases industriales es de 7,6% y la caída de presión en el tramo de línea estudiado en la estación de helio líquido es de $(4,199 \pm 0,003)$ psi.

Una de las recomendaciones más importantes es: Experimentar con un banco de tuberías de distintos diámetros y longitudes para observar el comportamiento de las velocidades y caudales en los flujos de oxígeno, nitrógeno, argón y dióxido de carbono para disponer de formulas ajustadas a las condiciones generalmente manejadas en la empresa, verificando eficacia previo instalación de sistemas de tuberías.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
I.1 Descripción del problema.....	3
I.2 Formulación del problema.....	7
I.2.1 Situación actual.....	8
I.2.2 Situación deseada.....	8
I.3 Objetivos.....	9
I.3.1 Objetivo general.....	9
I.3.2 Objetivos específicos.....	9
I.4 Justificación.....	10
I.5 Limitaciones.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	11
II.1 Antecedentes.....	11
II.2 Fundamentos teóricos.....	14
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	35
III.1 Tipo de Investigación.....	35
III.2 Operacionalización de los objetivos.....	35
III.2.1 Identificación de los pasos que conforman el proceso productivo de la planta, con sus respectivos tiempos de duración.....	35
III.2.2 Definición de las variables a manejar en puntos del proceso identificados como críticos, a distintas condiciones de operación o diseño..	38
III.2.3 Establecimiento de propuestas de mejoras en el proceso de la planta	44

Contenido	Pág.
III.2.4 Selección de la propuesta que genere mayor cantidad de beneficios por etapa estudiada.....	48
III.2.5 Evaluación costo-beneficio de las propuestas técnicas de cambio seleccionadas.....	49
CAPÍTULO IV: PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	51
IV.1 Identificación de los pasos que conforman el proceso productivo de la planta, con sus respectivos tiempos de duración.....	51
IV.2 Definición de las variables a manejar en puntos del proceso identificados como críticos, a distintas condiciones de operación o diseño.....	52
IV.3 Establecimiento de propuestas de mejoras en el proceso de la planta.....	72
IV.4 Selección de la propuesta que genere mayor cantidad de beneficios por etapa estudiada.....	86
IV.5 Evaluación costo-beneficio de las propuestas técnicas de cambio seleccionadas.....	89
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
LISTA DE SÍMBOLOS.....	101
APÉNDICE A: Cálculos típicos.....	103
APÉNDICE B: Tablas y figuras bibliográficas.....	108
APÉNDICE C: Tablas y figuras de datos.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 2.1: Número de purgas en función de la calidad de producto a obtener.....	27
Tabla 2.2: Características de las mezclas Mapax [®]	27
Tabla 3.1: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	37
Tabla 3.2: Matriz de selección de propuestas técnicas.....	49
Tabla 4.1: Tiempos medios del proceso de la planta de G.E., 1 araña.....	52
Tabla 4.2: Tiempos medios del proceso de la planta de G.E., 2 arañas.....	52
Tabla 4.3: Producto perdido por purga.....	59
Tabla 4.4: Porcentaje de producto perdido en función de la calidad obtenida.....	59
Tabla 4.5: Condiciones de operación de las líneas principales para el llenado de las mezclas Mapax [®] en G.I.....	60
Tabla 4.6: Características del sistema de tuberías a instalar en G.I. para el llenado de mezclas Mapax [®]	65
Tabla 4.7: Características corregidas del sistema de tuberías a instalar en G.I. para el llenado de mezclas Mapax [®]	65
Tabla 4.8: Capacidad productiva anual a liberar.....	70
Tabla 4.9: Longitud total de tuberías según diámetro de presentación.....	71
Tabla 4.10: Longitud equivalentes de accesorios presentes en el sistema.....	71
Tabla 4.11: Caídas de presión en las tuberías de la estación de helio líquido.....	72
Tabla 4.12: Características de las tuberías, alternativa A.....	75
Tabla 4.13: Características de las válvulas de retención, alternativa A.....	77
Tabla 4.14: Características de las válvulas de globo, alternativa A.....	78
Tabla 4.15: Características de la tuberías, alternativa B.....	79
Tabla 4.16: Características de las válvulas de diafragma, alternativa B.....	81
Tabla 4.17: Características de las tuberías a instalar para la mejor operatividad de la estación de helio líquido.....	84

Contenido	Pág.
Tabla 4.18: Características de las válvulas a instalar para la mejor operatividad de la estación de helio líquido.....	85
Tabla 4.19: Matriz de selección de alternativas para cambio en el número de purgas.....	87
Tabla 4.20: Matriz de selección de alternativas para exclusión de llenado de productos que no pertenecen a planta de G.E. (extensión de tuberías en G.I.).....	88
Tabla 5.1: Costos asociados a cambios en el numero de purgas.....	89
Tabla 5.2: Costos asociados a la extensión de tuberías en G.I.....	90
Tabla 5.3: Costos asociados a cambios en la estación de helio líquido.....	91
Tabla 5.4: Ahorro obtenido por el cambio introducido en el número de purgas.....	92
Tabla B.1: Valores de coeficiente “Y” para espesores de pared menor es a D/6..	108
Tabla B.2: Rangos de tolerancia por corrosión para tuberías de acero.....	109
Tabla B.3: Propiedades de las tuberías de acero.....	110
Tabla B.4: Esfuerzos permisibles en tensión para materiales.....	111
Tabla B.5: Valores de coeficiente de resistencia o longitud equivalente para varios accesorios.....	112
Tabla B.6: Longitud equivalente de válvulas y accesorios para varios diámetros.	113
Tabla B.7: Compatibilidad de materiales.....	114
Tabla C.1: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	117
Tabla C.2: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	118
Tabla C.3: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	119
Tabla C.4: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	120

Contenido	Pág.
Tabla C.5: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	121
Tabla C.6: Tiempos empleados para el desarrollo de las etapas del proceso de la planta de gases especiales (producto, argón espectrometría).....	122
Tabla C.7: Resultados analíticos de producto aprobado como N ₂ UAP, 2007.....	123
Tabla C.8: Resultados analíticos de producto aprobado como N ₂ AP, 2007.....	130
Tabla C.9: Resultados analíticos de producto aprobado como Ar ESP, 2007.....	138
Tabla C.10: Resultados analíticos de producto aprobado como Ar UAP, 2007....	146
Tabla C.11: Resultados analíticos de producto aprobado como Ar AP, 2007.....	153
Tabla C.12: Resultados analíticos de producto aprobado como O ₂ UAP, 2007...	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1.1: Proceso de llenado de gases puros y mezclas de línea.....	6
Figura 1.2: Proceso de llenado de mezclas certificadas.....	7
Figura 2.1: Perfil de velocidades en tubos.....	16
Figura 2.2: Capa límite a lo largo de una placa plana y lisa.....	17
Figura 2.3: Estructura de un Dewar.....	19
Figura 2.4: Válvula de compuerta.....	29
Figura 2.5: Válvula de globo.....	30
Figura 2.6: Válvula de diafragma.....	32
Figura 2.7: Válvula de retención.....	33
Figura 3.1: Volumen de control correspondiente a la definición de líneas de dióxido de carbono a una presión de operación para el llenado de mezclas Mapax [®] en G.I.....	42
Figura 3.2: Volumen de control correspondiente a la definición de líneas de nitrógeno a una presión de operación para el llenado de mezclas Mapax [®] en G.I.....	43
Figura 3.3: Línea de helio sobre la cual se evalúa la caída de presión para definición de operatividad.....	45
Figura 3.4: Secuencia de pasos seguidos para la el cálculo de la caída de presión en la estación de helio líquido.....	46
Figura 4.1: Medias correspondientes a los valores de oxígeno presente como impureza en el argón, producto aprobado bajo las distintas calidades para el año 2007.....	55
Figura 4.2: Medias correspondientes a los valores de nitrógeno presente como impureza en el argón, producto aprobado bajo las distintas calidades para el año 2007.....	56

Contenido	Pág.
Figura 4.3: Medias correspondientes a los valores de oxígeno presente como impureza en el nitrógeno, producto aprobado bajo las distintas calidades para el año 2007.....	57
Figura 4.4: Media correspondiente a los valores de nitrógeno presente como impureza en el oxígeno, producto aprobado bajo la calidad de O ₂ UAP para el año 2007.....	58
Figura 4.5: Distribución actual de tuberías y arañas de la sección de interés de la estación de G.I.....	61
Figura 4.6: Vista panorámica de la estación de llenado de G.I.....	62
Figura 4.7: Puntos de conexiones desde donde se extenderán las líneas para las arañas 11 y 12 de G.I.....	62
Figura 4.8: Ruta de tuberías a extender entre punto de partida y llegada.....	63
Figura 4.9: Punto de llegada de líneas a instalar, arañas 11 y 12.....	63
Figura 4.10: Distribución resultante de tuberías y arañas de la sección de interés de la estación de llenado de G.I.....	64
Figura 4.11: Producción de la mezcla de línea Mapax® 7030 correspondiente al año 2007.....	66
Figura 4.12: Producción de la mezcla de línea Mapax® 0030 correspondiente al año 2007.....	67
Figura 4.13: Producción de la mezcla de línea Mapax® 0050 correspondiente al año 2007.....	68
Figura 4.14: Producción de la mezcla de línea Mapax® 0080 correspondiente al año 2007.....	69
Figura 4.15: Diagrama de tuberías e instrumentación; alternativa A, líneas de N ₂ y CO ₂ hacia arañas 11 y 12 de G.I.....	76
Figura 4.16: Diagrama de tuberías e instrumentación; alternativa B, líneas de N ₂ y CO ₂ hacia arañas 11 y 12 de G.I.....	80

Contenido	Pág.
FIGURA B.1: Diagrama de Moody para la determinación del factor de fricción...	115
FIGURA B.2: Aspereza relativa como una función del diámetro para tuberías de varios materiales.....	116

INTRODUCCIÓN

AGA GAS, C.A. es una empresa transnacional que se encarga de la producción, llenado y comercialización de gases industriales, medicinales y especiales, así como del desarrollo de tecnologías relacionadas con sus aplicaciones. Esta compañía, en Venezuela, sufrió una ampliación al fusionarse con la empresa BOC Gases, aumentándose la producción local de gases especiales en San Vicente por ser esta la sede escogida para la continuidad de operaciones unificadas; razón por la cual las instalaciones de esta planta deben ser adecuadas para la satisfacción de la futura demanda de productos bajo los estándares de calidad exigidos.

En este trabajo de investigación se identifican los pasos del proceso productivo de la planta de gases especiales, con sus respectivos tiempos de duración, definiendo las variables a manejar en los puntos del proceso identificados como críticos respecto del tiempo y estableciendo posteriormente propuestas técnicas de mejoras en el mismo. De igual forma se realiza una selección entre las propuestas presentadas en función de los beneficios generados y se concluye con una jerarquización de aplicación de las propuestas seleccionadas por etapa estudiada en función del costo-beneficio que estas representen.

Fundamentalmente la investigación queda orientada, una vez definidas las etapas sobre las cuales se trabajará, al establecimiento de líneas de llenado de CO₂ y N₂ para el envasado de mezclas Mapax[®], el análisis del proceso de purga de los cilindros y la determinación de la operatividad de la estación de helio líquido.

Para el logro de los objetivos de la investigación fue necesario conocer los tiempos de duración de cada etapa en la planta de gases especiales. Luego por comparación y en función de la orientación de este trabajo de investigación se establece las secciones del proceso en las que se plantearán mejoras desde el punto de vista técnico, dichas propuestas surgen en respuesta directa a las variables seleccionadas por el personal técnico calificado de la planta de gases especiales y

gases industriales. En la selección de la propuesta que genere mayores beneficios desde el punto de vista técnico se emplea una matriz de selección basándose en criterios de seguridad y calidad establecidos por la empresa. Finalmente para la jerarquización según orden de aplicación respecto del tiempo se emplea la herramienta metodológica costo-beneficio, considerando la inversión inicial realizada y el tiempo de recuperación de dicha inversión.

Este trabajo de investigación esta estructurado en cuatro capítulos. En el capítulo I, se introduce la problemática existente planteándola de la forma más clara posible, en el capítulo II se mencionan las bases teóricas que sirvieron de apoyo, en el capítulo III se desarrolla toda la metodología seguida por objetivo para el logro de los mismos, y finalmente en el capítulo IV se presentan y discuten los resultados. Adjunto a los capítulos se encuentran también las conclusiones, recomendaciones y apéndices.

La presente investigación contribuirá con el buen desempeño productivo de la empresa AGA GAS C.A. al plantear posibilidades de mejoras en puntos críticos del proceso productivo de la planta de gases especiales en vista del incremento en la demanda de producción como resultado de la fusión con BOC GASES. De igual forma este trabajo especial de grado representará a la escuela de Ingeniería química un aporte para el conocimiento del comportamiento de flujo de gases a través de tuberías.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se presenta de forma detallada las condiciones a partir de las cuales se inicia el trabajo de investigación y las condiciones finales que se persiguen con este, al plantear la situación actual, situación deseada, los objetivos perseguidos, la justificación y las limitaciones de dicha investigación.

I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

AGA GAS C.A. es una empresa transnacional que se encarga de la producción, llenado y comercialización de gases, así como del desarrollo de tecnologías relacionadas con sus aplicaciones. Inició sus operaciones en Venezuela en el año de 1948 bajo el nombre de Venezolana de Gases, C.A. (VENAGA), posteriormente cambia su nombre comercial a AGA GAS, C. A.

