



14
247
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"**

**"ANÁLISIS, DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACION
DE CABEZALES Y RAMALES DE DESFOGUE PARA
FLUIDOS COMPRESIBLES EN PLANTAS DE PROCESO"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :**

FRANCISCO JAVIER LIRA GONZALEZ



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO.

INTRODUCCION.....	7
CAPITULO 1. GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE DESFOGUE.	
1.0 ALCANCE.....	9
1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE RELEVO DE PRESSION.....	9
1.1.1 SISTEMA DE DESCARGA ABIERTO.....	10
1.1.2 SISTEMA DE DESCARGA CERRADO.....	11
1.1.3 SISTEMA A RECUPERACION.....	13
1.2 CAUSAS Y PREVENCION DE SOBREPRESION.....	13
1.2.1 DESCARGA BLOQUEADA EN RECIPIENTES.....	14
1.2.2 ABERTURA INADVERTIDA DE UNA VALVULA.....	15
1.2.3 FALLA DE SERVICIOS.....	15
1.2.4 FALLA PARCIAL.....	17
1.2.5 FALLAS MECANICAS O ELECTRICAS.....	17
1.2.6 PERDIDAS DE VENTILADORES.....	18
1.2.7 PERDIDAS DE CALOR EN SISTEMAS FRACCIONADORES EN SERIE.....	18
1.2.8 PERDIDA DE AIRE DE INSTRUMENTOS O POTENCIA ELECTRICA.....	18
1.2.9 FALLA DE REFLUJO.....	19
1.2.10 ENTRADA ANORMAL DE CALOR A REHERVIDORES.....	19
1.2.11 FALLA DE TUBOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	19
1.2.12 ONDAS DE PRESSION TRANSITORIAS.....	20
1.2.13 EXPANSION HIDRAULICA.....	21
1.3 DISPOSITIVOS O ELEMENTOS PARA EL RELEVO DE PRESSION.....	21
1.3.1 VALVULAS DE RELEVO.....	21
1.3.2 VALVULAS DE SEGURIDAD Y VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD.....	22
1.3.3 OTROS TIPOS DE VALVULAS DE SEGURIDAD.....	28
1.3.4 DISPOSITIVOS DE DISCOS DE RUPTURA.....	28
1.3.5 CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS DISPOSITIVOS DE RELEVO DE PRESSION.....	31
1.4 CONDICIONES QUE DEBE SATISFACER UN SISTEMA DE RELEVO.....	34

1.5 DETERMINACION DE LA MASA A RELEVAR.....	35
1.5.1 DIMENSIONAMIENTO POR FUEGO.....	35
1.5.2 NFPA CAPACIDAD DE RELEVO MINIMA DE VALVULAS DE RELEVO DE PRESSION POR EXPOSICION A FUEGO..	38
1.5.3 RECIPIENTES LLENOS DE GAS.....	40
1.5.4 FALLA DE TUBOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.	42
1.5.5 EXPANSION DE LIQUIDO.....	43
1.5.6 LIQUIDOS VISCOSOS.....	45
1.5.7 VAPORIZACION DE LIQUIDO.....	45
1.6 CRITERIOS DE DISEÑO DE VALVULAS DE RELEVO DE PRESSION.....	50

**CAPITULO 2. ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL
CABEZAL DE DESFOGUE.**

2.0 ALCANCE.....	52
2.1 ALGUNOS PARAMETROS DE DISEÑO.....	52
2.2 ECUACION DE DARCY.....	54
2.3 ECUACION DE MISEN.....	57
2.4 ECUACION DE MAK.....	59
2.5 ECUACION DE CONISON.....	62
2.5.1 ECUACION DE CROCKER.....	62
2.5.2 ECUACION DE CAIDA DE PRESSION.....	63
2.6 ECUACION ADIABATICA.....	65
2.7 COMPARACION TECNICA DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LINEAS DE DESFOGUE.....	66

**CAPITULO 3. APLICACION DEL CODIGO DE DISEÑO DE TUBERIAS A
PRESSION ASME/ANSI B31 A LINEAS DE DESFOGUE DE
PLANTAS DE PROCESO.**

3.0 ALCANCE.....	69
3.1 CONTENIDO Y APLICACION DE LA SECCION B31.3.....	70
3.2 EXCLUSIONES DE LA SECCION B31.3.....	72
3.3 CONDICIONES DE DISEÑO.....	73
3.3.1 PRESSION DE DISEÑO.....	73
3.3.2 TEMPERATURA DE DISEÑO TUBERIA METALICA.....	73

3.3.3	TEMPERATURA MINIMA DE DISEÑO.....	73
3.3.4	COMPONENTES METALICOS SIN AISLAMIENTO.....	74
3.3.5	EFFECTOS AMBIENTALES.....	74
3.3.6	EFFECTOS DINAMICOS.....	75
3.3.7	EFFECTOS DEBIDO AL PESO.....	75
3.3.8	EXPANSION TERMICA Y EFFECTOS DE CONTRACCION...	76
3.3.9	EFFECTOS DE APCYO, ANCLAS Y MANIOBRAS TERMINALES.....	76
3.3.10	EFFECTOS DE DUCTILIDAD REDUCIDA.....	77
3.3.11	EFFECTOS CICLICOS.....	77
3.3.12	EFFECTOS DE CONDENSACION DE AIRE.....	77
3.4	CRITERIOS DE DISEÑO.....	77
3.4.1	COMPONENTES LISTADOS TENIENDO "RATINGS" ESTABLECIDOS.....	77
3.4.2	COMPONENTES SIN LISTAR.....	81
3.4.3	TOLERANCIAS PARA VARIACIONES DE PRESTON Y TEMPERATURA, TUBERIA METALICA.....	82
3.4.4	ESFUERZOS ADMISIBLES Y OTROS LIMITES DE ESFUERZO PARA TUBERIA METALICA.....	83
3.4.5	BASES PARA LOS ESFUERZOS DE DISEÑO.....	84
3.5	SOBRESPEORES.....	86
3.6	CALCULO DE ESPESORES.....	86
3.6.1	TUBERIA METALICA RECTA.....	86
3.6.2	TUBERIA RECTA BAJO PRESSION INTERNA.....	88
3.6.3	TUBERIA RECTA BAJO PRESSION EXTERNA.....	88
3.7	LIMITACIONES SOBRE TUBERIA METALICA ESPECIIFICA....	91
3.7.1	TUBERIA LIMITADA A SERVICIO DE FLUIDO CATEGORIA "D".....	91
3.7.2	TUBERIA LIMITADA PARA OTRO SERVICIO DE FLUIDO DISTINTO A LA CATEGORIA "D".....	91
3.7.3	TUBERIA PARA CONDICIONES CICLICAS SEVERAS....	91
3.8	REQUISITOS DE DISEÑO PERTENECIENTES A TUBERIA DE RELEVO DE PRESSION.....	93
3.8.1	VALVULAS DE BLOQUEO EN TUBERIA PARA DISPOSITI- VOS DE SEGURIDAD DE RELEVO DE PRESSION.....	93
3.8.2	TUBERIA DE DESCARGA PARA DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE RELEVO DE PRESSION.....	94

3.9 MATERIALES Y ESPECIFICACIONES.....	94
3.9.1 MATERIALES METALICOS.....	97
3.9.2 LIMITACIONES DE TEMPERATURA.....	97
3.9.3 LIMITACIONES DE SERVICIO DEL FLUIDO SOBRE MATERIALES METALICOS.....	99
3.9.4 DETERIORO DE MATERIALES EN SERVICIO.....	101
3.9.5 ESPECIFICACION DEL MATERIAL.....	101
3.10 PRUEBA DE FILTRACION REQUERIDA.....	102
3.11 PRUEBA DE FILTRACION HIDROSTATICA.....	105
3.11.1 FLUIDO DE PRUEBA.....	105
3.11.2 TUBERIA METALICA, PRESTION DE PRUEBA.....	105
3.11.3 PRUEBA HIDROSTATICA DE TUBERIA CON RECIPIENTES COMO UN SISTEMA.....	106
3.12 PRUEBA DE FILTRACION NEUMATICA.....	106
3.12.1 PRECAUCIONES.....	106
3.12.2 DISPOSITIVO DE RELEVO DE PRESTION.....	106
3.12.3 FLUIDO DE PRUEBA.....	107
3.12.4 PRESTION DE PRUEBA.....	107
3.12.5 PROCEDIMIENTO.....	107
3.13 PRUEBA DE FILTRACION HIDROSTATICA-NEUMATICA.....	107

CAPITULO 4. EJEMPLO DE APLICACION.

4.0 ALCANCE.....	108
4.1 ANTECEDENTES.....	108
4.2 GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO CANTARELL.....	109
4.3 FILCSOFIA OPERATIVA.....	110
4.4 BASES DE ESTUDIO.....	110
4.5 DESARROLLO.....	118
4.5.1 SISTEMA DE DESFOGUE.....	118
4.5.2 LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.....	118
4.5.3 CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	119
4.5.4 DETERMINACION DE LA INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.....	119
4.5.5 QUEMADORES EXISTENTES.....	120
4.6 RESULTADOS.....	120

4.7 ANALISIS DE RESULTADOS DEL EJEMPLO DE APLICACION.....	137
4.7.1 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE DESFOGUE.....	137
4.7.2 ANALISIS DEL EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.....	138
4.7.3 INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.....	139
4.7.4 ANALISIS DE LOS QUEMADORES ELEVADOS.....	140
4.8 RECOMENDACIONES DEL EJEMPLO DE APLICACION.....	140
4.8.1 SISTEMAS DE DESFOGUE.....	140
4.8.2 EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.....	141
4.9 OBSERVACIONES DEL EJEMPLO DE APLICACION.....	141
4.9.1 SISTEMA DE DESFOGUE.....	141
4.9.2 EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.....	142
4.9.3 QUEMADORES ELEVADOS.....	142
CONCLUSIONES.....	143
ANEXO "A".	
A.1 DEFINICIONES.....	149
ANEXO "B".	
B.1. CLASIFICACION DE FLUIDOS.....	157
B.2. FLUJO COMPRESIBLE.....	158
B.3. PROCESOS ISOTERMICOS Y ADIABATICOS.....	159
ANEXO "C".	
C.1. HOJA DE DATOS DE TANQUES DE DESFOGUE.....	161
C.2. HOJA DE DATOS DE BOMBAS DE RECUPERACION DE CONDENSADOS.....	163
ANEXO "D".	
D.1. ESQUEMAS DE LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE....	166
D.2. ESQUEMAS DE DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.....	168
BIBLIOGRAFIA.....	170

INTRODUCCION.

Dentro de la gama de actividades que se desarrollan en la Ingeniería Básica de un proyecto Petrolero o Industrial, se involucra el análisis y diseño de los sistemas de seguridad de la planta de proceso, entre los cuales se encuentra el de relevo de presión o desfogue, que tiene una importancia vital para la protección del personal, equipo de proceso y servicios, además de las instalaciones; por esta razón es considerado como un servicio auxiliar principal dentro de la unidad de proceso.

Uno de los trabajos que realiza el Ingeniero Químico en la etapa de diseño de una planta de proceso, es el de proveer seguridad, la cual se brinda de diversas maneras, pero aún, la posibilidad de que un exceso de presión se desarrolle por el proceso en sí, existe en todas las plantas. Por esto es importante conocer las causas que generan este exceso de presión y cuales pueden ser los resultados eventuales que ocasiona.

La presión se puede incrementar por distintas causas, sin embargo este exceso debe ser eliminado a través de un sistema de desfogue, el cual está formado por dispositivos y tuberías que sirven para relevar el exceso de presión, por medio del escape de una determinada masa del fluido, hacia un lugar o sistema, en el que se pueda disponer de está en forma segura.

La tubería de desfogue en la mayoría de los casos, va a manejar fluidos compresibles, los cuales son afectados en forma apreciable por las condiciones cambiantes de presión y temperatura, por lo que se debe examinar la naturaleza del flujo (isotérmico o adiabático) y aplicar las relaciones apropiadas para dimensionamiento de la tubería.

Por otra parte, la Ingeniería del sistema de relevo está basada en guías, normas, prácticas recomendadas y códigos, de los cuales es muy importante que el Ingeniero de diseño tenga conocimiento y sepa interpretar, para efectuar un buen diseño del sistema de tubería y además garantizar que sea lo más seguro posible.

El presente trabajo tiene como finalidad proporcionar a los Ingenieros de diseño recién egresados, los elementos básicos necesarios para obtener la habilidad mínima indispensable y poder efectuar correctamente la especificación de líneas de desfogue en instalaciones petroleras.

En el capítulo uno, se describen aspectos generales sobre un sistema de relevo de presión para fluidos compresibles, entre los cuales se encuentran: tipos de sistemas de relevo, causas principales que dan origen a una sobrepresión, dispositivos empleados para el relevo de presión, condiciones que debe cumplir un sistema de desfogue y algunos criterios de diseño para el dimensionamiento de válvulas de relevo de presión.

El capítulo dos plantea algunas ecuaciones analíticas empleadas para el dimensionamiento de líneas de desfogue en plantas de proceso.

El capítulo tres describe los requisitos de ingeniería mínimos para el diseño de tuberías de desfogue de acuerdo a la sección B31.3 (Tubería para Planta Química y Refinería de Petróleo) del código ASME/ANSI B31 de tuberías a presión.

Por último el capítulo cuatro del trabajo desarrollado, tiene un carácter práctico y muestra en forma general a través de un ejemplo de aplicación la información básica y lineamientos que un Ingeniero de diseño necesita conocer, dentro del área de Ingeniería de Servicios, para realizar el diseño y/o revisión adecuada de cabezales y ramales de desfogue de fluidos compresibles en unidades de proceso.

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE DESFOGUE.

1.0 ALCANCE.

Este capítulo cubre los conceptos y aspectos básicos de un sistema de relevo de presión o sistema de desfogue de Plantas de Proceso, para lo cual se desarrollan los siguientes puntos:

- Tipos de sistemas de relevo de presión.
- Causas de sobrepresión.
- Dispositivos o elementos para el relevo de presión.
- Condiciones que debe satisfacer un sistema de relevo de presión.
- Determinación de la masa a relevar.
- Criterios de diseño de válvulas de relevo de presión.

Si el lector no está familiarizado con la terminología técnica relacionada con un sistema de desfogue, referirse al Anexo "A" donde se presentan algunas definiciones fundamentales.

1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE RELEVO DE PRESION.

Básicamente existen tres tipos de sistemas de relevo de presión, de acuerdo a la forma en que se dispone de la masa relevada.

1.1.1 SISTEMA DE DESCARGA ABIERTO.

Se llama así al sistema en el que la masa relevada entra en contacto directo con la atmósfera al ocurrir el desfogue. Para permitir esto, deben cumplirse ciertos requisitos, entre los cuales están: que la sustancia relevada, no debe reaccionar químicamente con el aire, ni debe formar mezclas explosivas, tóxicas o inflamables con éste.

La localización de una válvula de relevo depende de su servicio y su función de descarga. Con una descarga abierta, una válvula de relevo (VR) de líquido puede ser localizada en el espacio líquido de un recipiente. La descarga hacia abajo es usualmente entubada sin un "loop" o bolsa, hacia un punto del drenaje. Las válvulas de relevo para gas y vapor, con descarga abierta están usualmente localizadas en un punto alto del espacio vapor en el recipiente o tubería.

Para evitar la lluvia, nieve o acumulación de condensado en la línea de descarga se puede proveer una curvatura en la punta o tapa suelta. Una abertura en el punto bajo de la línea de descarga drenará el condensado hacia afuera. Una cabeza estática del líquido no puede permitirse en la línea de descarga porque esto incrementará la presión sobre el lado exterior del disco de la válvula.

Cuando existe la posibilidad de ignición de los gases descargados, se puede instalar una conexión para vapor en el punto bajo de descarga de la VR. La válvula que activa el vapor estará accesible a una distancia segura y la línea de descarga de la VR no debe formar una "bolsa". Las válvulas de seguridad y venteo en un edificio de proceso generalmente descargan a la atmósfera a través de una caja de venteo. El condensado colectado por la misma usualmente es drenado a una cloaca de proceso a nivel de piso.

Para líquidos subenfriados, el diámetro del tubo de salida puede ser del mismo tamaño que la entrada de la VR. Cuando fluye líquido saturado, un aumento de tamaño en el diámetro del tubo es necesario. Los vapores y gases se expanden después de fluir a

traves del asiento de la válvula. Aquí las velocidades del fluido en la línea de descarga permanecen muy abajo de la velocidad sónica, esto se logra con un incremento en el tamaño de línea. Velocidades mayores a la sónica o cercanas a esta, al final de la línea de descarga requieren del uso de un silenciador. Un silenciador o una línea de descarga larga pueden imponer una contrapresión desarrollada en la línea. La caída de presión final en la línea de descarga deberá ser menor que el 10% de la presión de ajuste.

Muchos riesgos pueden surgir con líneas de descarga abiertas. El líquido descargado, vapor o gas puede incendiarse y causar fuego, explosión y de esta forma perjudicar al personal. La condensación del vapor puede ser corrosiva a las estructuras y equipo de los alrededores. Los gases tóxicos pueden contaminar el aire; el líquido "flasheado" puede evaporarse sobre una área amplia y su olor puede ser desagradable, el ruido puede crear problemas.

Con lo anteriormente expuesto se deduce de primera instancia que entran al sistema abierto fluidos como el agua, el aire, el vapor de agua y gases inertes. El único requisito que estos fluidos deben satisfacer es, no provocar ruido excesivo cuando son relevados.

Algunos hidrocarburos pueden ser relevados hacia la atmósfera, pero la decisión de hacerlo o no, depende en gran parte de la difusión que el hidrocarburo tenga en el aire.

1.1.2 SISTEMA DE DESCARGA CERRADO.

Un sistema cerrado consiste de conducciones individuales desde las bridas de descarga de las válvulas de relevo de seguridad al cabezal colector, para conducir la masa relevada hacia donde se pueda disponer de ésta con seguridad. Las conducciones se unen al cabezal en lo más alto. Todo el arreglo de tubería, desde la salida de la válvula de relevo hasta el punto terminal del cabezal, deberá tener drene propio. Cuando una "bolsa" en un punto bajo de la línea de relevo sea inevitable, una "pierna" colectora de líquido se puede proveer, la cual consiste en un tubo vertical

insertado al cabezal principal por la parte inferior, para captar el condensado que se enviará al drenaje cerrado.

El número de combinaciones de sistemas puede estar influenciado por: la preferencia del cliente, economía, sistema de relevo global en una planta química compleja y la capacidad sobrante disponible en cabezales de relevo existentes.

Se debe tener en cuenta en los sistemas de relevo lo siguiente:

TEMPERATURAS DE LOS FLUIDOS. Material de construcción, especificaciones, soportes y disposición pueden diferir entre un sistema de relevo caliente y uno frío.

MATERIAL DE TUBERIA. A causa de la temperatura y corrosividad, algunos sistemas requieren aleación de tubería. Puede ser más económico tener sistemas separados, en los cuales acero al carbono pueda usarse.

VISCOSIDADES. Descargas de válvulas de relevo de viscosidades normales pueden separarse de las descargas de alta viscosidad. Las válvulas de relevo y tuberías en servicios de alta viscosidad usualmente necesitan más mantenimiento, posiblemente un trazado de vapor, aberturas para limpieza por fuera en tuberías, conexiones externas de vapor, válvulas de relevo adicionales y válvulas de bloqueo.

SISTEMAS DE CONDENSACION DE VAPOR. En estos casos se deben considerar provisiones para trasladar el líquido y tener arreglos con pendiente para flujo por gravedad. Gases no condensables no lo requieren. Sin embargo, un sistema común puede ser diseñado con los requerimientos del sistema de condensación.

ALTA PRESION. Cuando se esperan frecuentes descargas de alta presión se debe considerar la posibilidad de separarlas de las descargas de baja presión, para tener sistemas de relevo cerrados independientes, con el objeto de optimizar diámetros.

Un cabezal cerrado para válvulas de relevo se dimensiona como un sistema de colección donde los fluidos en las tuberías varían y son intermitentes. Un diagrama de flujo del sistema de relevo de presión deberá dibujarse con las condiciones de las válvulas de relevo en secuencia real y geográfica. Un cabezal colector de líquido puede dimensionarse como una línea de flujo por gravedad. Con líneas de gas, el requerimiento básico es que la descarga de las válvulas de relevo no impongan contrapresión excesiva en el cabezal.

Todas las válvulas de relevo, en servicio de líquido o vapor, deberán estar localizadas arriba del cabezal colector, con conducciones de drene propias. Las válvulas deberán estar convenientemente accesibles desde una plataforma.

Un cabezal cerrado de válvulas de relevo puede terminar en un tanque de desfogue de alta o baja presión, un tanque o fosa de apagado, un quemador sin humo, cloaca de proceso o en una línea o equipo de proceso conveniente de baja presión.

1.1.3 SISTEMA A RECUPERACION.

Cuando el producto que se releva es de un alto valor o su combustión puede provocar más riesgos, debe ser conducido hacia un sistema de recuperación donde se tendrán los equipos y condiciones más adecuadas para la recuperación del producto, su neutralización o su conversión hacia productos menos riesgosos, que si puedan ser quemados o liberados a la atmósfera.

Comúnmente, el desfogue líquido es enviado desde el tanque de desfogue, hacia un separador para realimentarse hacia alguna planta escogida de acuerdo a las características del líquido desfogado.

1.2 CAUSAS Y PREVENCION DE SOBREPRESION.

En este punto se mencionan brevemente las causas principales de sobrepresión en equipo de proceso y plantean lineamientos en el diseño de planta para minimizar los efectos de las mismas. El

análisis de las causas y magnitudes de sobrepresión es un estudio complejo y especial de balances de materia y energía en un sistema de proceso. Un desequilibrio de la proporción del flujo de fluido que entra y sale de un equipo de proceso y recipientes durante la operación resulta en una acumulación de líquidos o vapores y pueden producir una presión que exceda la de operación. Si no es controlada, deberá ser relevada a través de un dispositivo de relevo a una presión que no exceda un cierto porcentaje de la presión de trabajo máxima permisible.

Los recipientes a presión, intercambiadores de calor, equipo en operación y tubería son diseñados para contener la presión del sistema. El diseño está basado en la presión máxima permisible a la temperatura de operación, el efecto de alguna combinación de cargas mecánicas, probablemente ocurra y la diferencia entre la presión de operación y ajuste del dispositivo de seguridad exista. El diseñador del sistema de proceso desarrollará medios para impedir que la presión en alguna pieza del equipo exceda la presión acumulada máxima permisible. Las causas principales de sobrepresión listadas a continuación servirán como una guía, generalmente aceptadas en prácticas de seguridad.

1.2.1 DESCARGA BLOQUEADA EN RECIPIENTES.

El cierre inadvertido de una válvula de bloqueo en la salida de un recipiente a presión mientras que la corriente de llegada a la planta opera puede exponer al recipiente a que la presión exceda la presión de trabajo máxima permisible. Un dispositivo de relevo de presión se requiere si la válvula de bloqueo está trabada o sellada en la posición cerrada, ya que esto puede ocasionar una sobrepresión. Toda válvula de control deberá considerarse como sujeta a una operación inadvertida. Generalmente la omisión de las válvulas de bloqueo interpuestas entre recipientes en serie pueden simplificar los requerimientos de relevo de presión.

Para la capacidad de diseño del sistema puede considerarse que una vez que la falla se presenta, las válvulas de control normalmente abren y funcionan, y no son afectadas por la causa principal de falla, permaneciendo en operación.

1.2.2 ABERTURA INADVERTIDA DE UNA VALVULA.

La abertura inadvertida de alguna válvula de una fuente de alta presión, tal como fluidos de proceso o vapor de alta presión, deberá considerarse. Esta acción puede requerir capacidad de relevo de presión a menos que las provisiones sean hechas para fijar o sellar la válvula en su posición cerrada. La falla de una "check" al cerrar puede tener el mismo efecto que una abertura inadvertida de válvula.

1.2.3 FALLA DE SERVICIOS.

Las consecuencias desarrolladas de las pérdidas de algún servicio auxiliar, ya sea en toda la planta o localmente, deberá ser evaluado cuidadosamente. Los servicios auxiliares que normalmente pueden fallar, así como una lista parcial del equipo afectado que puede causar sobrepresión, incluye lo siguiente:

TABLA 1-1. FALLA DE SERVICIOS AUXILIARES.

FALLA DE SERVICIO:	EQUIPO AFECTADO:
Electricidad.....	<ul style="list-style-type: none">- Bombas para circulación de agua de enfriamiento, alimentación a calderas, apagado o reflujo.- Ventiladores para intercambiadores enfriados por aire, torres de enfriamiento o aire de combustión.- Compresores para vapor de proceso, aire de instrumentos, vacío o refrigeración.- Instrumentación.- Válvulas operadas por motor.

TABLA 1-1. FALLA DE SERVICIOS AUXILIARES. (Continuación).

FALLA DE SERVICIO:	EQUIPO AFECTADO:
Agua de enfriamiento..	<ul style="list-style-type: none"> - Condensadores para proceso o servicio auxiliar. - Enfriadores para fluidos de proceso, aceite lubricante o aceite de sello. - Chaquetas de enfriamiento sobre equipo reciprocante o rotatorio.
Aire de instrumentos..	<ul style="list-style-type: none"> - Transmisores y controladores. - Válvulas reguladoras de proceso (válvulas de control). - Sistemas de paro y alarma.
Vapor.....	<ul style="list-style-type: none"> - Accionadores de turbina para bombas, compresores, sopladores, ventiladores de aire para combustión o generadores eléctricos - Rehervidores. - Bombas reciprocantes. - Inyección de vapor directo al proceso. - Eyectores.
Combustible (gas, aceite, etc.)..	<ul style="list-style-type: none"> - Calderas. - Precalentadores. - Accionadores para bombas o generadores eléctricos. - Compresores. - Turbinas de gas.
Gas inerte.....	<ul style="list-style-type: none"> - Sellos. - Reactores catalíticos. - Purga para instrumentos y equipo

1.2.4 FALLA PARCIAL.

La evaluación del efecto de sobrepresión, atribuido a las pérdidas de un servicio auxiliar particular, incluirá la cadena de eventos que puedan ocurrir y el tiempo de reacción involucrado. En situaciones donde el equipo falla pero opera en paralelo con un equipo que tiene una fuente de energía diferente, el crédito de la operación puede ser atribuida para el equipo inafectado y funcionando que extiende el servicio y lo conserva. Por ejemplo considerar un sistema de circulación de agua de enfriamiento, consistente de dos bombas en servicio paralelo y operación continua, pero cuyos accionadores no tienen relacionadas las fuentes de poder. Si una de las dos fuentes de energía disponibles falla, el crédito parcial puede ser dado a la otra fuente de poder que continúa en operación. La cantidad de exceso de vapor generado debido a la falla de energía depende solamente de la cantidad de agua de enfriamiento perdida. Como otro ejemplo considerar, dos bombas de agua de enfriamiento en servicio paralelo; una bomba proporciona el flujo total de agua de enfriamiento mientras que la segunda esta en servicio de reserva ("standby"). La segunda bomba tiene una fuente de energía separada y esta equipada con controles para arranque automático sobre la pérdida de la primera bomba. El crédito protector no es dado a la bomba de reserva debido a que el dispositivo de reserva no se considera totalmente seguro.