AGA GAS, C.A. posee la mayor capacidad instalada de producción de gases industriales, medicinales y especiales en el país, siendo ésta de 200 millones de metros cúbicos por año. El complejo productor de gases del aire “Maratón” con sus plantas Maratón I y Maratón II, de tecnología avanzada, ubicado en el sector Puerto Miranda de los Puertos de Altagracia, Estado Zulia, tiene una capacidad tal que puede cubrir las necesidades de gases industriales del mercado nacional.

En el continuo esmero por introducir y desarrollar el más alto nivel tecnológico en el área de gases especiales, AGA GAS, C.A. puso en servicio en febrero de 1993, la planta de gases especiales, ubicada en Maracay, estado Aragua, en la Zona Industrial II de San Vicente, cuya operación está orientada a la producción de gases de alta y ultra alta pureza y mezclas de estos gases, para satisfacer los mercados más exigentes. Esta planta esta conformada por 3 paneles a través de los cuales se llenan los gases puros y mezclas de línea (1 de ellos totalmente automatizado y los 2 restantes de operación manual), 1 panel para el horneado de los cilindros y un panel para el llenado de mezclas certificadas.

Esta Planta ha sido diseñada con alta tecnología, asegurando la pureza de los gases desde el inicio de su proceso hasta el envasado final. Para confirmar la alta calidad de estos gases, se cuenta con un sistema de monitoreo que en forma constante evalúa las especificaciones de pureza en cada tanque de materia prima. Los cilindros son cuidadosamente seleccionados y tratados con la finalidad de que el envase no contamine el producto.

Es relevante la mención del control de calidad que sufre la materia prima, estando ésta representada por el líquido criogénico de argón, nitrógeno y oxígeno que son depositados en los tanques LAR, LIN y LOX de AGA GAS, C.A. San Vicente, respectivamente. Esta materia prima se declara conforme y es aceptada para la entrada al proceso si cumple ciertas condiciones. Estos tanques de materia prima, aprobada por el laboratorio de gases especiales, surten tanto a la planta de gases especiales como a la de gases industriales, siendo la diferencia básica entre las calidades de los gases, aquella originada por los purificadores y filtros adicionales ubicados en la planta de gases especiales.

AGA GAS, C.A. en todos sus procesos posee certificación ISO 9001:2000 adoptando el enfoque necesario (de procesos) al desarrollar, implementar y mejorar la eficacia de su sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos. Para ello AGA GAS, C.A. identifica y gestiona todas las actividades relacionadas entre sí operando de forma eficaz.

Los gases especiales son aquellos que requieren de un tratamiento y condiciones especiales de llenado que garanticen una composición definida con un mínimo de impurezas. Los diferentes tipos de gases especiales ofrecidos al mercado por AGA GAS C.A. son:

- Gas Puro: Es aquel envasado bajo ciertas especificaciones establecidas por la empresa, las cuales dependen del grado de pureza y del tipo de gas.

- Mezclas Certificadas: Son mezclas de gases envasados en un mismo cilindro bajo requerimientos específicos de los clientes.
- Mezclas de Línea: Son combinaciones de gases producidas bajo determinadas especificaciones previamente establecidas por la empresa.

El proceso para el llenado de gases puros y mezclas de línea, ver Figura 1.1, se inicia con la recepción de los cilindros vacíos, junto a los documentos respectivos que contemplan los requerimientos de llenado. Los cilindros vacíos son sometidos a un tratamiento (horneado y purga) y posteriormente son llenados en función de los requerimientos.

El producto envasado es analizado y se determina su condición de aprobación o rechazo, mediante la comparación de los resultados obtenidos en el análisis contra las especificaciones del producto.

Si el producto está aprobado, se certifica, se prepara y entrega, dejando como registro los formatos respectivos con la finalidad de mantener trazabilidad en el mismo. Por último, los cilindros son ubicados en el área de despacho.

En caso de que los resultados de los análisis no se encuentren conformes a las especificaciones, se estudia la posibilidad de reclasificarlo. Si procede la reclasificación el producto se certifica bajo la nueva categoría. De no ser factible la reclasificación se trata el producto como no conforme de acuerdo a los procedimientos de calidad.

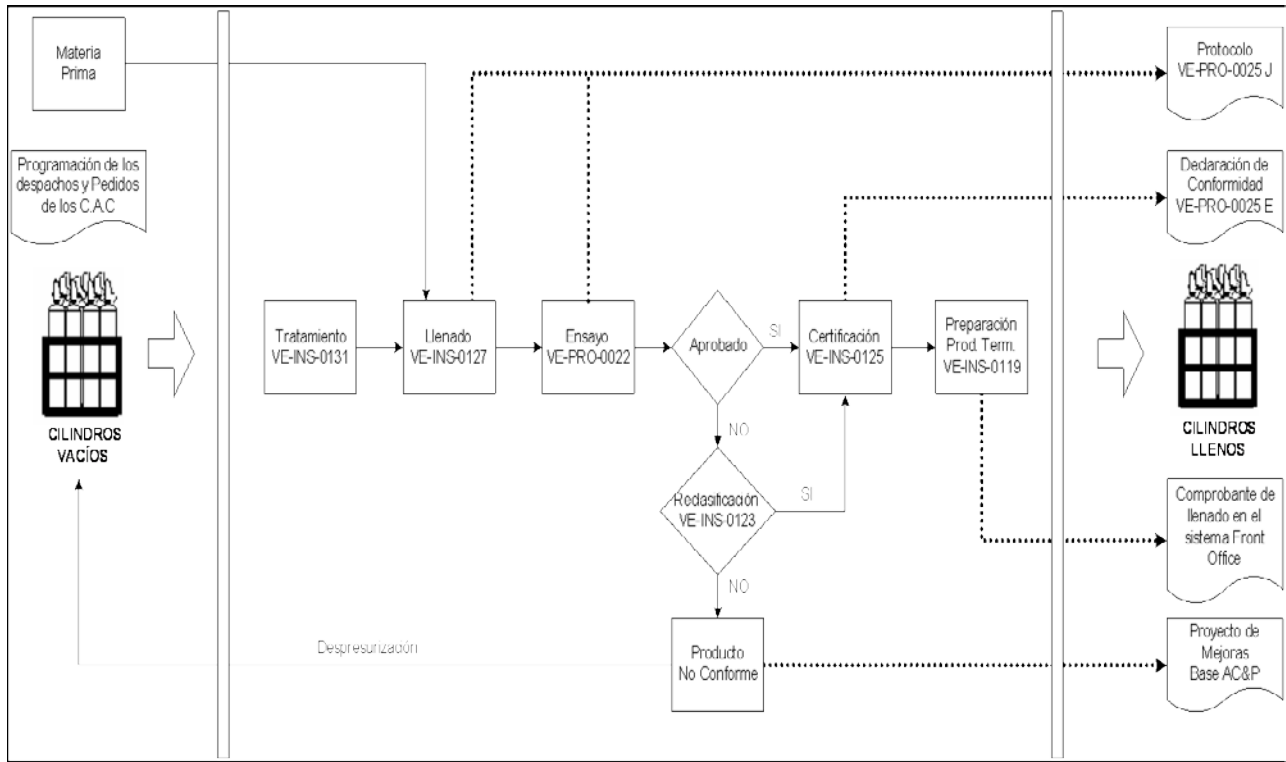


Figura 1.1: Proceso de llenado de gases puros y mezclas de línea (Fuente: AGA GAS C.A.).

El llenado de mezclas certificadas, ver Figura 1.2, se realiza de acuerdo a los requerimientos de los clientes. El cilindro vacío es sometido a un tratamiento y luego se llena en función de la composición requerida.

El producto final se analiza y en caso de cumplir con los requerimientos y tolerancias establecidas, se aprueba y se certifica, dejando como registro los formatos respectivos con la finalidad de mantener trazabilidad en el mismo. Por último, el cilindro es ubicado en el área de despacho.

Si el producto no cumple con las especificaciones requeridas por el cliente es tratado como no conforme de acuerdo a los procedimientos de calidad.

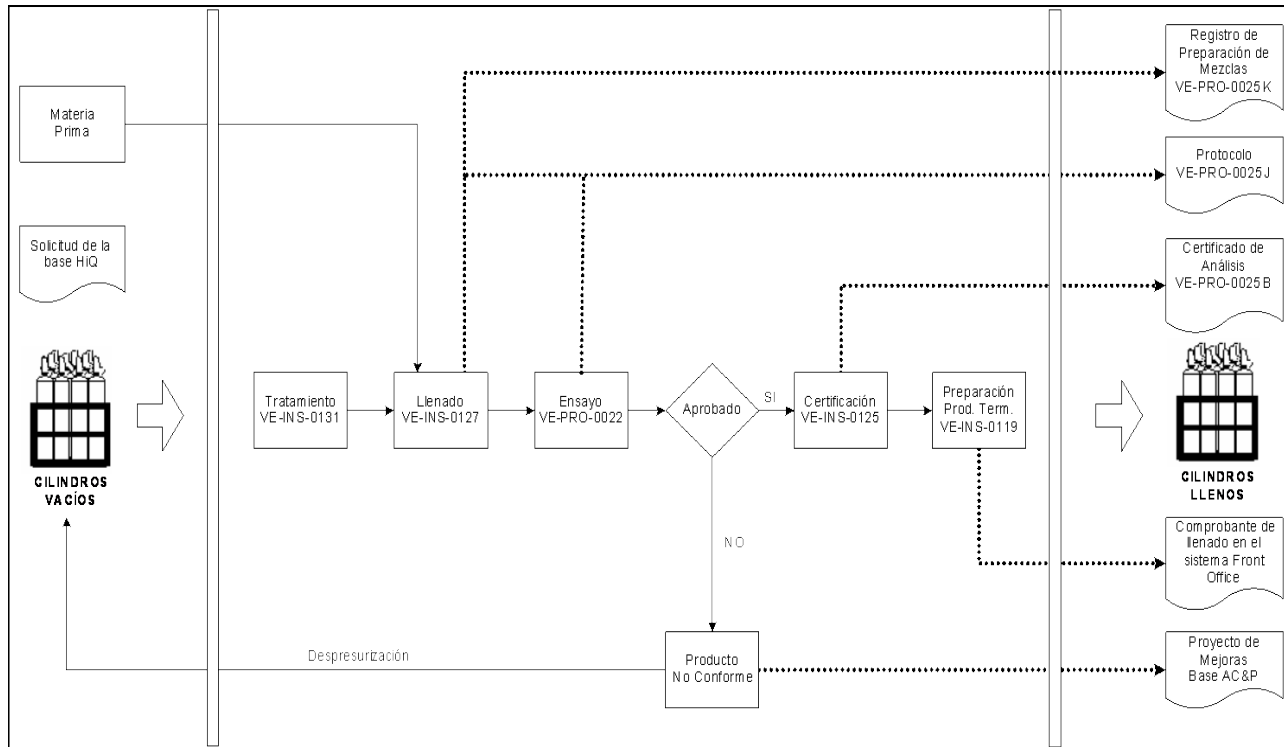


Figura 1.2. Proceso de llenado de mezclas certificadas. (Fuente: AGA GAS C.A.).

Cada paso desarrollado en los procesos de la empresa AGA GAS, C.A., específicamente para el interés de esta investigación la planta de gases especiales, esta regido por un “procedimiento general” e “instructivos” seccionados para el fácil entendimiento de las operaciones a ejecutar en el proceso, los cuales establecen los pasos y parámetros de operación para lograr la satisfacción de los clientes. La empresa AGA GAS, C.A. posee un sistema de producción con alto rendimiento, no obstante y en vista de la futura demanda como resultado de la fusión con BOC GASES, deben ser evaluadas las etapas del proceso con la finalidad de detectar aspectos de mejora que permitan reducir el tiempo de producción velando en todo momento por la calidad requerida del producto.

I.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La planta de gases especiales AGA GAS, C.A. de San Vicente Edo. Aragua abarca un amplio mercado en la venta de gases a nivel nacional, el cual aumentará

resultado de la fusión con la empresa BOC Gases. La consecuencia inmediata de lo anteriormente planteado es el aumento de la producción local de San Vicente en vista de ser esta la sede escogida para la continuidad de operaciones unificadas, razón por la cual las instalaciones de esta planta deben ser adecuadas para la satisfacción de la futura demanda de estos productos bajo los estándares de calidad exigidos. Para ello se plantean una serie de propuestas alternativas de modificaciones a realizarse en la estructura y procedimientos seguidos para así garantizar el establecimiento satisfactorio de los cambios a introducir.

I.2.1. SITUACIÓN ACTUAL

Los procedimientos llevados a cabo en la planta de gases especiales de AGA GAS C.A. han sido estandarizados con la finalidad del total cumplimiento de normas de control de calidad y el desarrollo seguro y eficiente de sus operaciones las cuales tienen alto desempeño en cuanto a la producción en el mercado de gases, sin embargo el tiempo de obtención del producto a lo largo de todas sus etapas presenta elementos a considerar para obtener estos de forma aun más rápida, para lo cual será necesario hacer uso de herramientas tales como: Conocimiento del comportamiento de flujos de fluidos en tuberías, balances de energía en sistemas, entre otras. AGA GAS, C.A. se encuentra en un proceso de fusión con la empresa BOC GASES razón por la cual la demanda de productos en la planta de San Vicente se verá incrementada y diversificada. La no evaluación de mejoras en los procedimientos e instalaciones con fines de implementaciones a corto plazo en el proceso traerá como consecuencia una alteración negativa en el tiempo de respuesta de los pedidos de productos, afectando directamente la satisfacción de los clientes.