Después del análisis detallado del sistema en particular el crédito protector parcial o total puede ser tomado por paralelo.

1.2.5 FALLAS MECANICAS O ELECTRICAS.

La falla de equipo mecánico o eléctrico que proporciona enfriamiento o condensación en corrientes de proceso puede causar sobrepresión en recipientes de proceso.

1.2.6 PERDIDA DE VENTILADORES.

Ocasionalmente, ventiladores sobre intercambiadores de calor enfriados por aire o torres de enfriamiento llegan a ser inoperantes como un resultado de la falla mecánica o de potencia. Sobre torres de enfriamiento y sobre intercambiadores enfriados por aire donde la operación independiente de las rejillas de ventilación debe ser mantenida, el crédito para el efecto de enfriamiento puede obtenerse por convección y radiación en aire quieto a condiciones ambientales.

1.2.7 PERDIDAS DE CALOR EN SISTEMAS FRACCIONADORES EN SERIE.

En fraccionadores en serie, por ejemplo, donde los fondos de la primera columna son alimentados hacia la segunda columna y los fondos de la segunda alimentados hacia la tercera es posible que las pérdidas de calor de entrada a una columna sobrepresionen la columna siguiente. Las pérdidas de calor resulta en que algo de las colas ligeras mezcladas con los fondos sean transferidas a la columna siguiente como alimento. Bajo esta circunstancia, la carga del domo de la segunda columna puede consistir de su carga de vapor normal, más las colas ligeras de la primera columna. Si la segunda columna no tiene capacidad de condensación para la carga de vapor adicional, una presión excesiva se presentará.

1.2.8 PERDIDA DE AIRE DE INSTRUMENTOS O POTENCIA ELECTRICA.

La complejidad de la automatización de instrumentos sobre unidades de proceso requiere la provisión de fuentes continuas y seguras de aire o potencia eléctrica, o ambas, para una operación segura. Donde un compresor de aire de instrumentos único está instalado, un receptor-acumulador de aire de tamaño amplio puede ser suficiente si está suplementado por una estación reductora de presión de emergencia desde el sistema de aire de planta.

El interruptor electrónico o instrumentos eléctricos deberán estar interconectados con una fuente eléctrica de emergencia de corriente alterna o directa. La condición de falla-segura de cada válvula de control deberá ser evaluada. La falla segura

("fail-safe") se refiere a la acción de la válvula de control (resorte-abierto, resorte-cerrado o una posición fija) sobre las pérdidas de aire de operación o potencia eléctrica. Para minimizar la probabilidad de sobrepresión, cada válvula de control tendrá su característica de falla-segura establecida como una parte integral del diseño de planta.

1.2.9 FALLA DE REFLUJO.

Las pérdidas de reflujo como resultado de la falla de una bomba o instrumento puede causar sobrepresión en una columna debido a la inundación del condensador o a pérdidas del enfriador en el proceso de fraccionamiento.

1.2.10 ENTRADA ANORMAL DE CALOR A REHERVIDORES.

Los rehervidores son diseñados con una entrada de calor especificada. Cuando están nuevos o limpios, puede ocurrir una entrada de calor adicional superior a la diseño normal.

En el suceso de falla de control de temperatura, la generación de vapor puede exceder la capacidad del sistema de proceso para condensar o de otro modo absorber el aumento de presión, en el cual puede incluir no-condensables debido al sobrecalentamiento.

1.2.11 FALLA DE TUBOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.

En intercambiadores de calor de tubos y coraza, los tubos están sujetos a fallar debido a un número de causas, algunas de las cuales son choque térmico, vibración y corrosión. Cualquiera que sea la causa existe la posibilidad de que la corriente de alta presión sobrepresione el equipo en el lado de baja presión del intercambiador. El diseño económico usualmente dicta que la corriente de alta presión fluya a través de los tubos ya que esto puede resultar en una coraza delgada, pero no siempre es el caso. Las relaciones de presión deben conocerse para evaluar propiamente los resultados de la falla de tubo. La capacidad del sistema de baja presión para absorber este escape será determinada. Ya sea que un relevo de presión adicional se requiera si el flujo debido a la ruptura de tubo fuera desahogado hacia la corriente de baja

presión.

1.2.12 ONDAS DE PRESION TRANSITORIAS.

A). GOLPETEO DE AGUA.

La probabilidad de ondas de choque hidráulico, comúnmente llamado golpeteo de agua que ocurren en algún sistema lleno de líquido será evaluado cuidadosamente.

El golpeteo de agua es un tipo de sobrepresión el cual no puede ser controlado razonablemente por válvulas de relevo de presión ya que su tiempo de respuesta es demasiado lento normalmente. Los picos oscilantes de presión, medidos en milisegundos, pueden aumentar muchas veces la presión de operación normal. Estas ondas de presión dañan los recipientes a presión, donde dispositivos de seguridad propios no han sido incorporados.

El golpeteo de agua es frecuentemente causado por la acción de un cierre-rápido de válvulas. Donde el golpeteo de agua puede ocurrir se recomienda el uso de amortiguadores de pulsación.

B). GOLPETEO DE VAPOR.

Una onda de presión de pico oscilante comúnmente llamada golpeteo de vapor y similar al golpeteo de agua puede ocurrir en tubería que contiene fluidos compresibles. La ocurrencia más común es generalmente iniciada por el cierre rápido de la válvula. Esta onda de presión oscilante ocurre en milisegundos con un posible aumento de presión de varias veces la presión de operación normal, resultando vibración y movimiento violento de tubería y una posible ruptura de equipo. Las válvulas de relevo de presión no pueden usarse efectivamente como un dispositivo de protección debido a su tiempo de respuesta lento. Evitar el uso de válvulas de cierre rápido para prevenir el golpeteo de vapor.

1.2.13 EXPANSION HIDRAULICA.

La expansión hidráulica es el incremento de volumen del líquido causado por un aumento o disminución de la temperatura resulta de varias causas, la más común de las cuales ocurre cuando:

La tubería o recipiente llenos con líquido frío son bloqueados y subsecuentemente son calentados por serpentines de trazado de vapor, ganancia de calor del ambiente o fuego.

Un intercambiador es bloqueado sobre el lado frío, con flujo en el lado caliente.

La tubería o recipientes llenos con líquido a temperatura cercana a la ambiente y mientras son calentados por radiación solar directa.

Hay algunas instalaciones, tales como circuitos de enfriamiento, donde el esquema de proceso, arreglos de equipo, métodos y procedimientos de operación hacen factible la eliminación de los dispositivos de relevo de presión por expansión hidráulica los cuales normalmente se requieren sobre el lado frío de un intercambiador de tubos y coraza.

1.3 DISPOSITIVOS O ELEMENTOS PARA EL RELEVO DE PRESION.

1.3.1 VALVULAS DE RELEVO.

Las válvulas de relevo tienen los discos cargados, que cierran la entrada a la válvula contra la fuente de presión. En este tipo de válvula, a la presión de ajuste el disco puede levantarse ligeramente del asiento y permitir que una cantidad pequeña del fluido pase. Como una presión alta se acumula en el recipiente, el resorte es comprimido más, permitiendo que el disco se levante. Así, la válvula de relevo suministra una área adicional la cual permite un incremento del flujo de fluido. Para válvulas de relevo usuales de alta elevación, ésta es mayor que un cuarto del diámetro de la boquilla, y como resultado, el área de flujo entre la boquilla y el disco de la válvula es mayor que el área de la

boquilla.

Las válvulas de relevo de líquido alcanzan su capacidad máxima a 25% de sobrepresión. Debido a las variaciones posibles de forma, en el diseño del disco y guías, el área de restricción al flujo es difícil de calcular. Los coeficientes de descarga también varían con el diseño.

Las válvulas de relevo de líquido que son usadas en servicio de vapor son calibradas al flujo.

El levantamiento gradual del disco de la válvula con el incremento de la presión corriente arriba por todas partes es útil en un rango, siendo una característica de esta válvula la cual se distingue de la válvula de seguridad en la cual el disco consigue su elevación con baja sobrepresión.

Algunas válvulas de relevo tienen orificios de entrada rectos con el disco guiado bajo el asiento. Este arreglo es satisfactorio para fluidos limpios, pero debido a que las guías están en contacto con el fluido que será relevado, la corrosión u otro depósito ajeno puede causar que la guía se pegue. Esta situación provocará algunas veces una falla completa cuando la válvula requiera abrir.

1.3.2 VALVULAS DE SEGURIDAD Y VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD.

Las válvulas de seguridad y válvulas de relevo de seguridad son dispositivos de relevo de presión para gases o vapores las cuales han sido específicamente diseñados para dar una abertura completa con una pequeña sobrepresión. Una boquilla es generalmente usada en el lado de entrada de la válvula. La cabeza estática (desarrollada por el orificio secundario encima de una gran área del disco) y la energía cinética del gas son utilizadas para vencer la fuerza del resorte sobre el disco mientras lo eleva, resultando en una acción de disparo ("pop action").

Las válvulas de relevo de seguridad se clasifican como convencionales o balanceadas, dependiendo del efecto de la contrapresión sobre su funcionamiento.

Los resortes usados en las refinarias de la industria del petróleo son usualmente externos y cubiertos con bonete: (1) para protegerlos de la intemperie y otros agentes corrosivos, y (2) para proveer medios de coleccionar fugas alrededor del vástago ("stem") o disco guía.

A). VALVULAS DE SEGURIDAD.

En la industria, el término válvula de seguridad se aplica en general a las utilizadas en servicio para vapor de calderas y suele tener las siguientes características: conexiones de entrada con brida o extremos soldados, boquilla completa o semiboquilla, resorte descubierto y palanca de elevación.

Las válvulas de seguridad utilizadas para vapor sobrecalentado de más de 450 °F deben tener cuerpos, bonetes y vástagos de acero al carbono o de mejor calidad y los resortes deben estar totalmente al descubierto.

Las válvulas de boquilla completa tienen conexiones con brida de cara realzada o de junta de anillo. La base de la boquilla forma la cara realzada de la brida. Solo la boquilla y el disco están en contacto con el fluido cuando está cerrada la válvula. Las boquillas y discos suelen ser de acero inoxidable o de aleación, según sea la temperatura de servicio.

Las válvulas de semiboquilla tienen conexiones de extremo soldado o de brida con cara realzada o plana. la boquilla es parte de la brida. La válvula con cara plana se utiliza muy poco en las plantas modernas porque el cuerpo de hierro fundido no cumple con la mayor parte de las especificaciones para tubería.

B). VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD CONVENCIONALES.

Las válvulas de relevo de seguridad convencionales pueden tener el bonete especificado venteado a la atmósfera o al lado de descarga de la válvula (ver Fig. 1-1.). El bonete de la válvula está usualmente venteado internamente a la salida.

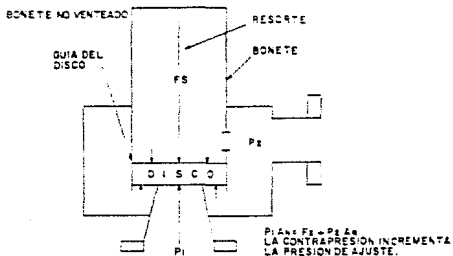
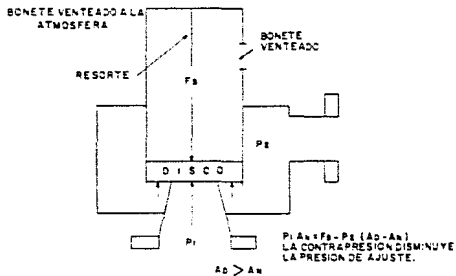


FIG. 1-1 EFECTO DE LA CONTRAPRESION SOBRE LA PRESION DE AJUSTE DE LAS VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD.

Las válvulas de relevo de seguridad convencionales han sido empleadas en la descarga a través de un extremo corto de tubería hacia la atmósfera o a través de un sistema múltiple de baja presión que transportará la descarga de una o más válvulas a un sitio remoto para disposición. Sin embargo, la contrapresión sobre el lado de la descarga de una válvula de relevo de seguridad convencional puede afectar su funcionamiento, presión de apertura y flujo.

La mayoría de las válvulas de relevo de seguridad convencionales disponibles para la industria del petróleo tienen discos los cuales tienen más grande A_b que el área del asiento de la boquilla A_n . El efecto de la contrapresión sobre tales válvulas se ilustra en la Fig. 1-1. Si el bonete está venteado a la presión atmosférica, la contrapresión actúa con la presión del recipiente, para vencer la fuerza del resorte, así hace la presión de relevo menor.

Sin embargo, si el bonete del resorte está venteado a la descarga de la válvula en lugar de a la atmósfera, la contrapresión actúa con la presión del resorte para incrementar la presión de apertura. Si la contrapresión fuera constante, se tomará en cuenta en calibrar la presión de ajuste. En operación la contrapresión no es constante cuando un número de válvulas descargan hacia un cabezal distribuidor ("manifold").

Las válvulas de relevo de seguridad convencionales, normalmente instaladas, muestran un funcionamiento no satisfactorio bajo contrapresión variable, a causa de las mismas fuerzas de desequilibrio las cuales afectan la presión de ajuste. A contrapresiones relativamente bajas el flujo de la válvula cae rápidamente comparado con el flujo para la boquilla teórica, tales válvulas están representadas por las ilustraciones en la Fig. 1-1.

CO. VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD BALANCEADAS.

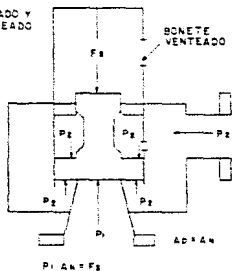
Las válvulas de relevo de seguridad balanceadas incorporan medios para minimizar el efecto de la contrapresión sobre las características de funcionamiento presión de apertura, presión de cierre, elevación y capacidad de relevo.

Estas válvulas son de dos tipos, el tipo pistón y el de fuelles, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 1-2. En el tipo pistón del cual algunas variantes se fabrican, la guía está venteada, así que la contrapresión sobre las caras opuestas del disco de la válvula se cancelan entre sí; la cara superior del pistón, la cual tiene la misma área (A_p) que el área del asiento de la boquilla (A_N), está sujeta a presión atmosférica por el venteo del bonete.

En las válvulas balanceadas tipo fuelles, el área efectiva de los fuelles (A_f) es la misma que el área del asiento de la boquilla (A_N) y por adherencia al cuerpo de la válvula, excluye la contrapresión que actúa sobre el lado superior del área del disco. El área del disco se extiende más allá de los fuelles y anula el área del asiento, así que no hay fuerzas desequilibradas bajo alguna presión corriente abajo. Los fuelles cubren el disco guía así que excluyen el fluido de trabajo del bonete. Para evitar de una posible falla de los fuelles o fuga, el bonete deberá estar venteado separadamente de la descarga.

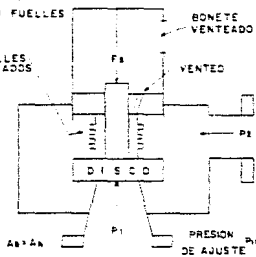
Las válvulas de relevo de seguridad balanceadas hacen posible presiones más altas en el cabezal ("manifold") de descarga. Ambos tipos de válvulas balanceadas mostradas en la Fig. 1-2., deberán tener bonetes venteados suficientemente grandes para asegurar contrapresiones no perceptibles durante las condiciones de flujo de diseño. Si la válvula está en una localización en la cual el venteo atmosférico presenta un riesgo, el venteo deberá estar entubado a una localización segura independiente del sistema de descarga de la válvula.

DISCO BALANCEADO Y
TIPO PISTON VENTEAADO



TIPO FUELLES

FUELLES
VENTEAADOS



PRESION P_1 F_s FUERZA DEL RESORTE
DE AJUSTE A_s AREA DEL ASIEN TO DE LA BOO

LA CONTRAPRESION TIENE MUY POCO EFECTO SOBRE LA PRESION DE AJUSTE

FIG. 1-2 EFECTO DE LA CONTRAPRESION SOBRE LA PRESION DE AJUSTE DE LAS VALVULAS DE RELEVO DE SEGURIDAD BALANCEADAS.

1.3.3 OTROS TIPOS DE VALVULAS DE SEGURIDAD.

En adición a las antes mencionadas válvulas de relevo de seguridad y seguridad las cuales son integrales, hay varios tipos de válvulas de seguridad operadas por piloto. En una válvula semejante el resorte proporciona aproximadamente 75% de la carga al disco; el gas o vapor suministra el resto a través de una válvula piloto. Cuando la presión en el recipiente alcanza la presión de ajuste, la válvula piloto releva la presión del gas (la cual contribuye con la carga al disco) a la atmósfera causando que la válvula de seguridad abra de par en par. Ambas la válvula principal y la piloto contienen membranas flexibles y consecuentemente, están limitadas a servicio de temperatura atmosférica a menos que las membranas estén protegidas contra altas temperaturas.

Debido a que el resorte de la válvula y guías están expuestas al fluido de trabajo, este tipo de válvula no es usada en servicio de refinería.

1.3.4 DISPOSITIVOS DE DISCOS DE RUPTURA.

Para una definición de disco de ruptura ver el Anexo "A". Este dispositivo algunas veces se usa en servicio corrosivo para proteger el lado de entrada a las válvulas de relevo de presión. La corrosión y/o deformación, puede disminuir su vida de servicio.

Los discos se hacen de varios metales y están disponibles con un recubrimiento sobre uno o ambos lados para resistencia a la corrosión. Pero el uso de los discos de ruptura puede ser limitado solo porque todo el contenido de un sistema de proceso puede perderse cuando el disco se rompa. Sin embargo, cuando tales discos son instalados en paralelo con una válvula de relevo, capacidad adicional se hace disponible para condiciones de operación extremas.

Muchos tipos de discos de ruptura son fabricados. El disco preabultado Fig. 1-3., ha ganado amplia aceptación. La Fig. 1-4., muestra un disco de ruptura con tres componentes consistiendo de un soporte vacío, el disco de ruptura y el anillo de retención. La presión de ruptura varía directamente con el espesor del disco e inversamente con el diámetro.

Los materiales de construcción más comunes son: aluminio, monel, inconel y acero inoxidable austenítico. Sin embargo, los discos son algunas veces se hacen de cobre, plata, oro, platino, tantalio y titanio.

La amplia variedad de requerimientos necesita que la mercancia de los fabricantes de discos de ruptura incrementen en un rango los espesores del metal aproximadamente de 0.002 a 0.050 pulgadas. Los discos de ruptura están fácilmente, pero no exclusivamente disponibles en tamaños de 1/2 a 24 pulgadas de diámetro. Algunos fabricantes enlistan un rango de tamaño de 1/8 a 44 pulgadas.

Un disco de 1/2 pulgada, puede tener un rango de presión de ruptura mínima de 65 a 850 psig, dependiendo del metal del cual se fabrique. Un disco de 24 pulgadas, puede romperse abajo de 3 a 36 psig. Las presiones de ruptura de 6,000 psig son fácilmente disponibles sobre tamaños pequeños, pero presiones de ruptura más altas de 700 psig son raras sobre tamaños grandes.

Las bridas diseñadas para soportar el disco e incorporarlo hacia el sistema de presión son de varios tipos. Las más comunes son: el tipo empernada (Fig. 1-5.), el tipo unión (Fig. 1-6.) y el tipo tornillo (Fig. 1-7.). Estas bridas se incorporan hacia el sistema de presión por conexiones soldadas o roscadas.

El tipo empernada se usa para todos los tamaños desde 1/2 a 24 pulgadas, en una variedad de rangos de presión. El tipo unión se limita a tamaños arriba de 2 pulgadas. Y el tipo tornillo arriba de 1 pulgada.

DISCOS DE RUPTURA



FIG.1-3 PREABULTADO



FIG.1-4 TRES COMPONENTES

TIPOS DE BRIDAS

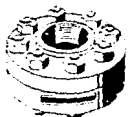


FIG.1-5 BRIDA EMPERNADA



FIG.1-6 TIPO UNION



FIG.1-7 TIPO TORNILLO

TIPOS DE BRIDAS Y DISCOS DE RUPTURA

En adición a la mejor resistencia a la corrosión, los discos de ruptura tienen las siguientes ventajas sobre las válvulas de relevo de presión: no hay fugas hasta que falla, conveniente para servicio de líquido viscoso, mejor manejo de explosiones y detonaciones ligeras, son menos afectados por viscosidades altas.

1.3.5 CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS DISPOSITIVOS DE RELEVO DE PRESION.

Para tener un panorama global de los dispositivos de relevo de presión se muestra a continuación la Tabla 1-2, en la cual se indican las características generales, ventajas, desventajas y usos de estos dispositivos.

TABLA 1-2. DISPOSITIVOS DE RELEVO DE PRESION.

TIPO	GENERAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SERVICIO RECOMENDADO
VALVULA DE SEGURIDAD.	DISPONIBLE CON SEMIBOQUILLA O BOQUILLA COMPLETA. TIENE RESORTE DECOMPLETO Y PALANCA DE ELEVACION.	BONETE ABIERTO AISELA AL RESORTE DE LA TEMPERATURA DEL PROCESO. VUELVE A CERRAR DESPUES DE DESCARGAR.	SOLO PARA VAPOR DE AGUA. NO HAY CON FUELLER BALANCEADOS. PERO NO DESCARGA EN SISTEMAS DERRAPOS.	CALDERAS Y SERVICIO GENERAL CON VAPOR AGUA.
VALVULA DE RELEVO DE SEGURIDAD CON BOQUILLA COMPLETA.	LA BOQUILLA ES LA CARA REALIZADA DE LA BRIDA. SE EMPLEA CON ANILLOS Y VAPORES. TIENE BONETE DERRAPOS.	CUERPO DE LA VALVULA ATORNILLADO DEL FLUJO DE PROCESO CUANDO NO ESTA DESCARGANDO. DISPONIBLE CON FUELLER BALANCEADOS. VUELVE A CERRAR DESPUES DE DESCARGAR.	SOLO PARA CONEXIONES DE CARA REALIZADA. NO ES BUENA PARA POLIMEROS. PRESION MAXIMA DE ENTRADA ALREDOR DE 1000 PSI.	RECIPIENTES A PRESION SIN FUELLER. ASME. DESCARGA DE BOMBAS Y COMPRESORES. CALDERAS.
VALVULA DE RELEVO DE SEGURIDAD DE SEMIBOQUILLA.	PARA LUBRICACION Y VAPORES LA BOQUILLA ES UN INSERTO ROSCADO EN LA BASE. LAS CONEXIONES PUEDEN SER DE BRIDA. EXTREMO SOLDADO O ROSCADO.	MAS BARATA QUE LA DE BOQUILLA COMPLETA. DISPONIBLE CON CARA PLANA PARA INSTALAR EN BRIDAS DE HIERRO FORJADO. DISPONIBLE CON EXTREMOS SOLDADOS.	NO ES BUENA PARA POLIMEROS. PRESION MAXIMA DE ENTRADA UNAS 1500 PSI. NO LAS HAY CON FUELLER BALANCEADO.	RECIPIENTES A PRESION SIN FUELLER. ASME. DESCARGA DE BOMBAS Y COMPRESORES. CALDERAS.
VALVULA DE RELEVO CON BOQUILLA EN LA BASE.	BOQUILLA FORMADA CON LA BASE DE LA VALVULA. TIENE CONEXIONES ROSCADAS. PERO TAMBIEN CON BRIDA O EXTREMOS SOLDADOS. AREA PER COMPLETO CON UNO DE SOBREPRESION. TIENE BONETE DERRAPOS.	DISPONIBLE EN TALLERES PEQUEÑOS. BASTO COSTO. VUELVE A CERRAR DESPUES DE DESCARGAR. ANCLAJE PARA MATERIALES TENDIDOS.	NO ES BUENA PARA POLIMEROS. PRESION MAXIMA EN LA ENTRADA 2000 PSI. NO LAS HAY CON FUELLER. NO ES RECOMENDADA PARA CALDERAS.	DESCARGA DE BOMBAS. RELEVIO TERMINOS DE TUBOS. INTERCAMBIADORES DE CALOR Y CALENTADORES DE AGUA.
VALVULA DE RELEVO PARA SERVICIO CON CLOPO.	INTERIOR PROTECTO CON DOS DIAFRAGMAS. UN DIAFRAGMA AISLA LA VALVULA DEL FLUJO DE PROCESO. EL OTRO NO PERMITE LA SALIDA A LA ATMOSFERA.	SE PUEDE EMPLEAR EN SERVICIOS CON CORROSIVOS. EL DIAFRAGMA DE ENTRADA SE DESGARRA DESPUES DE QUE SE ROMPE EL PASADIZO DE LA CULTURA. EL CLOPO VUELVE A CERRARSE DESPUES DE DESCARGAR.	NO LAS HAY DE TIPO BALANCEADO. PRESION MAXIMA DE ENTRADA ALREDOR DE 200 PSI.	SERVICIO CON CLOPO OTROS PRODUCTOS TENDIDOS CORROSIVOS. DAPRE TALLER Y SERVICIOS.

TABLA 1-2. DISPOSITIVOS DE RELIEVO DE PRESION. (CONTINUACION).

TIPO	GENERAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SERVICIO RECOMENDADO
VALVULA DE RELIEVO DE SEGURIDAD OPERADA POR PISTON.	CONSIESTE EN DOS VALVULAS, LA VALVULA PILOTO CONTROLA A LA PRINCIPAL.	PUEDEN SOPORTAR ALTA PRESION DE ENTRADA, SE PUEDE AJUSTAR PARA DESCARGAR CERCA DE LA PRESION DE OPERACION, PUEDE TENER OPERACION REMOTA PARA DESCARGA MANUAL.	NO ES BUENA PARA TEMPERATURAS DE MAS DE 250 F., NO SE RECOMIENDA PARA LIQUIDOS SUAVES, PASTAS AGUJAS Y POLIMEROS.	RECIPIENTES A PRESION SIN FLEJES, AQUEL EN ESPECIAL SERVICIO CON GAS A ALTA PRESION, PARA COMPRESORES DE GASOLINOS.
DISCO DE ALFARFA.	CONSIESTE EN LA DISCO DE ALFARFA QUE ESTE ENTRE OTRAS, HAY DOS TIPOS PRINCIPALES: PRECARGADO Y CURVATURA INVERSA.	NO HAY PARTES MOVILES QUE SE PUELEN DESTRUIR, BUENO PARA PASTAS AGUJAS, POLIMEROS Y MATERIALES TONICOS, NO HAY FUGAS, PUEDE MANEJAR CAPACIDADES GRANDES, SIRVE PARA ALTAS PRESIONES, RESPUESTA RAPIDA Y PUEDE DESCARGAR EXPLOSIONES O DETONACIONES.	BUENOS A PARTIR POR DEFUERZA SE DESCARGA TODA LA PRESION DEL SISTEMA CUANDO SE ROMPE EL DISCO Y HAY QUE DETENER LA UNIDAD.	RECIPIENTES A PRESION SIN FLEJES, AQUEL DISPOSITIVO PRIMARIO DE RELIEVO PARA PASTAS AGUJAS O POLIMEROS, O EN SERIE CON VALVULAS DE RELIEVO PARA LOS ANTERIORES, SERVICIOS A ALTA PRESION, EXPLOSIONES INTERNAS, DETONACIONES.
REPTAFRACO DE TANGUE.	SUELE SER DE DOBLE FUNCION, COMENADA PARA PRESION Y VACIO, EN GENERAL SON DE PALETA CON PESOS.	SE PUEDE GRABAR PARA OPERAR A LA PRESION DE OPERACION, MUY SENSIBLE, SE GRABAN EN UNICA POR FULSADA CUADRADA O FRACCION.	SOLC PARA SERVICIO DE BAJA PRESION, LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION PUEDEN SER FOCILEM Y SE EMPLEAN EN SERVICIO CON PRODUCTOS QUIMICOS.	TANGUES DE PETROLEO API-6000 SOBRE EL SUELO, SIRVE PARA CUALQUIER TANGUE DE ALMACENAMIENTO A PRESION ATMOSFERICA.
VALVULA DE RELIEVO TIPO ATMOSFERICO.	DOS TIPOS PASIVOS: PALETA CON PESOS Y OROVIVOS, MULTIFUNCION, SE PARA SERVICIO CON VACIO Y BAJA PRESION.	GRAN CAPACIDAD DE RELIEVO A BAJA COSTO.	EN TIPO TAN ESPECIAL LIMITA SUS APLICACIONES A SERVICIO CON VACIO Y BAJA PRESION.	CONDENSADORES DE SUPERFICIE EN LA SALIDA DE TURBINAS DE VAPOR CON CONDENSACION, SERVICIO PARA SERVICIO CON VACIO A BAJA PRESION EN EL QUE SE REQUIERE DESCARGAS GRANDES CANTIDADES.