I.2.2. SITUACIÓN DESEADA

AGA GAS C.A. debe realizar un estudio acerca de mejoras en las etapas del proceso, que así lo requieran, con la finalidad de mantener sus operaciones en alto

desempeño respecto del tiempo, disminuyendo la cantidad de producto perdido y garantizando la alta calidad de este último bajo el tiempo de entrega establecido.

Adicionalmente y como consecuencia del estudio, todos los procedimientos deben ser revisados con objeto de registrar los cambios y garantizar la operación de planta bajo condiciones específicas, no dando lugar a condiciones subestándares.

I.3. OBJETIVOS

I.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar propuestas de mejoras en el proceso de la planta de gases especiales AGA GAS, C.A. con la finalidad de aumentar la productividad de esta, en virtud de un aumento de la producción local.

I.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.-** Identificar los pasos que conforman el proceso productivo de la planta de gases especiales AGA GAS, C.A. con sus respectivos tiempos de duración, a fin de adquirir conocimiento global de este y definir puntos críticos respecto del tiempo.
- 2.-** Definir las variables a manejar en los puntos del proceso identificados como críticos, a distintas condiciones de operación o diseño con objeto de estimar el tiempo y producto ahorrado por la variable manipulada.
- 3.-** Establecer propuestas de mejoras en el proceso de la planta de gases especiales con la finalidad de aumentar la productividad.
- 4.-** Seleccionar la propuesta que genere mayor cantidad de beneficios por etapa estudiada definiendo aplicabilidad en el proceso productivo de la planta de gases especiales.

- 5.- Evaluar costo-beneficio en las propuestas de cambios seleccionadas, determinando su aplicación a corto plazo.

I.4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación contribuirá con el buen desempeño productivo de la empresa AGA GAS C.A. al plantear posibilidades de mejoras en puntos críticos del proceso productivo de la planta de gases especiales, en vista del incremento en la demanda de producción como resultado de la fusión con BOC GASES.

A través del desarrollo del presente trabajo se reforzará los siguientes conocimientos adquiridos por el autor a lo largo de la carrera: Comportamiento de gases puros y mezclas de los mismos, control de procesos químicos, transferencia de momento, manejo de variables que afectan los procesos productivos, entre otros; de igual forma la experiencia laboral representa un gran beneficio, en medio de la cual se obtendrá una investigación que servirá como fundamento para investigaciones posteriores en la Universidad de Carabobo en materia de gases.

I.5. LIMITACIONES

Una de las limitaciones de esta investigación está representada por la realización de pruebas en planta sin afectar la operación de la misma. De igual forma representará una limitante la poca cantidad de cilindros presentes y/o disponibles para el llenado de los productos a partir de los cuales se plantea, con las modificaciones a evaluar, disminuir la cantidad de producto perdido, y ahorro en el tiempo de preparación de estos.

La puesta en marcha de las alternativas de mejoras que resulten seleccionadas se verán limitadas por la disponibilidad de recursos para su implementación en forma inmediata, de acuerdo a los proyectos generales que se tengan planteados en forma conjunta con la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En esta sección se presenta un resumen de las investigaciones que sirvieron de base para el desarrollo de ciertos aspectos en este trabajo especial de grado; y de igual forma se exponen las bases teóricas que sustentan el desarrollo del mismo.

II.1. ANTECEDENTES

II.1.1 Acuña José (2007). “Estudio técnico económico para la ampliación del área de llenado de la planta de gases especiales de la empresa AGA GAS, C.A.”- Valencia. Universidad Santiago Mariño.

En este informe de pasantías se realizó un estudio técnico económico para la ampliación del área de llenado de la planta de gases especiales con el objetivo de incrementar la capacidad de producción. Se logró determinar con esta investigación que la empresa puede ampliar el área de llenado de la planta de gases especiales en aras de aumentar los niveles de producción.

La contribución que esta investigación ofrece es la determinación de parámetros técnicos inherentes a la ampliación de la sección de llenado de la planta de gases especiales de la empresa AGA GAS, C.A. y el análisis económico necesario para la evaluación de esta alternativa.

La similitud de esta referencia respecto de este trabajo especial de grado, básicamente es el análisis técnico-económico que debe realizarse para poder llegar a conclusiones y/o propuestas de mejoras en la planta de gases especiales; en antítesis a lo anteriormente expuesto la diferencia básica es que las propuestas a generar para este trabajo especial de grado giran en torno a modificaciones en más de un sistema lo cual no ocurre en la investigación de referencia.

II.1.2. Tovar Máximo (2006) “Evaluación del sistema de distribución de gas combustible asociado a las unidades de destilación y reformación catalítica de la refinería el Palito”.- Valencia. Universidad de Carabobo.

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación fue evaluar el estado operacional de la red de distribución principal de gas combustible asociado a las unidades de destilación y reformación catalítica de la refinería el Palito. Este sistema se evaluó mediante la aplicación del software de simulación de redes complejas de distribución de fluidos denominado PIPEPHASE, para lo cual fue necesario el ruteo y levantamiento en campo de la red.

Esta investigación brinda referencia en las ecuaciones principales que emplea para los análisis hidráulicos en las líneas bajo estudio, empleándose luego para el cálculo de la caída de presión en la estación de helio. La diferencia básica de las dos investigaciones radica, desde el punto de vista conceptual, en la asunción de fluido incompresible para el gas bajo estudio en este trabajo especial de grado.

II.1.3. Rodríguez Jhessica (2003) “Evaluación y planteamiento de mejoras del panel 921 y del proceso de tratamiento de cilindros desarrollado en el horno de la planta de gases especiales de la empresa AGA miembro del grupo Linde Gas”.- Caracas. Universidad Central de Venezuela.

Este trabajo de pasantías comprendió la evaluación del estado bajo el cual operaba el sistema de tratamiento ejecutado en el horno de la planta de gases especiales y de los dispositivos que conforman el panel 921 el cual controla el proceso mencionado, obteniéndose como resultado información de distintos tratamientos realizados, inspección visual externa y prueba de fugas a los dispositivos lo cual permitió evidenciar las condiciones reales en las cuales se desarrolla la operación.

Esta investigación ofrecerá apoyo en el registro del tiempo de ejecución de la etapa de tratamiento de los cilindros, específicamente en el horneado de los mismos, y suministrar referencias de las condiciones operativas de esta acción de planta.

La diferencia básica responde a la estrategia de investigación utilizada siendo para este trabajo especial de grado del tipo documental-campo y para la referencia totalmente del tipo experimental.

II.1.4. Fracachan Edrwin y García Misael (2002). “Simulación de los sistemas de transmisión y distribución de gas natural”.- Valencia. Universidad de Carabobo.

En esta investigación se estudia las redes de tuberías que originan un complejo sistema de distribución; es decir se analiza el flujo en las mismas a través un programa desarrollado que utiliza el método de Newton-Rapson facilitando simular y diseñar sistema de transmisión y distribución de gas natural. Dicho programa se desarrolló utilizando los lenguajes de programación visual fortran para los módulos de cálculo y visual basic 6.0 para la interfaz usuario-programa. Los resultados que el programa arroja no sobrepasan el 10% de desviación en el cálculo de caudales y de 5% en el cálculo de presiones.

Este trabajo especial de grado servirá de apoyo para la documentación acerca de las fórmulas generales de flujo de fluidos.

La diferencia entre las dos investigaciones es que para la primera (referencia), se maneja información de flujo de fluidos con fines de manipular gas natural (desde el punto de vista de simulación), mientras que para la segunda es con fines de manejar He desde el punto de vista de diseño de instalaciones físicas.

II.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

II.2.1. Conceptos básicos

- Ecuaciones de estado

Una ecuación de estado es aquella que relaciona la presión, el volumen molar o específico y la temperatura para cualquier fluido homogéneo puro en estados de equilibrio.

$$f(P, V, T) = 0 \quad (\text{II.1}) \quad (\text{Van Ness, 1997})$$

La ecuación de estado más simple es la de un gas ideal,

$$Pv = RT \quad (\text{II.2}) \quad (\text{Van Ness, 1997})$$

Cuando la distancia media entre las moléculas de una sustancia es lo bastante grande como para ignorar los efectos de las fuerzas intermoleculares y el volumen de las moléculas mismas, un gas se puede considerar como gas ideal (Himmeblau, 1998).

La relación tiene una validez aproximada para los gases a bajas presiones y altas temperaturas. La ecuación de estado puede resolverse para cualquiera de las tres cantidades, P , V o T , como una función de las otras dos.

Cuando, debido a las características del sistema, un gas se aleja de la idealidad se emplea el factor de compresibilidad Z para ajustar la ecuación (II.2), ya que este representa la desviación respecto de la condición de gas ideal, resultando:

$$P \times v = Z \times R \times T \quad (\text{II.3}) \quad (\text{Van Ness, 1997})$$

- **Viscosidad**, es la resistencia que presenta un fluido al movimiento provocado por una fuerza cortante, es su fricción interna. Esta resistencia se debe a dos fenómenos: La cohesión de las moléculas y la transferencia molecular de una capa a otra, lo que establece un esfuerzo tangencial o cortante. En los líquidos, predomina la cohesión, y como ésta disminuye al aumentar la temperatura, del mismo modo disminuye la viscosidad de los líquidos. En los gases, la cohesión es relativamente débil; como consecuencia, la mayor actividad molecular que se produce al aumentar la temperatura provoca un incremento en la transferencia molecular, con un aumento consecuente en la viscosidad.

- **Número de Reynolds**, después de considerar la conversión de:

$$R = \frac{\rho D \bar{v}}{\mu} \quad (II.4) \quad (\text{Marks, 1995})$$

a una relación cinemática, observando que por definición $\bar{v} = \mu/\rho$, se tiene:

$$R = \frac{D \bar{v}}{\bar{v}} \quad (II.5) \quad (\text{Marks, 1995})$$

la cual es una relación de la velocidad del fluido $\bar{v}$ y la velocidad de la fuerza cortante $\bar{v}/D$. Por esta razón, se utiliza este número para caracterizar el perfil de velocidades.

- **Flujo en tuberías (Marks). Parámetros del flujo en tuberías**, las fuerzas que actúan sobre un fluido que fluye por un tubo horizontal completamente lleno son las de inercia, viscosas, de presión y elásticas. Si la aspereza de la superficie es “ ϵ ”, el análisis de similitud o dimensional conduce a $C_p = f\left(R, M, \frac{L}{D}, \frac{\epsilon}{D}\right)$ lo que puede escribirse, para el flujo incompresible, con $\Delta p = C_p \bar{v}^2/2 = K \rho \bar{v}^2$, en donde K es el coeficiente de resistencia y ϵ/D la aspereza relativa de la superficie del tubo, y el coeficiente de resistencia $K = f(R, L/D, \epsilon/D)$. La pérdida de presión puede convertirse para

expresarse en términos de carga perdida: $h_f = \Delta p / \gamma = K \bar{v}^2 / 2g$. El uso normal es el de emplear el factor de fricción f , definido como $f = KD/L$, o bien, $h_f = K \bar{v}^2 / 2g = (fL/D) \bar{v}^2 / 2g$, en donde $f = f(R, \varepsilon/D)$. Cuando un fluido fluye en un tubo, la capa límite se inicia a la entrada como se observa en la Figura 2.1, y crece en forma continua hasta que llena el tubo.

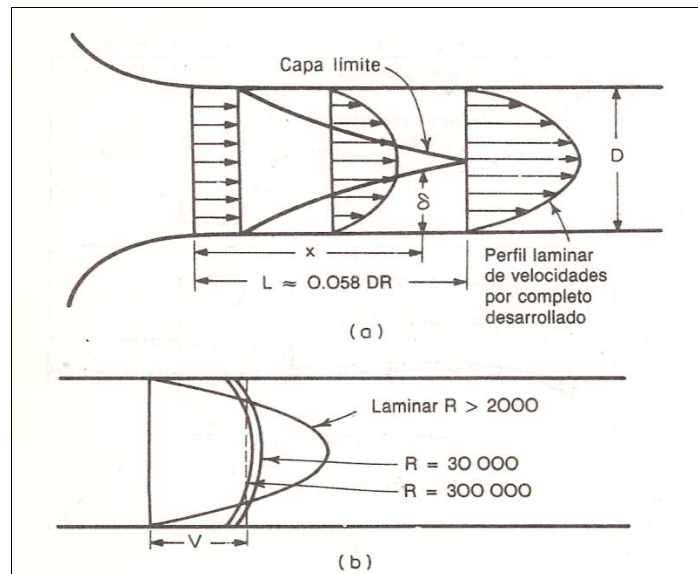


Figura 2.1: Perfil de velocidades en tubos.

(Fuente: Marks, 1995)

- **Flujo laminar**, En este tipo de flujo, la resistencia se debe solo a fuerzas viscosas, de modo que es independiente de la aspereza de la superficie del tubo, o sea $\tau_0 = \mu \, dU/dy$. Si se aplica esta ecuación a la del movimiento y al factor de fricción, da $f = 64/R$. Los experimentos indican que es posible mantener flujo laminar hasta números de Reynolds muy altos, si se tiene cuidado de incrementar gradualmente el flujo, pero lo normal es que la más ligera perturbación destruya la capa límite laminar, si el valor del número de Reynolds es mayor que 4000. De manera semejante, puede mantenerse un flujo inicialmente turbulento, si se tiene cuidado, hasta números de Reynolds muy bajos pero la perturbación mas ligera dará por resultado un flujo laminar, si el número de Reynolds es menor que 2000. Los valores del número de Reynolds

entre 2000 y 4000 se llama zona crítica; el flujo en esta zona es inestable y los diseñadores de tuberías deben tener esto en cuenta.

- **Flujo turbulento**, El factor de fricción para un número de Reynolds por encima de 4000 se calcula a partir de la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (\text{II.6}) \quad (\text{Marks, 1995})$$

En la Figura B.1 del apéndice B se tiene una representación gráfica de esta ecuación (Moody, Trans. ASME, 1944). Un examen de la ecuación de Colebrook indica que si el valor de la aspereza ε de la superficie es pequeño, en comparación con el diámetro del tubo ($\varepsilon/D \rightarrow 0$), el factor de fricción sólo es función del número de Reynolds. Un tubo liso es aquel en el que la relación $(\varepsilon/D)/3.7$ es pequeña, en comparación con $2.51/R\sqrt{f}$. Por otra parte, conforme el número de Reynolds crece, de modo que $2.51/R\sqrt{f} \rightarrow 0$, el factor se convierte en función sólo de la aspereza relativa y se dice que el tubo es un tubo áspero. Por tanto el mismo tubo puede ser liso en una condición de flujo y áspero en otra. La razón para que suceda esto es que, a medida que crece el número de Reynolds disminuye el espesor de la subcapa laminar (ver Figura 2.2):

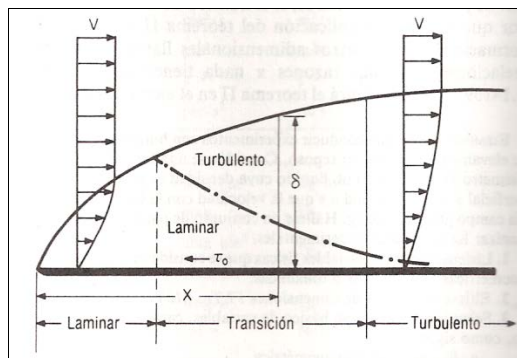


Figura 2.2: Capa límite a lo largo de una placa plana y lisa.

(Fuente: Marks, 1995)

Lo que expone la aspereza del tubo al flujo. El cambio del factor de fricción con el tiempo depende de las propiedades químicas del fluido y del material de la tubería.

- **Difusión (Mc Cabe, 1991)**, es el movimiento, bajo la influencia de un estímulo físico, de un componente individual a través de una mezcla. La causa más frecuente de la difusión es un gradiente de concentración del componente que difunde. Un gradiente de concentración tiende a mover el componente en una dirección tal que iguale las concentraciones y anule el gradiente. Cuando el gradiente se mantiene mediante el suministro continuo de los componentes de baja y alta concentración, el flujo del componente que se difunde es continuo. Este movimiento es aprovechado en las operaciones de transferencia de materia. Por ejemplo, un cristal de sal en contacto con una corriente de agua o de una disolución diluida, genera un gradiente de concentración en las proximidades de la interfase, difundiéndose la sal a través de las capas de líquido en la dirección perpendicular a la interfase. El flujo de sal hacia fuera de la interfase continúa hasta que el cristal se disuelve. Cuando la sal está íntimamente mezclada con un sólido insoluble, el proceso es un ejemplo de lixiviación.

Aunque la causa habitual de la difusión es un gradiente de concentración, la difusión también puede ser originada por un gradiente de presión, por un gradiente de temperatura o por la aplicación de una fuerza externa como en el caso de una centrífuga. La difusión molecular inducida por un gradiente de presión (no presión parcial) recibe el nombre de **difusión de presión**, la inducida por la temperatura es la **difusión térmica**, y la debida a un campo externo es la **difusión forzada**.

- **Dewars**, es un recipiente diseñado para proporcionar aislamiento térmico. Es llamado así por su inventor, el físico escocés James Dewar.

La constitución del dewars es la de un recipiente con una doble capa, entre las cuales se ha generado vacío para prevenir el flujo calorífico por conducción y convección. La superficie más exterior y la superficie más interior se encuentran cubiertas de metal (El propio Dewar usó plata para este propósito) o de alguna otra

sustancia reflectante para evitar la transmisión del calor mediante radiación. Últimamente se utilizan también fibras de vidrio en el interior para dicho fin.

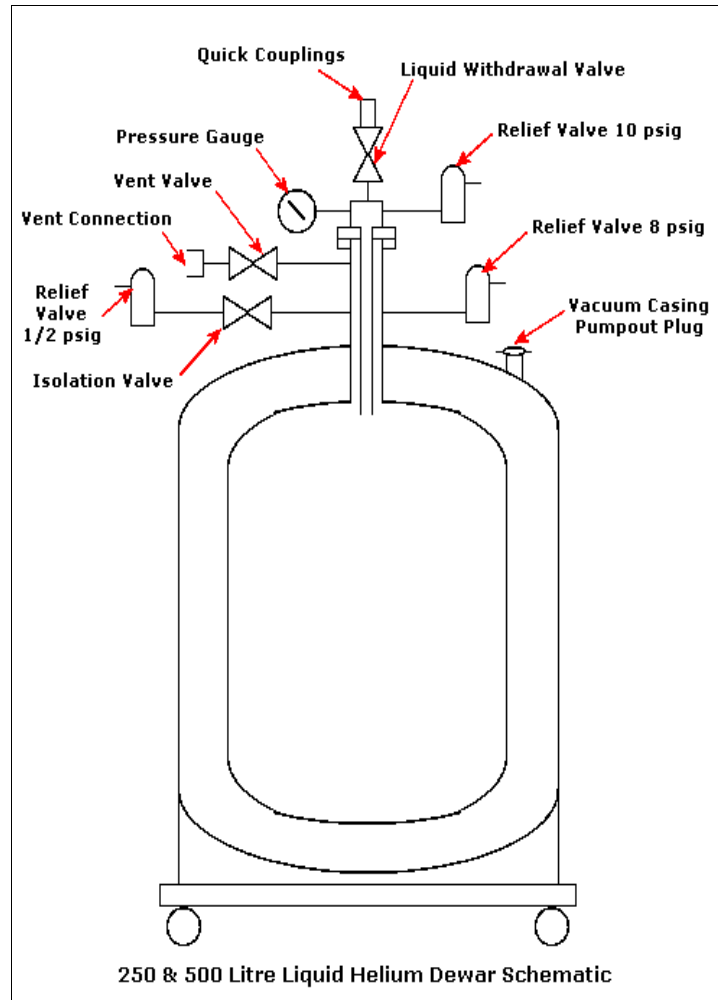


Figura 2.3: Estructura de un Dewar.

(Fuente: BOC Gases, 1992)

- **Caudal**, en una tubería cuya sección transversal es constante y circular queda definido de la siguiente forma:

$$Q = \bar{v} \times \pi \times r^2 = \bar{v} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (II.7) \quad (\text{Propia})$$

II.2.2. Flujo compresible, En la actualidad no se cuenta con soluciones analíticas verdaderas para el cálculo de las características reales de los fluidos compresibles que fluyen en tubos. En el flujo real de un fluido compresible en un tubo la cantidad de calor transferido y su dirección depende de la cantidad de aislamiento, el gradiente de temperaturas del fluido y la del ambiente y el coeficiente de transferencia de calor. Cada condición requiere una aplicación particular de los principios de la termodinámica y de la transferencia de calor para su solución.

La práctica usual en la ingeniería es aplicar uno de los métodos siguientes, para el cálculo del flujo:

1. Se supone flujo adiabático. Éste es aproximado al que se lleva a efecto en tuberías cortas y aisladas.
2. Se supone flujo isotérmico. Éste es aproximado al que se presenta con gases en tuberías largas y no aisladas en las que las temperaturas del fluido y la del ambiente son casi iguales.

II.2.3. Consideraciones sobre las pérdidas de energía por fricción, Como los fluidos reales son viscosos, es inevitable la ocurrencia de pérdidas de energía por fricción en el flujo de los mismos. Estas pérdidas de energía, que se designan por h_L , son, según lo establecido, energía mecánica que se transforma en calor. Si se supone que todo el calor generado por fricción lo absorbe el fluido, se puede escribir:

$$\dot{Q}' = \dot{Q} + h_L \quad (\text{II.8}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Donde $\dot{Q}'$ será el calor total absorbido por el fluido. Por otra parte, lo único que puede hacer cambiar la energía interna de la unidad de masa de fluido circulando entre la entrada y salida de un volumen de control con entrada y salida únicas son los intercambios de calor y de trabajo (expansión-compresión) con el medio. De acuerdo con la primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados esto se puede expresar

$$\Delta u = \dot{Q}' - \int_1^2 \delta w = \dot{Q} + h_L - \int_1^2 P dV \quad (\text{II.9}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Si se nota además que:

$$\Delta \frac{P}{\rho} = (PV) = P_2 V_2 - P_1 V_1 = \int_1^2 d(PV) = \int_1^2 V dP + \int_1^2 P dV \quad (\text{II.10}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Al sustituir las expresiones finales para Δu y $\Delta(P/\rho)$ en:

$$\dot{Q} - W_s = \Delta \frac{\alpha \bar{v}^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} \Delta z + \Delta u + \Delta \frac{P}{\rho} \quad (\text{II.11}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Se puede obtener:

$$\frac{\alpha \bar{v}^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} \Delta z + \int_1^2 V dP + W_s + h_L = 0 \quad (\text{II.12}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Ecuación válida para:

- ✓ Cualquier fluido
- ✓ Proceso en estado estacionario.
- ✓ Para un volumen de control con una entrada y una salida únicas.
- ✓ Δ implica “salida” menos “entrada”.

El término h_L de la ecuación II.12 contabiliza todas las pérdidas de energía que ocurren en el respectivo volumen de control e incluye las pérdidas en tuberías y accesorios (válvulas, codos, etc.), más las pérdidas en los equipos tales como bombas, turbinas, compresores y otros.

La ecuación de Bernoulli generalizada (II.12) para el caso de fluidos incompresibles o en una aproximación para fluidos compresibles donde la caída de presión es pequeña respecto de la presión inicial (menor del 10%), como la densidad es prácticamente constante, adopta la forma:

$$\Delta \frac{\alpha \bar{v}^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} + W_s + h_L = 0 \quad (\text{II.13}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

- **Cálculo de las pérdidas por fricción,** Experimentalmente se ha comprobado que las pérdidas de cabezal en tuberías rectas y cilíndricas, son directamente proporcionales al cabezal de velocidad y a la longitud de la tubería e inversamente proporcionales al diámetro de la tubería. Para el cálculo de dichas pérdidas, Darcy Weisbach y otros propusieron ecuaciones de la forma:

$$h_L = \frac{f_D L \bar{v}^2}{2gD} \quad (\text{II.14}) \quad (\text{Silva, 2003})$$

Donde f_D , el coeficiente de proporcionalidad, es el llamado factor de fricción de Darcy. Esta ecuación, llamada ecuación de Darcy-Weisbach, es la ecuación básica para el cálculo de las pérdidas de cabezal o de energía causadas por la fricción en flujo completamente desarrollado (no por accesorios), en tuberías largas, rectas, de diámetro constante, que corren llenas de fluido en condiciones isotérmicas. Para flujo compresible, la ecuación anterior se aplica solo a una longitud diferencial del conducto dL a través de la cual se considera que la densidad es constante.

II.2.4. Dimensionamiento de tuberías

Tubos y tuberías (Perry, 1992). Se divide en dos clases principales: soldados y sin costura.

Las tuberías sin costura, como designación comercial, son las tuberías hechas mediante el forjado de un sólido redondo, su perforación mediante la rotación simultánea y el paso obligado sobre una punta perforada y su reducción mediante el laminado y el estiramiento. Sin embargo, se producen tubos y tuberías sin costura mediante la extrusión, el colado en moldes estáticos y centrífugos, la forja y la perforación. La tubería sin costura tiene la misma resistencia en kilopascals (lbf/pulg²) a lo largo de toda la pared. Las tuberías sin costuras perforadas tienen con frecuencia la superficie interna excéntrica con relación a la externa, lo que da como resultado un espesor no uniforme de las paredes.

Las tuberías soldadas, se hacen con bandas laminadas conformadas en cilindros y soldadas en las costuras por varios métodos. Se atribuye a las soldaduras del 60 al 100% de la resistencia de las paredes de la tubería, dependiendo de los procedimientos de soldadura e inspección. Se pueden obtener diámetros mayores y razones más bajas de espesores de las paredes respecto al diámetro en las tuberías soldadas que en las tuberías sin costura (aparte de las coladas). Se obtiene un espesor uniforme de las paredes. Las pruebas hidrostáticas no revelan tramos muy cortos de soldadura completadas en forma parcial. Esto presenta la posibilidad de que se puedan desarrollar prematuramente fugas pequeñas cuando se manejan fluidos corrosivos o se exponga la tubería a la corrosión externa. Es preciso tomar en cuenta la soldadura en los procedimientos de desarrollo para el acodamiento, el abocinado y la expansión de las tuberías soldadas. La combinación de espesor adicional, tamaño adicional y espesor de pared se encuentran disponibles para la manufactura de tubos. Las clasificaciones más comunes de tubos son “a presión” y “mecánica”. El espesor de pared (medido) se especifica por la “pared media” o “pared mínima”. La pared mínima es mas costosa que la pared media y, a consecuencia de las tolerancias más estrechas para espesor de

pared y diámetro, la medición para ambos sistemas hace que la tubería a presión sea más costosa.