1.4 CONDICIONES QUE DEBE SATISFACER UN SISTEMA DE RELEVO.

Normalmente, los sistemas de relevo de presión para plantas de proceso guardan los reglamentos del ASME, API o una de las asociaciones de aseguramiento, en adición a las reglas locales y reglamentos que puedan aplicar.

En un gran número de casos, las consideraciones de diseño resultan de códigos, autoridades y reglamentos, que establecen el tipo básico, calibre y por lo tanto el costo del sistema de relevo de presión. Esto no pretende que los códigos y tales fórmulas puedan estipular o sean aplicadas ciegamente sin un análisis cuidadoso de la situación particular, sin embargo esto significa un beneficio al considerar cuidadosamente todos los códigos aplicables, y donde sea factible seleccionar el más conveniente a la instalación particular.

Dado que un sistema de relevo de presión, se encuentra formado por dispositivos y tuberías que sirven para aliviar el exceso de presión, por medio del escape o desfogue de una masa determinada de fluido hacia un lugar o sistema, en el cual se pueda disponer de ésta en forma segura, éste deberá cumplir con los siguientes objetivos básicos:

- a). Infundir la seguridad del personal en operación con respecto a la sobrepresión.
- b). Impedir la destrucción de la inversión de capital debido a la sobrepresión.
- c). Evitar la demanda por daño a la propiedad adjunta.
- d). Conseguir póliza de seguro favorable para la inversión de capital de la planta.
- e). Cumplir con los reglamentos; local, nacional, estatal, incluyendo el control del medio ambiente.
- f). Minimizar las pérdidas de material durante y después de una alteración operacional ocasionada por sobrepresión en un periodo corto.
- g). Reducir el tiempo muerto ocasionado por la sobrepresión en la planta.
- h). Prevenir el daño al equipo corriente abajo debido a la

transmisión de sobrepresión a través de la conexión de equipo y tubería.

(d). Impedir la contaminación del aire que puede ser causada por la descarga de vapores desde recipientes con ruptura por sobrepresión.

Vemos como todas estas consideraciones unas que provienen de las necesidades del sistema; de códigos, reglamentos y de políticas de la compañía, afectan la selección y operación de los componentes específicos.

1.5 DETERMINACION DE LAS MASAS A RELEVAR.

1.5.1 DIMENSIONAMIENTO POR FUEGO.

El término dimensionamiento por fuego usualmente involucra la determinación de la carga de relevo o capacidad requerida de la válvula de relevo de seguridad para prevenir la presión excesiva en recipientes de almacenamiento, recipientes de proceso o en líneas de tubería expuestos a fuego externo. La cantidad de flujo másico resultante entonces se usa para calcular el área del orificio requerida, empleando las fórmulas adecuadas.

Es un pre-requisito que el usuario y/o diseñador del sistema establezca el código y criterios aplicables. Algunas fuentes están en el (API) "American Petroleum Institute", (NFPA) "National Fire Protection Association", (UL) "Underwriters Laboratories", "American Society Of Mechanical Engineers" (ASME, SECTION VIII). En algunos estándares, el área de relevo requerida es especificada. Los estándares de compañía incluyen criterios, alguna modificación de estándares publicados (considerando especialmente la cantidad de calor absorbido por el recipiente) y factores del medio ambiente desconocidos por el fabricante de las válvulas de relevo de seguridad. El NFPA 58 aplica para sistemas de gas-LP (propano y butano). Este ha sido muy simplificado ya que presenta en forma tabular, los requerimientos de capacidad en términos de (CFMD pies cúbicos por minuto de aire relacionados con el área superficial externa total del recipiente arriba de 2,000

ft². Si una área total mayor del recipiente se involucra se utiliza la ecuación:

$$Q_a = 53,632 A^{0.82} \quad (1-1)$$

donde:

Q_a = CFM de aire a condiciones estándar (14.7 psia & 60 °F)

A = Área total del recipiente (ft²).

Esta capacidad es admisible a 20% de sobrepresión.

El API estándar 2510 aplica a gas-LP (propano & butano), en el diseño de terminales terrestres y marítimas. Este estándar expresa los requerimientos de relevo en términos de pies cúbicos de aire por minuto determinado a 20% de sobrepresión.

$$Q_a = 32 F A^{0.82} \quad (1-2)$$

Donde:

Q_a = CFM de aire a condiciones estándar (14.7 psia & 60°F).

A = Área total del recipiente (ft²).

F = Factor del medio ambiente.

Para ilustrar el cálculo se va a considerar que el API-RP-520 es el método aplicable incluyendo la cantidad de calor absorbido por unidad recomendado de 21,000 unidades térmicas británicas por pie cuadrado de área húmeda expuesta al fuego externo. El recipiente protegido está parcialmente lleno con líquido almacenado en equilibrio con el vapor y la válvula de relevo de seguridad está localizada en la fase vapor. Considerar que el fuego libre irradia a la porción de superficie del recipiente el cual está mojado por el líquido contenido. El calor absorbido vaporiza el líquido, incrementando de este modo la presión interna del recipiente arriba de la presión de trabajo máxima permisible y arriba de la presión de ajuste de la válvula de relevo de seguridad. En este punto la válvula se abre y fluye la proporción másica que será calculada.

El primer paso es calcular el calor absorbido total, en unidades térmicas británicas por hora (Btu/Hr).

$$Q = 21,000 F A^{0.82}$$

(1-3)

Donde:

A = Superficie mojada total (ft²).

F = Factor del medio ambiente

Otros factores pueden aplicarse de la forma siguiente:

- | | |
|--|-------|
| 1. Recipiente descubierto. | 1.0 |
| 2. Recipientes aislados (este aislamiento es arbitrario, los valores de conductividad son mostrados como ejemplos y están en Btu/Hr Ft ² °F). | |
| a. 4.0 | 0.9 |
| b. 2.0 | 0.15 |
| c. 1.0 | 0.075 |
| 3. Aplicación de agua de servicios, sobre recipientes descubiertos. | 1.0 |
| 4. Servicios de vaciado y depresurización. | 1.0 |
| 5. Almacenamiento bajo tierra. | 0.0 |
| 6. Almacenamiento cubierto de tierra arriba del nivel de piso. | 0.03 |

Después de calcular la cantidad de vapor generado por la entrada de calor total Q, a una presión de relevo acumulada de 1.20 veces la presión de trabajo máxima permisible.

$$W = \frac{Q}{\lambda} \quad (1-4)$$

Donde:

W = Vapor generado en lb/Hr.

Q = Calor total de entrada en Btu/Hr.

λ = Calor latente de vaporización en Btu/lb

El valor del calor latente y peso molecular serán usados para determinar la cantidad de vaporización, siendo aquéllos relacionados a las condiciones capaces de generar la máxima cantidad de vapor.

1.5.2 NFPA CAPACIDAD DE RELEVO MINIMA DE VALVULAS DE RELEVO POR EXPOSICION A FUEGO.

A). TANQUES DE GAS-LP REFRIGERADO.

La capacidad de la válvula de relevo de seguridad en adición a prevenir la presión excesiva en el evento de exposición a fuego también protege el recipiente de presión excesiva en el suceso de que el sistema de refrigeración no funcione.

La capacidad de descarga mínima requerida en pies cúbicos por minuto de aire a 20 por ciento de sobrepresión, para dispositivos de relevo de seguridad usados sobre recipientes refrigerados será calculada por la fórmula siguiente:

$$Q_a = \frac{633\,000 F A^{0.82}}{L C} \sqrt{\frac{Z T}{M}} \quad (1-5)$$

Donde:

Q_a = Capacidad de flujo de aire mínima requerida, en pies cúbicos por minuto, @ 60 °F y 14.7 psia.

F = Factor del medio ambiente, tabulado en la parte inferior (ver Tabla 1-3).

A = Superficie mojada total expuesta, en el caso de esferas o esferoides, hasta la elevación del diámetro horizontal máximo del tanque, en ft^2 .

L = Calor latente del gas a las condiciones de flujo en BTU/lb.

C = Constante del gas el cual es una función de la relación de calores específicos a condiciones estándar.

$k = \frac{C_p}{C_v}$ = Relación de calores específicos.

Z = Factor de compresibilidad a las condiciones de flujo.

T = Temperatura absoluta a las condiciones de flujo.

M = Peso molecular del gas.

TABLA 1-3. FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE.

MEDIO AMBIENTE.	FACTOR F.
1. Recipiente descubierto	1.0
2. Recipientes aislados con los siguientes valores típicos de conductividad, en BTU/Hr Ft ² °F basado sobre 1800 grados Fahrenheit de diferencia de temperatura.	
a. 4.0	0.3
b. 2.0	0.15
c. 1.0	0.075

B). TANQUES DE GAS NATURAL LICUADO.

1). Cuando un recipiente está expuesto a un fuego externo, el calor es transferido al líquido almacenado. La adición de calor es simultáneamente transferida a través de las partes del recipiente no expuestas al fuego debido a la alta diferencia entre la temperatura ambiente normal y la temperatura del líquido almacenado. El flujo mínimo de calor total durante una posible exposición al fuego de un recipiente sin aislar será calculado por la fórmula:

$$H = 1560 C_i A^{0.82} + H_n \quad (1-6)$$

Donde:

- H = Flujo mínimo de calor, BTU/Hr.
- C_i = Conductividad del aislamiento, BTU/Hr Ft² °F. (El valor de C_i incrementa con la temperatura y un valor medio para el rango de -250 °F y 1800 °F se usará).
- A = Superficie mojada total expuesta en Ft².
- H_n = Ganancia de calor normal total para el líquido almacenado sin exposición a fuego y a una temperatura ambiente máxima.

2). Si el aislamiento del sistema incluye alguna envoltura de material, tal que desaparezca, se deteriore o desaloje en una exposición al fuego, una ganancia alta de calor ocurrirá. Esto requiere de consideración especial dependiendo del grado de pérdida de las propiedades del aislamiento. Si solamente una parte del aislamiento se pierde, la ganancia de calor puede ser estimada por la fórmula:

$$H = (34500 - 360 C_2) A^{0.82} + H_n \quad (1-7)$$

En este caso el valor de C_2 será el valor medio del rango -260°F y $+100^{\circ}\text{F}$.

3). La capacidad requerida por la válvula de relevo será calculada por la fórmula:

$$Q_g = 3.09 \frac{H}{L} \left\{ \frac{T}{M} \right\}^{1/2} \quad (1-8)$$

Donde:

Q_g = Capacidad de flujo de aire requerida, ft^3/Hr @ 60°F y 14.7 psia.

H = Flujo total de calor, BTU/Hr de la fórmula (1-6) ó (1-7).

T = Temperatura absoluta del gas a la entrada de la válvula de relevo, $^{\circ}\text{R}$.

M = Peso molecular del gas.

1.5.3 RECIPIENTES LLENOS DE GAS.

Dimensionamiento por expansión de gas debido a fuego externo. Las áreas de descarga para las válvulas de relevo de seguridad y seguridad sobre recipientes que contienen gas expuestos a fuego externo se pueden determinar por el uso de la fórmula siguiente:

$$A = F \cdot \frac{A_3}{\sqrt{P_4}} \quad (1-9)$$

Donde:

- A = Área de descarga requerida de la válvula en in².
A_s = Área superficial expuesta del recipiente en ft².
P₁ = Presión de relevo corriente arriba en psia. Esto es la presión de ajuste, más la sobrepresión, más la presión atmosférica, en psia.
F' = Factor de operación determinado por la fórmula siguiente:

$$F' = \left(\frac{0.1416}{C K} \right) \left[\frac{\Delta T}{10.6306} \right]^{1.25} \quad (1-10)$$

Donde:

- C = Coeficiente el cual es determinado por la relación de calores específicos del gas a condiciones estándar.
K = Coeficiente de descarga, el valor es obtenido de la válvula del fabricante. El valor de K para un número de válvulas tipo-boquilla es de 0.975.
T₁ = Temperatura absoluta del gas, en grados Ranking a la presión corriente arriba y es determinada por la relación:

$$T_1 = \left[\frac{P_1}{P_n} \right] T_n \quad (1-11)$$

- T_n = Temperatura de operación normal del gas, en °R.
P_n = Presión de operación normal del gas en psia.
P₁ = Presión de relevo corriente arriba en psia.
ΔT = T_v-T₁ = Diferencia entre la temperatura de la pared y la temperatura del gas a P₁.
T_v = Temperatura de la pared del recipiente, en °R.