Diseño de presión de componentes metálicos: Espesor de las paredes para tuberías metálicas rectas con presiones internas (Perry, 1992): La fórmula para el espesor mínimo de pared que se requiere, t_m , es:

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2(S \times E + P \times Y)} + C \quad (\text{II.15}) \quad (\text{Perry, 1997})$$

Dicha ecuación es aplicable para razones de D/t_m mayores de 6. Las ecuaciones más conservadoras de Barlow y Lamé pueden ser también utilizadas. La ecuación (II.15) incluye un factor “Y” que varía con el material y la temperatura para considerar la redistribución de esfuerzos perimetrales que se producen con flujo en estado estacionario a altas temperatura y permite espesores ligeramente menores en este intervalo.

Una vez obtenido el espesor de pared mínimo requerido se puede calcular el diámetro interno de una tubería a través de la siguiente relación:

$$D_{int} = D_{ext} - 2 \times t \quad (\text{II.16}) \quad (\text{Propia, 2008})$$

II.2.5. Gases Especiales (Catálogo de gases y equipos especiales de AGA, 1996)

Gas especial es el nombre genérico de una gran cantidad de gases altamente puros y mezclas en las que el contenido y las impurezas están meticulosamente controlados y especificados. El envasado de estos gases se lleva a cabo en recipientes especialmente elegidos y preparados con diversos tipos de válvulas seleccionadas.

Los gases especiales pueden ser inertes, corrosivos, reactivos, tóxicos, combustibles y pirofóricos. Las concentraciones pueden ser muy bajas, a veces sólo de algunas ppm (partes por millón). Esto representa enormes exigencias al sistema de abastecimiento que distribuye estos gases. Un regulador mal elegido, una válvula o manguera equivocadas pueden destruir rápidamente la calidad de un gas especial de precio elevado durante el transporte desde el cilindro hasta el punto de uso y en consecuencia, producir resultados de mediciones erróneos o simplemente pueden destruir un proceso o producto.

II.2.6. Tratamiento de cilindros.

- **Horneado**, operación realizada para eliminar impurezas previo llenado de cilindros, donde:

1. Colocan los cilindros en la cesta de horneado y conectan los serpentines a las válvulas de los cilindros.
2. Conectan el flexible del horno al acople de la cesta.
3. Abren las válvulas de los cilindros gradualmente, sin superar una presión preestablecida en el traductor de presión y despresurizan a través de las líneas del panel hasta alcanzar la presión atmosférica.
4. Cierran las válvulas de los cilindros.
5. Seleccionan el gas a utilizar.
6. Seleccionan el ciclo de horneado según las características del equipo.
7. Una vez concluido el ciclo de horneado se realizan análisis de humedad, este debe ser inferior a 10 ppm, de lo contrario despresurizan los cilindros y repite el proceso.

- **Purga**, operación realizada para eliminar impurezas previo llenado de cilindros, donde:

1. Conectan los cilindros con sus válvulas cerradas a la araña del panel en el cual se realizará el llenado de los mismos.
2. Seleccionan el gas de purga según normativa.
3. Presurizan el sistema y prueban fuga con solución jabonosa. En caso de detección de fuga, despresurizan el sistema, procediendo a corregir la falla y repitiendo la prueba de fuga; en caso contrario despresurizan las líneas de llenado y se continúa con el proceso.
4. Purgan las líneas:
 - a.- Realizan vacío de las líneas.
 - b.- Presurizan.
 - c.- Despresurizan.Repitiendo esta operación tantas veces como lo requiera el producto.
5. Abren las válvulas de los cilindros y desalojan el gas remanente hasta alcanzar una presión cercana a la atmosférica.
6. Purgan los cilindros:
 - a.- Realizan vacío.
 - b.- Presurizan
 - c.-Despresurizan.Repitiendo esta operación tantas veces como lo requiera el producto.

De acuerdo a la calidad requerida se realiza un número diferente de purgas:

TABLA 2.1
NÚMERO DE PURGAS EN FUNCION DE CALIDAD DE PRODUCTO A OBTENER

Nivel	Pureza	Numero de purgas
Espectrometría	99.9995 (5.5)	4
Ultra alta pureza	99.9990 (5.0)	3
Alta pureza	99.9950 (4.5)	2

II.2.7. Mezclas Mapax.

Las Mezclas MAPAX, consisten en combinaciones generalmente de: dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) en diferentes proporciones. Las mezclas son incoloras, insípidas e inodoras. Para garantizar su calidad son preparadas con Nitrógeno y Oxígeno de alta calidad.

- **Especificaciones:**

TABLA 2.2
CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS MAPAX

CODIGO	PRODUCTO	1er COMP.	GAS BALANCE	CILINDRO	CONT. (m ³)	PRESIÓN DEL PRIMER COMP. (psi)	PRESIÓN FINAL DE LLENADO (psi)
17037	MAPAX 7030	CO_2 30±3%	O_2	040	6.5	600	2350
17019	MAPAX 0030	CO_2 30±3%	N_2	040	6	600	2350
17009	MAPAX 0080	CO_2 80±2%	N_2	040	3	650	850
17015	MAPAX 0050	CO_2 50±2.5%	N_2	040	5	600	1500

- **Algunas aplicaciones:**

- ✓ MAPAX 7030: Empaque de carnes rojas.
- ✓ MAPAX 0030: Empaque de carne de aves, embutidos, carne cocida rebanada, productos lácteos.
- ✓ MAPAX 0080: Empaque de productos lácteos, alimentos secos y horneados.

II.2.8. Válvulas

En los procesos industriales se emplean un gran número de válvulas de tamaños y formas diferentes. Todas tienen un fin principal que es común: Retener o regular el flujo de fluidos. También se usan para bloquear (aislar) equipos o tuberías para el mantenimiento, sin sacar de servicio otras unidades conectadas. Un control preciso de la tasa de flujo se consigue normalmente al precio de una gran caída de presión. Las válvulas se pueden operar manualmente o mediante control automático (Transporte de momento para ingenieros de proceso).

- **Selección de válvulas manuales**, para seleccionar una válvula manual para cualquier servicio particular se debe examinar cada operación que la válvula debe realizar y las condiciones límites bajo las cuales funcionará. Se recomienda para ello, seguir las siguientes consideraciones de proceso:

- ✓ Temperaturas límites de diseño.
- ✓ Presiones límites de diseño.
- ✓ Requerimientos de control.
- ✓ Caída de presión permisible.
- ✓ Naturaleza del fluido/ compatibilidad de los materiales.
- ✓ Posibilidades de erosión.
- ✓ Posibilidades de formación de depósitos.

- ✓ Riesgos de fugas, conservación de calor.

- **Algunos tipos de válvulas:**

✓ **Válvula de compuerta,** La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento (ver Figura 2.4). Trabaja de forma eficiente 100% cerrada o 100% abierta. El diámetro de la abertura a través del cual pasa el fluido es aproximadamente el mismo de la tubería y la dirección de flujo no cambia.

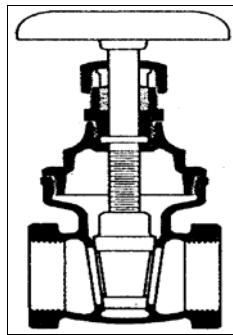


Figura 2.4: Válvula de compuerta.

(Fuente: Instrumentación para medición y control. W. G. Holzbock.)

Recomendada para:

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para resistencia mínima a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Aplicaciones:

Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

✓ **Válvulas de globo**, una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería

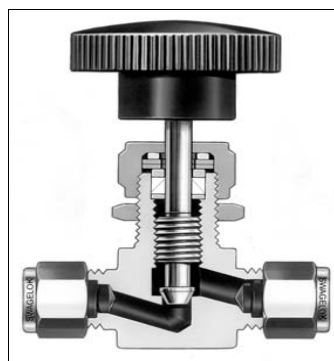


Figura 2.5: Válvula de globo.

(Fuente: Catálogo swagelok de válvulas de aguja con bonete integral)

Recomendada para:

- Estrangulación o regulación de circulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Para corte positivo de gases o aire.
- Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

Aplicaciones:

Servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas.

Ventajas:

- Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.
- Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete.
- Control preciso de la circulación.
- Disponible con orificios múltiples.

Desventajas:

- Gran caída de presión.
- Costo relativo elevado.

✓ **Válvulas de diafragma,** Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación:

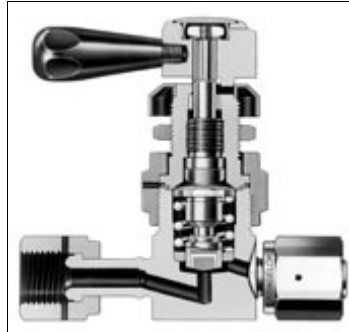


Figura 2.6: Válvula de diafragma.

(Fuente: Catálogo swagelok de válvulas de diafragma)

Recomendada para:

- Servicio con apertura total o cierre total.
- Para servicio de estrangulación.
- Para servicio con bajas presiones de operación.

Aplicaciones:

Fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, pastas semilíquidas fibrosas, lodos, alimentos, productos farmacéuticos.

Ventajas:

- Bajo costo.
- No tienen empaquetaduras.
- No hay posibilidad de fugas por el vástago.
- Inmune a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan.

Desventajas:

- Diafragma susceptible de desgaste.
- Elevada torsión al cerrar con la tubería llena.

✓ **Válvulas antirretorno**, son válvulas que impiden el retroceso del fluido a través de ellas, mediante un mecanismo accionado por el mismo fluido, abriéndose en el sentido normal del flujo y cerrándose al sentido inverso de este. Se pueden clasificar atendiendo primero al modo de instalarse en la línea y otra manera es considerar el dispositivo de cierre.

Según el dispositivo de cierre:

- Válvulas de retención de obturador oscilante (clapeta).
- Válvulas de retención de obturador ascendente.
- Válvula de retención de bola.

Hay más modelos de válvulas de retención (ver Figura 2.7), en el modelo representado el obturador es mantenido en posición cerrada por medio de un resorte y sólo se abre al flujo que circula con determinada presión en el sentido de la flecha que el fabricante incluye en el cuerpo de la válvula.

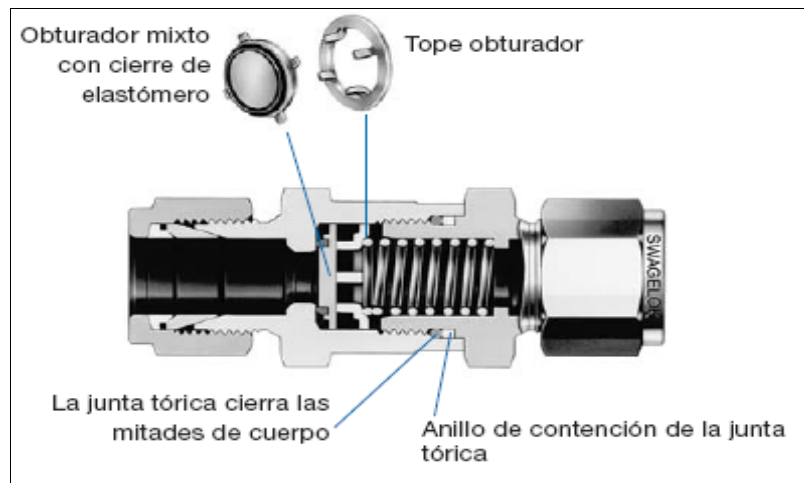


Figura 2.7: Válvula de retención

(Fuente: Catálogo swagelok de válvulas antirretorno)

También hay válvulas cuyo obturador es una esfera, que ajusta sobre su asiento en el cuerpo y asciende, dejando paso libre, empujada por el flujo, descendiendo por la acción de la gravedad y cerrando el paso cuando se detiene la circulación del flujo ascendente.

Por último, existe un tipo de obturador muy similar al de la válvula de mariposa, en el que el disco está partido por un diámetro y ambas mitades se pliegan y juntan dejando el paso libre al flujo circulando en una dirección; en la dirección contraria las dos mitades se disponen en un mismo plano, transversalmente al eje de la tubería, e impiden la circulación del flujo.

II.2.9. Mejores practicas operativas en plantas de transferencia de He líquido.

El principal objetivo al diseñar una estación de trasegado de helio líquido es minimizar la caída de presión en el sistema de baja presión, el cual esta constituido por todos los accesorios y tuberías existentes entre las válvulas de venteo de los dewars hasta la succión del compresor. Esta caída de presión no debe sobrepasar los 0,5 psig en instalaciones operativas, y para efectos de diseño el valor 0,33 psig. La condición antes descrita persigue, ya que el llenado de Helio líquido ocurre por diferencia de presión, evitar la vaporización del mismo al momento del llenado. Dependiendo de cuan alejado se encuentre la caída de presión del valor recomendado, el sistema puede volverse totalmente inoperativo al vaporizarse casi en su totalidad el producto líquido trasegado.

CONCLUSIONES

1. Los pasos o etapas que conforman el proceso en la planta de gases especiales son: tratamiento de cilindros: horneado y purga, llenado, ensayo, certificación y preparación del producto terminado.
2. Las etapas que consumen mayor cantidad de tiempo son: el llenado de cilindros, con un promedio de $(86,94 \pm 0,01)$ min, y el tratamiento de cilindros a través de las purgas, con un promedio de $(55,80 \pm 0,01)$ min.
3. Las variables seleccionadas a manipular para mejorar el tiempo de obtención del producto final son: el número de purgas realizadas, exclusión de llenado de productos no pertenecientes a planta de gases especiales y operatividad de la estación de helio líquido.
4. El tiempo ahorrado por purga eliminada en el llenado de productos, usando las dos arañas de los páneles, es de $(11,77 \pm 0,01)$ min.
5. La productividad de cada llenado de 24 cilindros se ve aumentada en un $(5,3 \pm 0,4)\%$ por cada purga eliminada.
6. Las pérdidas de producto en el proceso de purga oscilan entre el 8 y el 3%.
7. La caída de presión de la estación de helio líquido desde las válvulas de venteo de los Dewars hasta la succión del compresor es de $(4,199 \pm 0,003)$ psi.
8. La mayor caída de presión en la línea estudiada de la estación de helio líquido se registra en los tramos que poseen diámetros de $\frac{1}{2}$ " y 1", correspondiendo a $(3,786 \pm 0,002)$ psi y $(0,369 \pm 0,002)$ psi.

9. El llenado de las mezclas Mapax[®] puede ser trasladado a la planta de gases industriales.
10. Las arañas seleccionadas para el llenado de las mezclas Mapax[®] son la 11 y 12.
11. El espesor mínimo de pared requerido para la tubería de 3/8" sometida a presiones de 2900 psi es de 0,083".
12. El espesor mínimo de pared requerido para la tubería de 3/8" sometida a presiones de 1000 psi es de 0,065".
13. El espesor mínimo de pared requerido para la tubería de 1/2" sometida a presiones de 2900 psi es de 0,083".
14. La capacidad productiva a liberar en la planta de gases especiales una vez trasladado el llenado de las mezclas Mapax[®] a la planta de gases industriales es de 7,55%.
15. La alternativa técnica seleccionada para el cambio en el número de purgas altera el esquema existente introduciendo 3 purgas para el Ar ESP, 2 para el O₂ UAP y 1 para el Ar y N₂ AP.
16. La alternativa técnica seleccionada para la instalación de extensiones de tuberías de N₂ y CO₂ en la planta de G.I. es la que plantea la colocación de tubería sin costura, válvulas de globo y tres válvulas de retención.
17. El tiempo de recuperación de la inversión inicial de la alternativa B para la extensión de tuberías en G.I. es de 7 días hábiles.

18. La estructura de aplicación de los cambios propuestos es: primero, extensión de tuberías en G.I; segundo, cambio en el número de purgas; y tercero, operatividad en la estación de helio líquido.
19. La caída de presión en línea estudiada en la estación de helio líquido es disminuida a $(0,576 \pm 0,002)$ psi producto de la aplicación de la mejora propuesta.

RECOMENDACIONES

1. Definir tiempos de la etapa de purga y llenado operando el panel 941 por tiempos y no por presiones. Al operar de esta forma se corroborará la exactitud de los tiempos de estas etapas del proceso obtenidos, al no existir riesgo de pseudotiempo por posibles fugas en el sistema.
2. Adquirir un termómetro y un barómetro para tenerlo a disposición en el laboratorio, pudiendo verificar de forma exacta la presión y temperatura ambiente que afecta a los procesos en planta.
3. Experimentar con un banco de tuberías de distintos diámetros y longitudes para observar el comportamiento de las velocidades y caudales en los flujos de oxígeno, nitrógeno, argón y dióxido de carbono para disponer de formulas ajustadas a las condiciones generalmente manejadas en la empresa, verificando eficacia previo instalación de sistemas de tuberías.
4. Estudiar la posibilidad de disminuir la longitud del tramo de tubería resultante de 1" en la línea estudiada para verificación de la operatividad de la estación de helio líquido, con la finalidad de alcanzar el valor de caída de presión sugerido por: "Las mejores prácticas en plantas de transferencia de helio".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abuchaibel, A. (S/F) **Aire comprimido y su aplicación en la industrias**. Publicación de Atlas-Copco. España.
2. Acuña, José. (2007). **Estudio técnico económico para la ampliación del área de llenado de la planta de gases especiales de la empresa AGA GAS, C.A.** Informe de pasantías. Valencia, Universidad Santiago Mariño.
3. Avallone, E. y Baumeister III, T. (1995). **Manual del ingeniero mecánico**. (9na Edición). México.
4. Catálogo de Gases y equipos especiales de AGA. (1996). Latinoamérica.
5. Himmelblau, D. (1997). **Principios básicos y cálculo en ingeniería química**. (6^{ta} Edición). México.
6. Holzbock, W. (1996). **Instrumentación para medición y control**. Mc Graw Hill. Mexico.
7. Mc Cabe, Warren y otros. (1991). **Operaciones unitarias en ingeniería química** (4^{ta} Edición). Mc Graw Hill. España.
8. Perry, R. (1997). **Manual del ingeniero químico**. (6^{ta} Edición). Mc Graw Hill. México.
9. Rodríguez, Jhessica. (2003). **Evaluación y planteamiento de mejoras del panel 921 y del proceso de tratamiento de cilindros desarrollado en el horno de la planta de gases especiales de la empresa AGA miembro del grupo Linde Gas**. Informe de pasantías. Caracas, Universidad Central de Venezuela.

10. Rodríguez, Álvaro. (2007). ***Ponderación variables climáticas en Maracay para uso eólico*** [Documento en línea] Disponible: www.giaelec.org/ReportesInv/RPT2007-08.pdf [Consulta: 2008, Agosto 29]

11. Silva, Julio. (2003). ***Transporte de momento para ingenieros de procesos***. Universidad de Carabobo. Valencia.

12. Silva, Julio. (2003). ***Notas y datos sobre selección y aplicación de materiales para ingenieros de procesos***. Universidad de Carabobo. Valencia.

13. Swagelok. ***Válvulas antirretorno, Series C, CA, CH, CP y CPA, (MS-01-176S, R6)*** [Documento en línea]. Disponible: <http://www.swagelok.com.mx/downloads/webcatalogs/ES/MS-01-176.PDF> [Consulta: 2008, Agosto 26]

14. Swagelok. ***Válvulas de aguja con bonete integral***. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.swagelok.com.mx/downloads/webcatalogs/ES/MS-01164.PDF> [Consulta: 2008, Marzo 26]

15. Swagelok. ***Datos de tubo***. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.swagelok.com.mx/downloads/webcatalogs/ES/MS-01-107.PDF> [Consulta: 2008, Marzo 26]

16. Swagelok. ***Racores para soldar. Ultra alta pureza e industriales*** [Documento en línea]. Disponible: <http://www.swagelok.com.mx/downloads/webcatalogs/ES/MS-01122.PDF> [Consulta: 2008, Abril 15].

17. Habonim valves ltd. ***Cryogenic valves series***. Boulletin P-119.

18. Tovar, Máximo. (2006). ***Evaluación del sistema de distribución de gas combustible asociado a las unidades de destilación y reformación catalítica de la refinería el Palito.*** Trabajo Especial de grado. Valencia, Universidad de Carabobo.

CÁLCULOS TÍPICOS

Cálculo de la capacidad de la tubería con costura*, esta es calculada a partir de la capacidad presentada para la tubería sin costura multiplicada por un factor de corrección (Swagelok).

$$C_{TC} = 0,8 \times 6700 \text{psig} = 5360 \text{psi}$$

Cálculo de media de valores*

$$\bar{x} = \frac{(0,8 + 0,7 + 0,6 + \dots + 0,7) \text{ ppm } O_2}{125} = \frac{84,7 \text{ ppm } O_2}{125} = 0,6776 \text{ ppm } O_2$$

Cálculo del porcentaje de productividad incrementado por disminución de purgas

Resultado de sumar los promedios de tiempos de todas las etapas en el proceso de la planta de gases especiales y poseer un total de referencia:

$$T_{ref} = (1,52 \times 5 + 0,43 \times 4 + 7,16 \times 5 + 2,67 \times 4 + 86,94 + 46,21 + 17,31 + 15,03)$$

$$T_{ref} = 221,29 \text{ s}$$

Seguidamente:

$$\%TA = \frac{11,71 \text{ s} \times 100}{221,29 \text{ s}} = 5,3188\%$$

Para el cálculo del error:

$$\Delta\%TA = \frac{\partial\%TA}{\partial t_p} \Delta t_p + \frac{\partial\%TA}{\partial t_T} \Delta t_T$$

$$\Delta\%TA = 0,4518 - 0,0239 = 0,4278 \cong 0,4$$

Finalmente el valor queda reportado:

$$\%TA = (5,3 \pm 0,4)\%$$

Cálculo de la capacidad productiva a liberar*

$$TA = (1236 + 216 + 204 + 60 + 24) Cil \times \frac{2 h}{24 Cil} = 145h$$

$$TA = 145h \times \frac{1 día}{8h} \times \frac{1 sem}{5 día} \times \frac{1 mes}{4 sem} = 0,90625 mes$$

$$\%TA = \frac{0,90625 mes \times 100}{12 meses} = 7,6\%$$

Cálculo del factor de Darcy*, para la determinación de este factor fue necesario calcular el número de Reynolds; no sin antes de identificar la velocidad a través de la ecuación II.7, posterior a un despeje. Para la tubería de 3" de diámetro:

$$v = \frac{0,02 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} \times (0,07792 m)^2} = 4,194133 \frac{m}{s}$$

Seguidamente con los valores de ρ , D y μ , y empleando la ecuación II.4, para la tubería de 3" se tiene:

$$R = \frac{0,1664 \frac{kg}{m^3} \times 0,0779272m \times 4,194133 \frac{m}{s}}{0,00001985 Pa \cdot s} = 2739,8329$$

Finalmente se calcula el factor de fricción empleando la ecuación II.6, para el flujo de gas en la tubería de 3" de diámetro (empleando esta ecuación considerando condición desfavorable en el régimen de transición)

Suponiendo un valor inicial: 0,02

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\frac{0,00015 \text{ in}}{3,068 \text{ in}}}{3,7} + \frac{2,51}{2739,8329 \sqrt{f}} \right)$$

Con ayuda de la herramienta de Excel: solver:

$$f = 0,044799758$$

Cálculo de la caída de presión, Previa determinación de la caída de presión se definen las pérdidas en el sistema, con ayuda de la ecuación II.14:

$$h_L = \frac{0,04479 \times 35,33m \times \left(4,1941 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,07792m} = 18,2244m$$

Para el cálculo del error asociado se emplea el método de las derivadas parciales:

$$\Delta h_L = \frac{\partial h_L}{\partial L} \Delta L = \frac{f_D L \bar{v}^2}{2gD} \times 0,01m = 0,00515 \cong 0,005$$

La medida queda expresada de la siguiente forma:

$$h_L = (18,224 \pm 0,005)m$$

Luego, sabiendo que en el volumen de control no hay trabajo de eje, la diferencia de altura entre los puntos de entrada y salida respecto de la longitud total de la tubería es despreciable y que la velocidad es constante por asumir el fluido como incompresible, resulta:

$$\Delta P = 18,224m \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,1664 \frac{kg}{m^3} = 28,45 \frac{kg}{m \times s^2} \times \frac{N \times s^2}{1kg \times m} \times \frac{14,696psi}{101322 Pa} = 0,00431psi$$

Para el cálculo del error:

$$\Delta(\Delta P) = \frac{\partial(\Delta P)}{\partial h_L} \Delta h_L = \rho \times g \times 0,005 = 0,000001182 \cong 0,000001$$

Y la medida queda expresada:

$$\Delta P = (0,004311 \pm 0,000001)psi$$

Definición del espesor mínimo de pared requerido para la línea de nitrógeno* (Ec. II.15):

Cálculo de la razón Do/t_m

$$r = \frac{0,84 in}{0,08272 in} = 10,1535$$

Una vez verificada la condición $r > 6$ se ratifica el buen uso de la ecuación II.20 para el cálculo del espesor mínimo requerido:

$$t_m = \frac{(2914,32 psia + 2914,32psia \times 0,35) \times 0,84 in}{2(20000psia \times 0,92 + (2914,32 psia + 2914,32psia \times 0,35) \times 0,4)} + 0 = 0,0827296$$

Consecuentemente el diámetro interno* será, una vez estandarizado el t_m (Ec. II.16):

$$D_{int} = 0,84in - 2 \times 0,083in = 0,674 in$$

Cálculo del volumen perdido en el proceso de purga*. De la ecuación II.3 se desglosa la variable de volumen molar, luego despejándose de la misma el valor de los moles:

$$n = \frac{P \times V}{Z \times R \times T}$$

Seguidamente se sustituyen los valores correspondientes para el Argón espectrometría:

$$n = \frac{40 psi \times 6894,53 \frac{Pa}{psi} \times 40L \times \left(\frac{1 m^3}{1000L} \right)}{0,939474 \times 8,314 \left(\frac{Pa \times m^3}{gmol \times K} \right) \times 294,15 K} = 4,801 gmol$$

Con el valor de moles obtenido, el peso molecular y la densidad:

$$V = \frac{n \times PM}{\rho}$$

Sustituyendo los valores se tiene:

$$V = \frac{4,801 gmol \times 39,95 \frac{g}{gmol}}{1,656 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1000g}{1 kg}} = 0,1158$$

*Valor presentado sin error debido a la procedencia bibliográfica de todos los valores de los cuales dependen las derivadas parciales.

APÉNDICE B

TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.1
VALORES DE COEFICIENTE “Y” PARA ESPESORES DE PARED
MENORES QUE D/6

Materiales	Temperaturas, °C (°F)					620 (1150) y mayores
	485 (900) y menores	510 (950)	540 (1000)	560 (1050)	595 (1100)	
Aceros ferríticos	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Aceros austeníticos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Otros metales dúctiles	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Hierro colado	0.0	...	...	...	...	...

*Extractada de ANSI B31.3-1980, con permiso de su editor, American Society of Mechanical Engineers, New York.

Fuente: Manual del Ingeniero Químico, 1997.