El valor de 1.100 °F es una temperatura máxima recomendada para el material usual o placas de acero al carbono cuyas propiedades físicas a temperaturas que excedan los 1.100 °F muestran señas de tendencias indeseables. Cuando los recipientes son fabricados de aleación de materiales el valor para T_v será cambiado a uno más conveniente máximo recomendado.

Se recomienda un valor mínimo de F' = 0.01 (cuando se desconoce usar 0.045).

1.5.4 FALLA DE TUBOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.

El problema semejante al de dimensionamiento por fuego, es en primer lugar la determinación de la capacidad de relevo requerida, la influencia de criterios sensatos de ingeniería y los estándares del usuario para la solución. Las prácticas varían; por lo tanto los comentarios siguientes son dados para ilustrar un enfoque para un caso sencillo.

La mayoría de los intercambiadores de calor están diseñados con la corriente de alta presión en los tubos enfundados en una coraza delgada a baja presión. El posible incremento de presión en la coraza deberá ser indagado en el suceso de una ruptura de tubo descargando hacia la corriente de baja presión.

Cuando el lado de baja presión es menor que 2/3 del lado de alta presión, una válvula de relevo de presión es usualmente utilizada.

Generalmente, la ruptura de un tubo se considera que proporciona una área de flujo igual al área seccional transversal de un tubo y un coeficiente de 0.62. La presión corriente abajo es tomada como 1.10 a 1.50 veces la presión de diseño del intercambiador (coraza). El flujo normal sobre el lado de alta presión se puede utilizar si éste es más pequeño que el flujo calculado.

Alguna concesión deberá hacerse para un líquido el cual presenta vaporización.

Una fórmula de dimensionamiento es la siguiente:

$$A = A_h \sqrt{\frac{P_h - 1.5 P_i}{1.85 P_i}} \quad (1-12)$$

Donde:

- A = Área del orificio requerida en in² (a 25% de acumulación).
- A_h = Área seccional transversal de un tubo, in².
- P_h = Presión máxima permisible en el lado de alta (usualmente en el tubo), psig.

P_1 = Presión máxima permisible en el lado de baja (usualmente en la coraza), psig.

Si un intercambiador de calor está diseñado por las reglas del código ASME Sección VIII multiplicar "A" por 1.07 (recíproco de 0.8) por 10% de acumulación.

1.5.5 EXPANSION DE LIQUIDO.

La expansión de líquido que requiere relevo térmico puede ocurrir de los siguientes casos:

- a) Tubería o recipientes llenos con líquido frío y bloqueados, siendo calentados por un trazado de vapor, incremento en la temperatura ambiente o fuego externo.
- b) Un intercambiador de calor bloqueado sobre el lado frío pero abierto al flujo sobre el lado caliente.
- c) Tubería (o recipientes) bloqueado lleno de líquido y expuesto a la radiación solar directa. Considerando despreciable la expansión de la tubería misma se calcula la expansión del líquido desde una temperatura de 100 °F. El usuario o diseñador del sistema normalmente hace esta determinación de acuerdo con los códigos de tubería ANSI/ASME B31 u otros códigos los cuales puedan aplicar tomando en cuenta aislamiento, medio ambiente y fracción de calor radiada.

En general, la mayoría de los casos de relevo térmico puede ser manejado por un tamaño de válvula de 3/4" a 25% de sobrepresión. Sin embargo, diámetros grandes de tuberías descubiertas las cuales recorren varios cientos de pies justificarán una evaluación completa.

Las capacidades de flujo para dispositivos de relevo protegiendo intercambiadores de calor, condensadores y enfriadores contra expansión térmica de líquidos entrampados puede aproximarse por el uso de la fórmula siguiente:

$$V_L = \frac{B H}{500 G C} \quad (1-13)$$

Donde:

V_L = Capacidad de flujo a la temperatura del fluido en GPM.

B = Coeficiente de expansión cúbica por grado Fahrenheit para el líquido a la temperatura esperada. Es mejor obtener esta información a partir de datos de diseño de proceso. Sin embargo, los siguientes valores son típicos para hidrocarburos líquidos y para agua a 60 °F.

				B
3	a	34.9	°API	0.0004
35	a	50.9	°API	0.0005
51	a	63.9	°API	0.0006
64	a	78.9	°API	0.0007
79	a	88.9	°API	0.0008
89	a	93.9	°API	0.00085
94	a	100.0	°API	
	y ligeros			0.0009
	agua			0.0001

H = Proporción total de calor transferido en BTU/Hr.

Esta será tomada como la carga de intercambio máxima durante la operación.

G = Gravedad específica referida al agua: 1.0 a 60 °F.

La compresibilidad de líquidos es usualmente despreciable.

C = Calor específico del fluido atrapado en BTU/lb °F.

La fórmula de arriba del API-RP-520 puede convertirse y resolverse directamente para el área del orificio requerida a 25% de sobrepresión y líquidos no-viscosos descargando a la atmósfera:

$$A = \frac{B H}{13\ 600 \sqrt{P_i} \sqrt{G}} \quad (1-14)$$

Donde:

A = Área del orificio requerida en in².

P_i = Presión de ajuste, psig.

1.5.6 LIQUIDOS VISCOSOS.

Cuando una válvula de relevo se dimensiona para servicio de liquido viscoso, se sugiere que primero sea dimensionada para una aplicación de tipo no viscoso, con objeto de obtener una área de descarga requerida preliminar (A). A partir de tamaños de orificio estándar de fabricantes, el siguiente tamaño mayor de orificio deberá usarse para determinar el número de Reynolds (R), de cualquiera de las relaciones siguientes:

$$R = \frac{VL (2\ 800\ G)}{\mu \sqrt{A}} \quad (1-15)$$

$$o. \quad R = \frac{12\ 700\ VL}{U \sqrt{A}} \quad (1-16)$$

Donde:

- VL = Capacidad de flujo a la temperatura del fluido en GPM.
- G = Gravedad específica del liquido a la temperatura de flujo referida al agua = 1.00 a 70 °F.
- μ = Viscosidad absoluta a la temperatura del flujo en cp.
- A = Área de descarga efectiva, en in² (a partir de áreas de orificio estándar de fabricantes).
- U = Viscosidad a la temperatura del flujo, en Segundos Saybolt Universal.

Después que el valor de (R) se determina, el factor Kv (factor de corrección a la capacidad debido a la viscosidad) se obtiene de la figura C-6 (API-RP-520). El valor Kv se aplica para corregir el área de descarga requerida preliminar. Si el área corregida excede el área del orificio estándar seleccionado, los cálculos de arriba deberán repetirse usando el siguiente tamaño mayor de orificio estándar.

1.5.7 VAPORIZACION DE LIQUIDO.

La vaporización de líquidos requiere una consideración especial y hay muchas opiniones sobre este tema. El dimensionamiento correcto está entre el obtenido de la fórmula del líquido y el obtenido a partir de la fórmula del vapor, usualmente ajustado al líquido. El uso de válvulas de fuelles balanceados proporciona un factor de seguridad extra. La vaporización probablemente ocurre en la garganta donde la velocidad es sónica, o justo más allá, con una expansión adiabática aproximada en el cuerpo.

Una aproximación razonable es determinar el porcentaje de vaporización a partir del diagrama termodinámico presión-entalpía de la sustancia en cuestión. Luego considerar la porción de líquido y la porción de vapor separadamente, calcular el área requerida para cada cantidad y adicionarlas a la vez.

$$\% \text{ Vaporización} = \frac{H_f(1) - H_f(2)}{H_{fg}(2)} \times 100 \quad (1-17)$$

Donde:

$H_f(1)$ = Entalpía en BTU/lb del líquido saturado a la temperatura corriente arriba.

$H_f(2)$ = Entalpía en BTU/lb del líquido saturado a la presión corriente abajo, P_2 o PCF.

P_2 = Contrapresión, psia.

PCF = Presión de flujo crítico, psia.

$H_{fg}(2)$ = Entalpía de evaporación en BTU/lb a la presión corriente abajo.

Para terminar este capítulo se incluye la Tabla 1-4 que puede ser de gran utilidad en la determinación de la masa a relevar requerida para una falla operacional determinada:

TABLA 1-4. DIFICULTADES OPERACIONALES Y CAPACIDADES DE RELEVO REQUERIDAS.

CAPACIDAD DE RELEVO REQUERIDA			
No.	CONDICION	VALVULA DE RELEVO PARA RELEVO DE LIQUIDO.	VALVULA DE RELEVO-SEGURIDAD PARA RELEVO DE VAPOR.
1	Descargas cerradas sobre recipientes.	Capacidad máxima de líquido bombeado.	Entrada total de gas y vapor, más el generado ahí dentro bajo operación normal.
2	Falla de agua de enfriamiento al condensador.	.....	Entrada total de gas y vapor, más el generado ahí dentro bajo operación normal, menos el vapor condensado por el lado de la corriente de reflujo.
3	Falla de reflujo en el domo de la torre.	.....	Vapor total al condensador a condiciones de relevo.
4	Falla en el lado de la corriente de reflujo.	.....	Diferencia entre el vapor de entrada y la sección de salida. |
5	Falla de aceite sobre el absorbedor.	.....	Nada.
6	Acumulación de no condensables.	.....	Mismo efecto en torres como para los puntos No. 2 y No. 8 en otros recipientes.
7	Entrada de material altamente volátil.	.....	Para torres usualmente no predecible.
	a). Agua en aceite caliente.	.....	Para intercambiadores de calor considerar una área de dos veces el área seccional transversal interna de un tubo para proveer al vapor generado por la entrada del fluido volátil.
	b). Hidrocarburos ligeros en aceite caliente.	.....

TABLA 1-4. DIFICULTADES OPERACIONALES Y CAPACIDADES DE RELEVO REQUERIDAS.

CAPACIDAD DE RELEVO REQUERIDA			
No.	CONDICION	VALVULA DE RELEVO PARA RELEVO DE LIQUIDO.	VALVULA DE RELEVO-SEGURIDAD PARA RELEVO DE VAPOR.
1	Descargas cerradas sobre recipientes.	Capacidad máxima de liquido bombeado.	Entrada total de gas y vapor, más el generado ahí dentro bajo operación normal.
2	Falla de agua de enfriamiento al condensador.	.....	Entrada total de gas y vapor, más el generado ahí dentro bajo operación normal, menos el vapor condensado por el lado de la corriente de reflujo.
3	Falla de reflujo en el domo de la torre.	.....	Vapor total al condensador a condiciones de relevo.
4	Falla en el lado de la corriente de reflujo.	.....	Diferencia entre el vapor de entrada y la sección de salida. |
5	Falla de aceite sobre al absorbedor.	.....	Nada.
6	Acumulación de no condensables.	.....	Mismo efecto en torres como para los puntos No. 2 y No. 8 en otros recipientes.
7	Entrada de material altamente volátil.	.....	Para torres usualmente no predecible.
	a). Agua en aceite caliente.	.....	Para intercambiadores de calor considerar una área de dos veces el área seccional transversal interna de un tubo para proveer al vapor generado por la entrada del fluido volátil.
	b). Hidrocarburos ligeros en aceite caliente.	.....

TABLA 1-4. DIFICULTADES OPERACIONALES Y CAPACIDADES DE RELEVO REQUERIDAS. (Continuación).

CAPACIDAD DE RELEVO REQUERIDA		
No.	CONDICION VALVULA DE RELEVO PARA RELEVO DE LIQUIDO.	VALVULA DE RELEVO-SEGURIDAD PARA RELEVO DE VAPOR.
8	Recipiente de balance o de almacenamiento sobrelleno. Capacidad máxima de líquido bombeado.	.....
9	Falla de controles automáticos: a). Controlador de presión de la torre a posición cerrada. b). Todas las válvulas, a posición cerrada, excepto válvulas de agua y reflujo.	Normalmente vapor no condensado total. Requerimiento no operacional. Requerimiento no operacional.
10	Entrada de vapor anormal. a). Calentadores a fuego directo o rehervidores de vapor. b). Cuarteadura de tubo en rehervidor.	o calor Generación de vapor máxima estimada incluyendo no condensables por sobrecalentamiento. Entrada de vapor por dos veces el área seccional transversal de un tubo.
11	Explosiones internas.	..... No controladas por dispositivos de relevo convencionales, excepto para evitar tales circunstancias.
12	Reacción química.	..... Generación de vapor estimado de ambas condiciones, normal y no controlada.

TABLA 1-4. DIFICULTADES OPERACIONALES Y CAPACIDADES DE RELEVO REQUERIDAS. (Continuación).

CAPACIDAD DE RELEVO REQUERIDA		
No.	CONDICION VALVULA DE RELEVO PARA RELEVO DE LIQUIDO.	VALVULA DE RELEVO-SEGURIDAD PARA RELEVO DE VAPOR.
13	<p>Expansión Hidráulica:</p> <p>a). Fluido frito entrapado. Tamaño nominal.</p> <p>b). Líneas exteriores al área de entrapadas. Tamaño nominal.</p>	<p>de</p> <p>proce-</p>
14	Fuego externo.	Estimado por el método dado en la sección 1.5.1 y 1.5.2
15	<p>Falla de fuerza (motriz, eléctrica u otra).</p> <p>a). Fraccionadores.</p> <p>b). Reactores.</p> <p>c). Intercambiadores enfriados por aire.</p> <p>d). Recipientes de balance. Capacidad de entrada máxima de líquido.</p>	<p>Estudiar la instalación para determinar el efecto de la falla de fuerza. Dimensionar la válvula de relevo para la peor condición que pueda ocurrir.</p> <p>Todas las bombas podrían fallar, con el resultado que el reflujó y agua de enfriamiento fallarán. Dimensionar las válvulas como en el punto No. 2.</p> <p>La agitación o varilla agitadora parará y la corriente de apagado fallará. Dimensionar las válvulas para generación de producto de una reacción fugitiva.</p> <p>Los ventiladores fallarán. Dimensionar las válvulas para la diferencia entre la carga de emergencia y la normal.</p>

1.6 CRITERIOS DE DISEÑO DE VALVULAS DE RELEVO DE PRESION.

En este punto se describen los criterios básicos para el dimensionamiento de las válvulas de relevo de presión.