TABLA B.2
RANGOS DE TOLERANCIA POR CORROSION PARA TUBERIAS DE ACERO

	Corrosivity			
	Non-corrosive	Mild	Moderate	Severe
Corrosion allowance	0" (0 mm)	$\frac{1}{16}$ " (1.5 mm)	$\frac{1}{8}$ " (3 mm)	$\frac{1}{4}$ " (6.4 mm)
Examples	Air, nitrogen, dry hydrocarbons	Treated cooling water, steam, wet hydrocarbons	Wet sour gas, sour water, utility water, lean amines, caustics	Aerated water, rich amines, ambient temperature wet CO ₂ , hot sulfur or sulfide (>500°F (260°C)), wet salts, corrosive deadlegs, hot steam (>1000°F (>540°C))

Fuente: Notas y datos sobre selección y aplicación de materiales para ingenieros de procesos, 2003.

TABLA B.3
PROPIEDADES DE LAS TUBERIAS DE ACERO

Tamaño nominal de tub., in	Diám. exterior, in	No. de cédula	Espesor de la pared, in	Diám. interior, in	Área de corte transversal		Circunferencias, ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		Capacidad a una velocidad de 1 ft/s		Peso de tub. de extremos lisos, en lb/ft
					Metal en in ²	Flujo en ft ²	Exterior	Interior	U.S. gal/min	Lb/h de agua	
¾	0.405	10S	0.049	0.307	0.055	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
¾	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
¾	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	298.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
¾	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
¾	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.903	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	832.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.718	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
1	1.315	5S	.065	1.185	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00656	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.878	439.0	3.66
1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41
2	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.687	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
2½	2.875	5S	.083	2.709	0.728	0.04003	.753	.709	17.97	8985	2.48
		10S	.120	2.635	1.039	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80XS, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
3	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13,605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13,010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11,500	7.58
		80XS, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.759	20.55	10,275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
3¾	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80XS, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50
4	4.5	5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23,000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22,200	5.61
		40ST, 40S	.237	4.026	3.17	.08840	1.178	1.054	39.6	19,800	10.79
		80XS, 80S	.337	3.826	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17,900	14.98

Fuente: Manual del Ingeniero Químico, 1997.

TABLA B.4
ESFUERZOS PERMISIBLES EN TENSIÓN PARA MATERIALES

Material	Especificación	No. P (23)	Grado	Clase	Factor, E	Resistencia mínima a la tensión, kip/in ²	Límite elástico mínimo, kip/in ²	Notas	Temperatura mínima (18)	Temperatura mínima a 100	200	300	400	500	600	650
Hierro																
Tubería colada centrífugamente																
	FS-WW-P421c	...	...	...	...	...	...	8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	AWWA C106	...	...	...	...	...	...	8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	AWWA C108	...	...	...	...	...	...	8, 10, 17	-20	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Acero al carbono																
Tubo y tubería sin costura																
	A53	1	A	Tipo S	...	48.0	30.0	1, 2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8	14.5
	A53	1	B	Tipo S	...	60.0	35.0	1, 2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.3	17.0
	A106	1	A	...	...	48.0	30.0	2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8	14.5
	A106	1	B	...	...	60.0	35.0	2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.3	17.0
	A106	1	C	...	...	70.0	40.0	2	-20	23.3	23.3	22.9	21.6	19.7	19.4	19.4
	A120	1	...	...	...	...	...	21	-20	12.0	11.4	...	...	...	...	...
	A333	1	1	...	...	55.0	30.0	1, 2	-50	18.3	18.3	17.7	17.2	16.2	14.8	14.5
	A333	1	6	...	...	60.0	35.0	2	-50	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.3	17.0
	API 5L	1	A	...	...	48.0	30.0	1, 2	-20	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14.8	14.5
	API 5L	1	B	...	...	60.0	35.0	1, 2	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.3	17.0
	API 5LX	SP2	X42	...	...	60.0	42.0	37, 38	-20	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.3	17.0
	API 5LX	SP3	X46	...	...	63.0	46.0	37, 38	-20	21.0	21.0	21.0	21.0	19.7	19.4	19.4
	API 5LX	SP3	X52	...	...	66.0	52.0	37, 38	-20	22.0	22.0	22.0	22.0	20.4	20.4	20.4
	API 5LX	SP3	X52	...	...	72.0	52.0	37, 38	-20	24.0	24.0	24.0	24.0	21.6	19.7	19.4
Tubería soldada con resistencia eléctrica																
	A53	1	A	Tipo E	0.85	48.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6	12.3
	A53	1	B	Tipo E	0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7	14.5
	A120	1	...	...	0.85	...	...	21	-20	10.2	9.7	...	...	...	...	...
	A135	1	A	...	0.85	48.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6	12.3
	A135	1	B	...	0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7	14.5
	A333	1	1	...	0.85	55.0	30.0	1, 2	-50	15.6	15.6	14.6	14.6	13.8	12.6	12.3
	A333	1	6	...	0.85	60.0	35.0	2	-50	17.0	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7	14.5
	A587	1	...	...	0.85	48.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6	12.3
	API 5L	1	A25	I y II	0.85	45.0	25.0	1, 2	-20	12.8	12.8	12.3	11.8	...	...	...
	API 5L	1	A	...	0.85	48.0	30.0	1, 2	-20	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	12.6	12.3
	API 5L	1	B	...	0.85	60.0	35.0	1, 2	-20	17.0	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7	14.5
	API 5L	SP2	X42	...	0.85	60.0	42.0	37, 38	-20	17.0	17.0	17.0	17.0	16.1	14.7	14.5
	API 5LX	SP3	X46	...	0.85	63.0	46.0	37, 38	-20	17.9	17.9	17.9	17.9	16.7	15.7	15.4
	API 5LX	SP3	X52	...	0.85	66.0	52.0	37, 38	-20	18.7	18.7	18.7	18.7	17.7	16.7	16.2
	API 5LX	SP3	X52	...	0.85	72.0	52.0	37, 38	-20	20.4	20.4	20.4	20.4	19.4	18.4	18.0
Tubería soldada por fusión eléctrica (costura recta)																
A570 GR A	A134	1	...	...	0.74	45.0	25.0	5, 21	-20	11.1	10.5	10.0	...	...	...	...
A570 GR B	A134	1	...	...	0.74	49.0	30.0	5, 21	-20	12.1	11.4	10.9	...	...	...	...
A570 GR C	A134	1	...	...	0.74	52.0	33.0	5, 21	-20	12.8	12.1	11.6	...	...	...	...
A570 GR D	A134	1	...	...	0.74	55.0	40.0	5, 21	-20	13.6	12.8	12.2	...	...	...	...
A570 GR E	A134	1	...	...	0.74	58.0	42.0	5, 21	-20	14.3	13.5	12.9	...	...	...	...
Acero de baja y mediana aleación																
Tubería sin costura																
3 1/2 Ni	A333	9B	3	...	...	65.0	35.0	...	-150	21.7	19.6	19.6	18.7	17.8	16.8	16.3
3/4 Cr, 1/4 Ni, Cu, Al	A333	4	4	...	...	60.0	35.0	...	-150	20.0	19.1	18.2	17.3	16.4	15.5	15.0
2 1/4 Ni	A333	9A	7	...	...	65.0	35.0	...	-100	21.7	19.6	19.6	18.7	17.6	16.8	16.3
9 Ni	A333	11A-SGL	8	...	...	100.0	75.0	40	-320	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7
C, 1/2 Mo	A335	3	P1	...	...	55.0	30.0	3	-20	18.3	18.3	17.5	16.9	16.3	15.7	15.4
5 Cr, 1/2 Mo	A335	5	P5	...	...	60.0	30.0	...	-20	20.0	18.1	17.4	17.2	17.1	16.8	16.6
1 1/4 Cr, 1/2 Mo	A335	4	P11	...	...	60.0	30.0	...	-20	20.0	18.7	18.0	17.5	17.2	16.7	16.2
2 1/4 Cr, 1 Mo	A335	5	P22	...	...	60.0	30.0	...	-20	20.0	18.5	18.0	17.9	17.9	17.9	17.9
Acero inoxidable																
Tubo y tubería sin costura																
Tubería 18 Cr, 8 Ni	A312	8	TP304	...	...	75.0	30.0	7, 14, 16, 20	-425	20.0	20.0	20.0	18.7	17.5	16.4	16.2
Tubería 18 Cr, 8 Ni	A312	8	TP304H	...	...	75.0	30.0	16	-325	20.0	20.0	20.0	18.7	17.5	16.4	16.2
Tubería 18 Cr, 8 Ni	A312	8	TP304L	...	...	70.0	25.0	...	-425	16.7	16.7	16.7	15.8	14.8	14.0	13.7
Tubería 25 Cr, 20 Ni	A312	8	TP310	...	...	75.0	30.0	19, 24, 32	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.2	18.8
Tubería 25 Cr, 20 Ni	A312	8	TP310	...	...	75.0	30.0	6, 19, 24, 32	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.2	18.8
Tubería 16Cr, 12Ni, 2Mo	A312	8	TP316	...	...	75.0	30.0	14, 16	-325	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9	17.0	16.7
Tubería 16Cr, 12Ni, 2Mo	A312	8	TP316H	...	...	75.0	30.0	16	-325	20.0	20.0	20.0	19.3	17.9	17.0	16.7
Tubería 16Cr, 12Ni, 2Mo	A312	8	TP316L	...	...	70.0	25.0	...	-325	16.7	16.7	16.7	15.5	14.4	13.5	13.2
Tubería 18Cr, 10Ni, Cb	A312	8	TP347	...	...	75.0	30.0	7, 14	-425	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	19.0
Tubería 18Cr, 10Ni, Cb	A312	8	TP347H	...	...	75.0	30.0	...	-325	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	19.0
Tubería colada (fundida) centrífugamente																
18 Cr, 8Ni	A451	8	CPF8	...	0.90	70.0	30.0	14, 15, 16	-425	18.0	18.0	17.8	15.8	14.8	14.1	13.8
18 Cr, 10 Ni, 2Mo	A451	8	CPF8M	...	0.90	70.0	30.0	14, 15, 16	-425	18.0	18.0	18.0	17.5	16.3	15.4	15.0
18 Cr, 10Ni, Cb	A451	8	CPF8C	...	0.90	70.0	30.0	7, 14, 15	-325	18.0	18.0	18.0	18.0	17.4	16.5	16.2
15Cr, 13Ni, 2Mo, Cb	A451	8	CPF10MC	...	0.90	70.0	30.0	7, 11, 14, 15	-325	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	17.3	16.9
23Cr, 13Ni	A451	8	CPH8	...	0.90	65.0	28.0	11, 14, 15, 19	-325	16.8	16.8	16.8	16.8	16.2	15.7	15.7
23Cr, 13Ni	A451	8	CPH10	...	0.90	70.0	30.0	9, 11, 14, 15	-325	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	17.3	16.9
25Cr, 20Ni	A451	8	CPK20	...	0.90	65.0	28.0	14, 15, 19, 24	-325	16.8	16.8	16.8	16.8	16.2	15.7	15.7
18Cr, 8Ni	A452	8	TP304H	...	0.85	75.0	30.0	15, 16	-325	17.0	17.0	17.0	15.9	14.8	14.0	13.8
16Cr, 12Ni, 2Mo	A452	8	TP316H	...	0.85	75.0	30.0	15, 16	-325	17.0	17.0	17.0	16.4	15.2	14.4	14.2
18Cr, 10Ni, Cb	A452	8	TP347H	...	0.85	75.0	30.0	15	-325	17.0	17.0	17.0	17.0	16.9	16.4	16.1

Fuente: Manual del Ingeniero Químico, 1997.

TABLA B.5
VALORES DE COEFICIENTE DE RESISTENCIA O LONGITUD EQUIVALENTE
PARA VARIOS ACCESORIOS

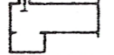
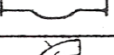
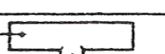
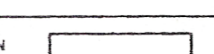
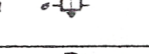
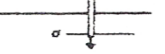
Descripción	K	(L/D)
Válvulas de mariposa		
$\phi = 5^\circ$	0.24	
$\phi = 10^\circ$	0.52	
$\phi = 20^\circ$	1.54	
$\phi = 40^\circ$	10.8	
$\phi = 60^\circ$	118.0	
De 6 pulg y mayores (General) –Completamente abierta.		20
Grifos		
Directo a través.		
Area rectangular de la clavija al 100% del área del tubo –Completamente abierta.		18
Válvulas de tres conductos		
Area rectangular de la clavija igual al 80% del área del tubo –Completamente abierta.		
Flujo directamente a través.		44
Flujo a través de bifurcación.		140
Válvula de pie –Completamente abierta.	15.0	
Y o Válvula de escape –Completamente abierta.	3.0	
De llave ciega.		
$\phi = 5^\circ$	0.05	
$\phi = 10^\circ$	0.29	
$\phi = 20^\circ$	1.56	
$\phi = 40^\circ$	17.3	
$\phi = 60^\circ$	206.0	
Medidor de agua, de disco.	7.0	350
De pistón.	15.0	
Rotatoria (disco de estrella).	10.0	
De rueda de turbina.	6.0	
Codos		
90° estándar o normal.		30
45° estándar o normal.		16
90° de radio corto.	0.9	41
90° de radio medio.	0.75	
90° de radio largo.		20
Para calle a 90°.		50
Para calle a 45°.		26
Para esquina cuadrada.		57
Curvatura de 180°.	1.6	75
Te normal o estándar.		
Con flujo a todo lo largo (paso recto).	0.4	20
Con flujo a través de la rama (salida lateral) –Usada como L al entrar a una bifurcación.		60
Con flujo que se bifurca.	1.0	
Patrón cerrado de tubo de retorno		50
Acoplamiento	0.04	
Unión	0.04	

Puede estimarse el valor de L/D para una Válvula de bola 100% abierta con la L/D de una válvula de compuerta 100% abierta.