La capacidad de la válvula de relevo para recipientes a presión deberá ser calculada para cada uno de los riesgos operacionales mencionados en el punto 1.2. los cuales puedan ser razonablemente esperados para ocurrir y el área del orificio más grande la cual sea requerida determinará el tamaño de la válvula de relevo de presión.

Los cálculos para el dimensionamiento de la válvula de relevo de presión en instalaciones petroleras deberán estar de acuerdo con las prácticas recomendadas.

La presión de trabajo máxima permisible o la presión de diseño del equipo (presión de diseño menor si se cubre a varios equipos) es la base para la presión de ajuste de los dispositivos de relevo de presión.

Las válvulas de seguridad y de relevo deberán ser normalmente de actuación directa contra resorte de presión ajustable y deberán suministrarse con boquillas de capacidad completa. (Con excepción de las utilizadas para expansión térmica de líquidos, las cuales son ordinariamente válvulas de 3/4 por 1 pulgada con boquilla modificada. Este tamaño de válvula no es amparado por API-Standard-526).

Cuando la presión corriente abajo de una válvula de relevo o de seguridad excede al 10% de la presión de ajuste, las válvulas deberán suministrarse con fuelles balanceados. Para fluidos corrosivos se podrán emplear discos de ruptura y fuelles de sellos.

Acumulación permisible y sobrepresión, como porcentaje de la presión de ajuste.

- | | |
|--|-----|
| a). Para instalaciones de válvula sencilla o múltiple donde el código ASME-SECCION I (GENERACION DE VAPOR) aplique. | 3% |
| b). Para instalaciones de válvula sencilla donde el código ASME-SECCION VIII DIV. I (RECIPIENTES A PRESION) aplique. | 10% |
| c). Para instalaciones de válvulas múltiples donde el código ASME-SECCION VIII DIV. I aplique. | 16% |
| d). Para protección contra incendio en recipientes a presión no expuestos a fuego. | 20% |
| e). Para expansión térmica de líquido en tuberías y descarga de bombas. | 25% |

Todas las válvulas de seguridad para servicios de aire o vapor deberán suministrarse con palancas de levantamiento.

La tolerancia a la presión de ajuste para válvulas de relevo de presión no excederá ± 2 psi para presiones de ajuste hasta e incluyendo 70 psi y 3% para presiones arriba de 70 psi.

Para instalaciones típicas de válvulas de relevo de presión y aspectos legales se recomienda consultar Código ASME parte UG y API-RP-520 parte II.

CAPITULO 2

ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL DE DESFOGUE.

2.0 ALCANCE.

En esta sección se describen los parámetros involucrados para el dimensionamiento de líneas de desfogue con flujo compresible, así como algunas ecuaciones empleadas para calcular diámetros de cabezales y ramales de desfogue. En la bibliografía técnica se encuentran ecuaciones desarrolladas por varios autores, pero en este capítulo se consideran las siguientes:

Ecuación de Darcy.

Ecuación de Missen.

Ecuación de Mak.

Ecuación de Conison.

Ecuación Adiabática.

2.1 ALGUNOS PARAMETROS DE DISEÑO.

En el diseño de un sistema de descarga cerrado, el ingeniero

de proceso podrá:

- a). Diseñar un sistema de descarga nuevo completamente.
- b). Revisar un sistema de descarga existente para ver si válvulas de relevo adicionales pueden descargar hacia éste sin incrementar los tamaños de líneas.
- c). Tener que decidir si los tamaños de las líneas deberán ser incrementados o si algunas de las válvulas convencionales pueden ser reemplazadas por válvulas balanceadas, para conseguir el beneficio de contrapresiones permitidas más grandes, cuando la capacidad de transporte de un sistema existente necesite ser incrementado.

En todos los casos, el enfoque a la solución es similar. Y el diseñador del sistema de relevo deberá considerar varios factores, cuando determine los tamaños convenientes del cabezal principal y ramales de desfogue, los cuales son:

- a). El código que gobierna.
- b). Capacidad máxima de relevo de gas o vapor requerida para propósitos de diseño.
- c). Contrapresión máxima que pueda ser tolerada en el sistema colector.
- d). Presión de diseño del equipo en operación asociado con las válvulas de relevo.
- e). Capacidades y características de operación de las válvulas de relevo.
- f). Propiedades físicas del gas relevado.
- g). Capacidades y longitudes de las líneas.

El código ASME es una guía de seguridad para las industrias de proceso. Este establece reglamentos para prácticas seguras en diseño, construcción, inspección y reparación de recipientes a presión no expuestos a fuego manejando petróleo, otros vapores y líquidos riesgosos.

El tamaño de la tubería de salida será tal que alguna presión que pueda existir o desarrollarse en la línea de descarga no reduzca la capacidad de relevo de los dispositivos de seguridad abajo de la cantidad requerida para proteger al recipiente de la

sobrepresión.

La capacidad máxima de diseño está generalmente basada sobre el grupo de válvulas que puedan relevar la cantidad máxima de vapor a un tiempo. Esta condición puede ser atribuida al proceso o fuego, los que gobiernan en establecer el flujo máximo.

La selección del proceso depende de las variables del proceso, tales como falla de agua de enfriamiento o una falla de válvulas de control, por mencionar solo algunas de éstas.

La selección por fuego está generalmente basada sobre el número de recipientes en una área que pueda estar sujeta al mismo fuego. El radio de la zona de incendio puede variar de 30 a 60 pies, dependiendo de la política de la planta establecida, experiencia o ambas. En general, el Plano de Localización General (PLG) es usado y los recipientes son agrupados por zonas de una manera lógica.

La contrapresión máxima permitida en un cabezal colector ("header system") está, invariablemente, basada sobre la presión de diseño menor del recipiente, tipo de válvulas y código que gobierna.

Después de haber establecido los puntos de arriba, la selección del tamaño adecuado de la línea se reduce a cálculos de flujo de fluidos. Una fórmula básica de caída de presión para flujo de fluidos compresibles deberá usarse para dar resultados correctos. El ingeniero de proceso se encuentra entonces con el problema de determinar la condición de flujo en este caso particular adiabático o isotérmico.

2.2 ECUACION DE DARCY.

En el dimensionamiento de tubería para flujo de líquidos, la ecuación de Darcy es usualmente utilizada. Esta ecuación da las pérdidas de presión debidas a la fricción y aplica a tubería de diámetro constante transportando fluidos de razonablemente densidad constante en tubería recta, ya sea horizontal, vertical o

inclinada. Tal método puede también usarse para el flujo de gases dentro de ciertos rangos de restricción, los cuales son:

a). Si la caída de presión calculada ($P_1 - P_2$) es menor que alrededor del 10% de la presión de entrada, una precisión razonable será obtenida si la densidad usada en la fórmula está basada sobre cualquiera de las dos condiciones corriente arriba o corriente abajo, las que sean conocidas.

b). Si la caída de presión calculada ($P_1 - P_2$) es mayor que alrededor del 10% pero menor que el 40% de la presión de entrada P_1 , la ecuación de Darcy puede ser usada con una precisión razonable, usando la densidad basada sobre el promedio de las condiciones corriente arriba y corriente abajo.

c). Para caídas de presión más grandes, tal como las encontradas frecuentemente en líneas largas de tubería, deberán usarse fórmulas empíricas para flujo compresible.

La ecuación de Darcy expresada como caída de presión en libras por pie cuadrado es la siguiente:

$$\Delta P = \frac{\rho f L v^2}{2gc D} \quad (2-1)$$

El flujo másico y el área de la sección transversal de la tubería pueden usarse para eliminar la velocidad lineal:

$$W = (3500) v A \rho \quad (2-2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2-3)$$

Usando las ecuaciones (2-2) y (2-3) se puede escribir la ecuación de Darcy en una forma más conveniente de usarse:

$$P_1 = P_2 + 3.35 \times 10^{-6} \frac{f W^2 L T}{d^5 \rho_2} \quad (2-4)$$

Donde:

$$\Delta P = \text{Caída de presión, lbf/ft}^2.$$

ρ = Densidad del fluido, lb/ft³.
 L = Longitud de tubería, ft.
 v = Velocidad del fluido, ft/seg.
 D = Diámetro interior de la tubería, ft.
 g_c = Aceleración de la gravedad = 32.2 lb ft/lbf seg².
 f = Factor de fricción de Darcy, adimensional.
 W = Flujo másico, lb/Hr.
 A = Área de la sección transversal de la tubería, ft².
 P = Presión, psi.
 L_T = Longitud total de la tubería, ft.
 d_i = Diámetro interior de la tubería, in.

Subíndices:

- (1) Condiciones iniciales.
 (2) Condiciones finales.

Para este caso la sustitución es directa, evaluando los parámetros involucrados a través de la ecuaciones siguientes:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\epsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (2-5)$$

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{D G}{\mu} \quad (2-6)$$

$$L_T = L_{TR} + L_{ACC} \quad (2-7)$$

Donde:

- Re = Número de Reynolds, adimensional.
 ϵ = Rugosidad absoluta de la tubería, ft.
 μ = Viscosidad del fluido, lb/ft seg.
 G = Masa velocidad, lb/ft² seg.
 L_{TR} = Longitud de tubería tramo recto, ft.
 L_{ACC} = Longitud de accesorios, ft.
 f, ρ, L_T, D, v Definidos anteriormente.

La Tabla 2-1 muestra valores de la rugosidad absoluta para algunos tubos.

TABLA 2-1. RUGOSIDAD ABSOLUTA DE TUBOS.

TIPO DE TUBO	ϵ (ft)
Tubing estirado (vidrio, bronce, cobre, acero inoxidable).	0.000005
Acero comercial o fierro forjado .	0.00015
Fierro fundido.	0.0004
Fierro galvanizado.	0.0005
Fierro fundido sin revestir.	0.00085
Duelas de madera.	0.0006-0.003
Concreto.	0.001-0.01
Acero remachado.	0.003-0.03

2.3 ECUACION DE MISSSEN.

Esta ecuación describe un método alternativo que no requiere suposiciones acerca de la longitud relativa de la línea o cambios en la velocidad y sin embargo proporciona una solución directa al problema.

El problema es básicamente uno, calcular la caída de presión para el flujo de un fluido compresible en una línea, determinando la presión inicial cuando la presión de salida es conocida. La presión de salida en un sistema de relevo de presión es cualquiera de las dos, la presión atmosférica o la determinada por la velocidad del sonido a la salida.

Las consideraciones que se hacen son: (1) el flujo es isotérmico; (2) el fluido compresible se comporta como un gas ideal; (3) el cambio en la energía potencial ("elevation head") es despreciable; y (4) la tubería es de sección transversal uniforme.

La ecuación de energía sobre una longitud pequeña dL puede escribirse como:

$$vdp + udu/g + dF = 0 \quad (2-8)$$

donde dF esta dada por la ecuación de Fanning:

$$dF = 2fu^2 dL/gD \quad (2-9)$$

La masa velocidad puede usarse para eliminar la velocidad lineal:

$$u = Gv \quad (2-10)$$

$$du = G dv \quad (2-11)$$

Usando las ecuaciones (2-9), (2-10), (2-11) y la ley del gas ideal ($p v = p_2 v_2 = a$ constante), se puede escribir la ecuación como:

$$\frac{PdP}{Pz^2} - \frac{G^2 v_2}{gPz} \frac{dP}{P} + \frac{2fG^2 v_2 dL}{gPzD} = 0 \quad (2-12)$$

La ecuación (2-12) se integra entre los límites $P=P_1$ a $P=P_2$, y $L=0$ a $L=L$, para dar:

$$\frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 \right] + \frac{G^2 v_2}{gPz} \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{2fG^2 v_2 L}{gPzD} = 0 \quad (2-13)$$

Usando la relación entre el factor de fricción de Fanning y el factor de fricción de Darcy:

$$\frac{f}{2} = \frac{f_D}{8} \quad (2-14)$$

La ecuación (4-13) puede expresarse de la siguiente forma:

$$P_1 = \left\{ \frac{2G^2 v_2}{gPz} \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{f_D G^2 v_2 L}{gPzD} + 1 \right\}^{1/2} P_2 \quad (2-15)$$

Donde:

D = Diámetro del tubo, ft.

f = Factor de fricción de Fanning.

f_D = Factor de fricción de Darcy.

F = Cabeza de fricción, ft del fluido.

g = Constante gravitacional = 32.2 ft/seg².

G = Masa velocidad, lb/ft² seg.

L = Longitud equivalente de tubo, ft.

p = Presión del fluido, psia.

P = Presión del fluido, psia.

R = Constante del gas = 10.73 psia ft³/lbmol °R.

u = Velocidad lineal, ft/seg.

v = Volumen específico, ft^3/lb .

Subíndices:

(1) Condiciones de entrada a la línea.

(2) Condiciones de salida de la línea.

La ecuación (2-15) puede resolverse para P_2 por prueba y error.

2.4 ECUACION DE MAK.

En el diseño de los sistemas colectores ("manifold systems") de relevo de presión, es necesario calcular la contrapresión variable (desarrollada y sobrepuesta) a la salida de las válvulas de relevo las cuales pueden estar relevando simultáneamente. Las válvulas de relevo convencionales pueden solo tolerar una contrapresión variable del 10 % de la presión de ajuste de la válvula. Las válvulas de fuelles balanceados, pueden usarse para contrapresiones alrededor de 30-50 % de la presión de ajuste arriba de la cual su capacidad se reduce.