⊗ Información extraída de las siguientes fuentes: McCabe, W. y otros, "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", Cuarta Edición, McGraw-Hill, España, 1991; Streeter, V., "Mecánica de los Fluidos", Octava Edición, McGraw-Hill, México, 1988; Barderas, M., "Problemas de Flujo de Fluidos", Primera Edición, Editorial Limusa, México, 1990; Welty, J. y otros, "Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa", Segunda Edición, Editorial Limusa, México, 1994; White, F., "Mecánica de Fluidos", Primera Edición, McGraw-Hill, México, 1983; Geankoplis, C., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", Tercera Edición, Editorial Continental, México, 1998; Perry, R., "Manual del Ingeniero Químico", Sexta Edición, McGraw-Hill, México, 1992; y Foust, A. y otros, "Principios de Operaciones Unitarias", Segunda Edición, Editorial Continental, México, 1989.

Fuente: Herramientas de trabajo para fenómenos de transporte I, 2003.

TABLA B.6
LONGITUD EQUIVALENTE DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS PARA
VARIOS DIÁMETROS

ACCESORIO O SEGMENTO		LONGITUD EQUIVALENTE EN m.													
		DIÁMETRO INTERNO EN mm.													
		13	16	20	25	40	50	80	100	125	150	200	250	300	400
VALVULAS DE COMPUERTA Y DE BOLA		0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.6	3.2	3.9	5.2
VALVULA DE DIAFRAGMA		0.8	1.0	1.2	1.6	2.5	3.0	4.5	6.0	8.0	10	--	--	--	--
VALVULA DE ANGULO		2.0	2.4	3.0	4.0	6.0	7.0	12	15	18	22	30	36	--	--
VALVULA GLOBO		4.0	4.1	6.0	7.5	12	15	24	30	38	45	60	--	--	--
VALVULA CHECK		1.0	1.3	1.6	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
CODO CON R = 2d		0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
CODO CON R = d		0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
CODO DE 90°		0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9.0	12	15	18	24
CONEXION EN T CON PASO DIRECTO		0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
CONEXION EN T		0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9.0	12	15	18	24
REDUCCION		0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6
TRAMPA DE CONDENSADO		2.0	2.4	3.0	4.0	6.0	7.0	12	15	18	22	30	--	--	--
CONEXION EN T ALIMENTACION DE ANILLO		0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9.0	12	15	18	24
CONEXION EN T ALIMENTACION DE SERVICIO		0.8	1.0	1.2	1.5	2.4	3.0	--	--	--	--	--	--	--	--
CONEXION PARA LINEA DE SERVICIO		1.3	1.6	2.0	2.5	4.0	5.0	--	--	--	--	--	--	--	--
CODO DE 45°		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4

Fuente: Manual del aire comprimido Atlas Copco, 1990.

TABLA B.7
COMPATIBILIDAD DE MATERIALES

Tabla de compatibilidad de materiales

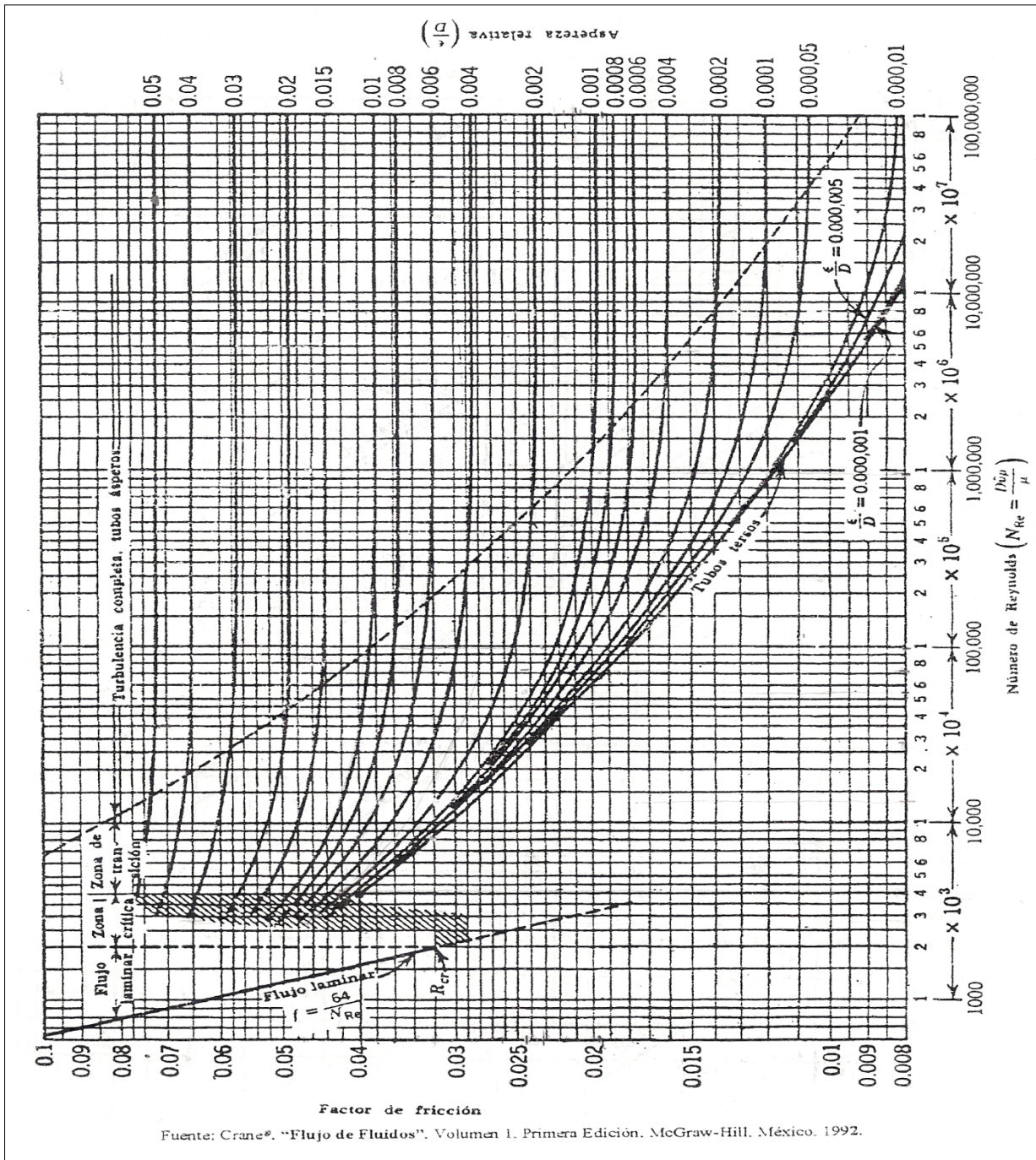
Nombre común	Bronce	Acero inoxidable 316	Zinc	Monel	Hastelloy	Kel-F	Teflón	Kalrez*	Vitor	Buna-N	Neopreno	Poliuretano
Acetileno	S	S	U	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Aire, butano, buteno, dióxido de carbono	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Deuterio, etano, neón	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Helio, hidrógeno, isobutano, kriptón	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Metano, nitrógeno, propano, xenón	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Amoníaco	U	S	U	S	S	S	S	S	U	S	S	U
Arsina	S	S	I	S	I	S	S	S	S	S	S	U
Tricloruro de boro	U	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	I
Trifluoruro de boro	S	S	I	S	I	S	S	S	I	I	I	I
Butadieno 1,3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	U	S	U
Monóxido de carbono	S	S	S	S	S	S	S	S	I	S	S	S
Cloro	U	S	U	S	S	S	S	S	S	U	U	U
Diborano	S	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	I
Diclorosilano	I	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	I
Dimetileter, etileno	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	I
Cloruro de etilo	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	U
Oxido de cloro	S	S	I	I	I	S	S	S	U	U	U	U
Halocarbono 11	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	U	U
Halocarbono 12, 13, 13B1, 14	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Halocarbono 22	S	S	I	S	S	S	S	S	U	U	S	U
Halocarbono 23, 116	S	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	S
Halocarbono 114, Hexafluoruro de azufre	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Cloruro de hidrógeno	U	S	U	S	S	S	S	S	S	U	U	U
Sulfuro de hidrógeno	U	S	I	S	S	S	S	S	U	S	S	S
Isobutileno	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	I
Cloruro de metilo	S	S	U	S	S	S	S	S	S	U	U	U
Metil mercaptano	S	S	I	U	S	S	S	S	I	I	S	I
Oxido nítrico	U	S	I	S	I	S	S	S	I	I	S	I
Dióxido de nitrógeno	I	S	I	S	I	S	S	S	U	U	U	U
Oxido nitroso	S	S	S	S	S	S	U	S	S	S	S	S
Oxígeno	S	S	S	S	S	S	U	S	S	U	U	S
Perfluoropropano	S	S	I	S	S	S	S	I	I	S	S	I
Fosfina	I	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	I
Propileno	S	S	S	S	S	S	S	S	S	U	U	U
Silano, Tetrafluoruro de sílice	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Dióxido de azufre	U	S	U	S	S	S	S	S	S	U	U	S
Eter metil vinilo	S	S	I	S	S	S	S	S	I	I	I	I

Tabla 1

* Consulte con DuPont para información específica de los compuestos.
S = Satisfactorio U = No satisfactorio I = Insuficientes datos disponibles.

FIGURA B.1

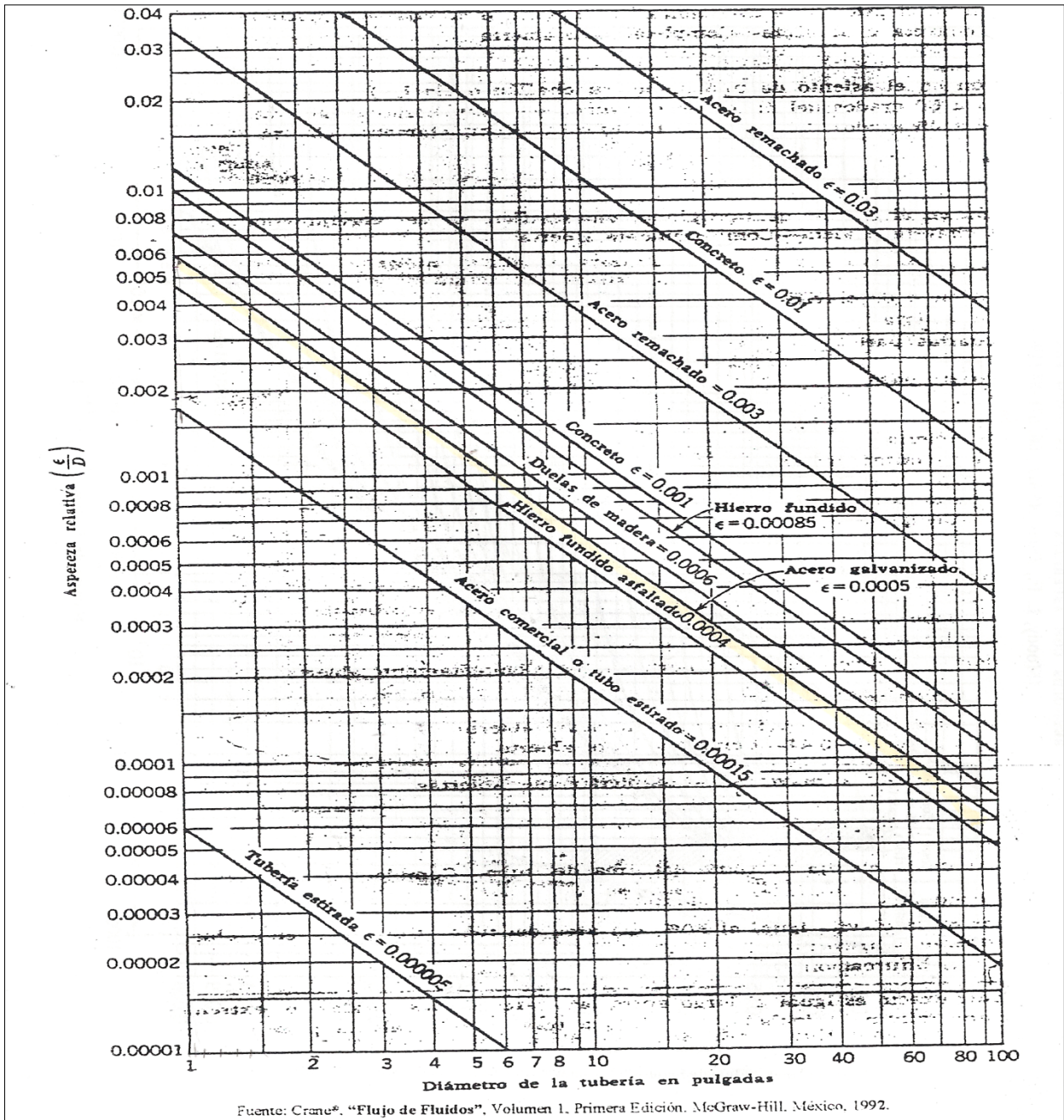
DIAGRAMA DE MOODY PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN



Fuente: Herramientas de trabajo para fenómenos de transporte I, 2003.

FIGURA B.2

ASPEREZA RELATIVA COMO UNA FUNCIÓN DEL DIÁMETRO PARA TUBERIAS DE VARIOS MATERIALES



Fuente: Herramientas de trabajo para fenómenos de transporte I, 2003.