El flujo de gas en cabezales de descarga y cabezales al quemador ("flare") se caracteriza por cambios rápidos en la densidad y velocidad. Aquí el flujo será tratado como compresible.

Un método ha sido desarrollado para calcular la contrapresión cabezal-quemador directamente sin prueba y error. Este método está basado sobre las siguientes consideraciones: (1) flujo en estado estable; (2) flujo en una fase; (3) flujo isotérmico; (4) comportamiento de gas ideal; (5) efecto de la elevación despreciable.

La ecuación isotérmica basada sobre la presión de entrada es:

$$f \frac{L}{D} = \frac{1}{M_1^2} \left\{ 1 - \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^2 \right\} - \ln \left[\frac{P_1}{P_2} \right]^2 \quad (2-16)$$

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy.

L = Longitud equivalente del cabezal en, ft.

D = Diámetro interior del cabezal en, ft.

M₁ = Número de Mach a la entrada al cabezal.

P₁ = Presión de entrada al cabezal en, psia.

P₂ = Presión de salida del cabezal en, psia.

La ecuación (2-16) puede ser transpuesta basándose en la presión de salida:

$$f \frac{L}{D} = \frac{1}{M_2^2} \left[\frac{P_1}{P_2} \right]^2 \left\{ 1 - \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^2 \right\} - \ln \left[\frac{P_1}{P_2} \right]^2 \quad (2-17)$$

$$M_2 = 1.336 \times 10^{-5} \left[\frac{W}{P_2 A_2} \right] \left[\frac{Z T}{M_v} \right]^{1/2} \quad (2-18)$$

Donde:

M₂ = Número de Mach a la salida del cabezal.

A₂ = Area seccional transversal de la tubería, ft.².

M_v = Peso molecular del gas.

W = Flujo másico de gas, lb/Hr.

T = Temperatura absoluta del gas, °R.

Z = Factor de compresibilidad del gas.

Los cálculos de contrapresión en el diseño del cabezal colector usualmente comienzan a la salida de la boquilla del quemador ("flare tip") donde la presión de salida es atmosférica.

El diámetro de cada sección de tubería se da por supuesto. La presión de entrada se calcula para un segmento de línea de diámetro constante, usando las condiciones de flujo del gas, diámetro de la línea, longitud equivalente de la línea y la presión de salida.

Cuando hay un cambio en el tamaño de la línea, la presión de entrada calculada para la línea corriente abajo (más grande) se

toma como la presión de salida de la línea corriente arriba (más pequeña). La presión de entrada para la tubería corriente arriba entonces se calcula otra vez. En este camino, en el cálculo se avanza hacia la válvula.

La contrapresión calculada en la válvula de relevo se checa contra la contrapresión máxima permisible (CMP). Lo primero debe ser menor que lo último.

En el caso, que la contrapresión calculada en la válvula de relevo con punto de ajuste más bajo sea mucho menor que la CMP, el tamaño del cabezal se reduce y los cálculos son repetidos hasta que la contrapresión desarrollada esté cercana a la CMP de la válvula de relevo.

Se debe considerar la posibilidad de reducir el diámetro de secciones de tubería para llevar a cabo un diseño económico. Secciones que involucren recorridos largos o muchos accesorios deberán seleccionarse primero para reducción.

Se han diseñado cabezales de alta y baja presión. Desde que un cabezal de alta presión puede ser dimensionado con más caída de presión, la separación de corrientes de alta y baja presión resultará en dos cabezales pequeños. Para un cabezal de alta presión, el flujo puede ser sónico a la salida.

En estos casos, el método mencionado arriba deberá ser modificado, primero checando la presión de salida de cada segmento de tubería para ver si el flujo es crítico. La presión crítica en psia a la salida de la tubería bajo condiciones de flujo isotérmico está dada por:

$$P_{CRIT} = \frac{W}{408 d^2} \left[\frac{Z T}{Mv} \right]^{1/2} \quad (2-19)$$

Donde:

d = Diámetro interior de la tubería en. in.

P_{CRIT} = Presión crítica en, psia.

Si P_{CRIT} es menor que la presión terminal, el flujo es subcrítico. P_2 es igual a la presión terminal. Si P_{CRIT} es más grande que la presión terminal, el flujo es crítico. Y P_2 se hace igual a la P_{CRIT} .

Aunque puede ser impráctico conservar el flujo en subcabezales de alta presión abajo del sónico, el cabezal principal al quemador no será dimensionado para flujo crítico a la salida hacia la chimenea del quemador. Esto eliminará el ruido indeseable y la vibración resultado del flujo sónico.

2.5 ECUACION DE CONISON.

El método de solución de Conison, utiliza las condiciones de salida las cuales son conocidas o pueden ser fácilmente calculadas por la fórmula de Crocker. Y una nueva ecuación de caída de presión se deriva la cual trata con cambios de presión, velocidad y volumen específico de vapores.

2.5.1 ECUACION DE CROCKER.

La capacidad máxima de transporte de cualquier línea está limitada por la velocidad sónica a la salida de la tubería, la cual establece la presión de salida. La ecuación desarrollada por Crocker para encontrar la capacidad máxima para una tubería con flujo de gases y vapores es la siguiente:

$$P_t = \frac{W}{11400 d^2} \left\{ \frac{R T}{k (k+1)} \right\}^{1/2} \quad (2-20)$$

Donde:

P_t = Presión a la salida de la línea o terminal, psia.

d = Diámetro de la línea, in.

R = 1544 / Peso molecular del gas.

W = Flujo másico de gas o vapor, lb/Hr.

T = Temperatura de salida, °R

La ecuación (2-20) se usa para determinar la presión de salida (no será confundida con caída por fricción) de la tubería con la cantidad de flujo másico (W) fluyendo. Si los vapores son descargados a la atmósfera, entonces la presión de salida de la tubería deberá ser igual ó más grande que la presión atmosférica $P_i \geq P_{ATM}$. Si P_i calculada es menor que la atmosférica, entonces W deberá incrementarse antes de que algún efecto sea hecho sobre la contrapresión en la línea. Si P_i calculada es más grande que la atmosférica, entonces deberá adicionarse las pérdidas por fricción en la línea, calculadas desde la salida de la válvula de seguridad a la salida del cabezal para determinar la contrapresión total en la válvula de seguridad.

2.5.2 ECUACION DE CAIDA DE PRESION.

Las ecuaciones disponibles para el cálculo de la caída de presión de fluidos compresibles, donde la velocidad es menor que la sónica y donde la presión, velocidad y volumen específico están cambiando constantemente, son generalmente tediosas para trabajarse. También las ecuaciones están sin excepción en términos de las condiciones iniciales a la salida de la válvula, las cuales al inicio del cálculo son desconocidas. Para simplificar los cálculos, Conison ha derivado una ecuación para el cálculo de la caída de presión en términos de las condiciones a la salida del cabezal y considerando constante la temperatura del flujo de fluido en la línea.

A temperatura constante:

$$P v = P_1 v_1 = P_2 v_2 = R T \text{ (constante)} \quad (2-21)$$

$$\frac{V}{V_2} = \frac{v}{v_2}$$

Elevando al cuadrado ambos lados:

$$\frac{V^2}{V_2^2} = \frac{v^2}{v_2^2}$$

Arreglando fracciones:

$$V^2 v_2^2 = V_2^2 v^2$$

Pero $P v = P_2 v_2$ de la ecuación (2-21)

Así
$$\frac{P v}{(v^2 v_z^2)} = \frac{P v}{(v_z^2 v^2)}$$

Cancelando
$$\frac{P}{v v_z^2} = \frac{P_z}{v_z v^2}$$

y
$$\frac{v}{v^2} = \frac{P v_z}{(P_z v_z^2)} \quad (2-22)$$

Refiriéndose a la ecuación general de energía:

$$v \, dP + \frac{v \, dv}{g} + \frac{f v^2}{2gD} \, dl = 0 \quad (2-23)$$

Multiplicando la ecuación (2-23) por $2g/v^2$

$$2g \frac{v}{v^2} (dP) + 2 \frac{(dv)}{v} + \frac{f}{D} (dl) = 0 \quad (2-24)$$

Sustituyendo la ecuación (2-22) en la ecuación (2-24) se llega a:

$$2g \frac{v_z}{v_z^2 P_z} \int_1^2 P \, dP + 2 \int_1^2 \frac{dv}{v} + \frac{f}{D} \int_1^2 dl = 0 \quad (2-25)$$

Integrando la ecuación (2-25):

$$2g \frac{v_z}{v_z^2 P_z} \frac{(P_z^2 - P_1^2)}{2} + 2 \log_e \frac{v_z}{v_1} + \frac{f}{D} L = 0 \quad (2-26)$$

En los casos donde las longitudes de las líneas son aproximadamente 200 ft o más, o donde el cambio en la velocidad es pequeño, el término $2 \log_e \frac{v_z}{v_1}$ puede ser ignorado sin error apreciable, así la ecuación (2-26) se reduce a:

$$P_z^2 - P_1^2 = - \frac{v_z^2 P_z}{g v_z} \left[\frac{f L}{D} \right]$$

y
$$P_1 = \left\{ P_z^2 + \frac{v_z^2 P_z}{g v_z} \left[\frac{f L}{D} \right] \right\}^{1/2} \quad (2-27)$$

Sustituyendo la densidad, ρ por $1/v$ y reorganizando la ecuación (2-27) se tiene:

$$P_1 = \left\{ (f L \rho_2 V_2^2) \left[\frac{2 P_2}{2gD} \right] + P_2^2 \right\}^{1/2} \quad (2-28)$$

En los casos donde las longitudes de las líneas son menores de 200 ft., la fórmula siguiente, incorpora el término $2 \log_e \frac{V_2}{V_1}$:

$$P_1 = \left\{ (f L \rho_2 V_2^2) \left[\frac{2 P_2}{2gD} \right] + P_2^2 - \frac{2V_2^2 \rho_2 P_2}{g} \log_e \frac{V_2}{V_1} \right\}^{1/2} \quad (2-29)$$

Nomenclatura para el punto desarrollado anteriormente:

P_1 = Presión inicial, lbf/ft².

P_2 = Presión de salida, lbf/ft² (igual a P_2 en la ecuación (4-20) cuando P_1 > a la presión atmosférica).

D = Diámetro de la tubería, ft.

g = Constante gravitacional = 32.2 lb ft/lbf seg².

V_2 = Volumen específico a la salida, ft³/lb.

V_1 = Velocidad del fluido a la salida de la tubería, ft/seg.

L = Longitud de la tubería, ft.

f = Factor de fricción de Darcy.

ρ = Densidad, lb/ft³.

2.6 ECUACION ADIABATICA.

En el flujo adiabático (ver punto B.3 de Anexo "B"), una disminución en la temperatura ocurre cuando la presión disminuye. Esto resulta en una corrección a la densidad. A altas presiones y temperaturas, el factor de compresibilidad puede ser menor que la unidad y algún incremento en la densidad puede ocurrir.

En adición al cambio de presión, hay un cambio en la temperatura. Esto afecta la densidad, velocidad y flujo. El cambio de temperatura puede ser calculado de:

$$T_2 = T_1 \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{(k-1)/k} = T_1 \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \right]^{k-1} \quad (2-30)$$

Para flujo compresible adiabático la ecuación utilizada es la siguiente: (2-31)

$$W = 1330.4 \left[\frac{k}{k+1} \right]^{\frac{1}{2}} (d^2) \left\{ \frac{P_1}{\frac{1}{2} (K) + \frac{1}{k} \ln \left[\frac{P_1}{P_2} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{P_1^{k+1/k} - P_2^{k+1/k}}{P_1^{(1/k)}} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$K = fL/D \quad (2-32)$$

$$k = C_p/C_v \quad (2-33)$$

2.7 COMPARACION TECNICA DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS LINEAS DE DESFOGUE.

Para desarrollar este punto se describe en términos generales el trabajo elaborado en la referencia (21), en la cual se emplea un programa de computadora que utiliza cada una de las cinco ecuaciones descritas en los puntos anteriores, de acuerdo a las condiciones siguientes:

Se consideran cuatro parámetros como datos, los cuales son: presión final, viscosidad del fluido, diámetro y longitud de la tubería.

De los parámetros mencionados, tres se hacen permanecer constantes y uno sufre variaciones razonablemente proporcionadas, calculándose la presión inicial de la tubería con cada una de las cinco ecuaciones.

Este proceso se repite con cada uno de los parámetros inicialmente mencionados para tres flujos diferentes: 10,000 lb/hr, 100,000 lb/hr, y 1'000,000 lb/hr.

A continuación en la Tabla 2-2 se muestra el resumen de resultados de corridas en donde se tomó un coeficiente adiabático de $k = 1.3$.

Las ecuaciones de Conison y Missen dan resultados muy parecidos, siendo ligeramente mayores los de Conison. El comportamiento de

TABLA 2-2 COMPARACION TECNICA DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS LINEAS DE DESFOGUE.

	DARCY	MISSEN	MAK	CONISON	ADIABATICA	ECUACION CAMBIOS DE
FLUJO BAJO NOTA1	A ♂	A ♂	B ♂♂	A ♂	A ♂	PRESION FINAL
	A ♂	A ♂	B ♂♂	A ♂	A ♂	VISCOSIDAD BAJA
	A ♂	A ♂	B ♂♂	A ♂	A ♂	VISCOSIDAD ALTA
	A	A	A	A	A	LONGITUD BAJA
	A	A	B	A	A	LONGITUD ALTA
	A	A	A	A	A	DIAMETROS
FLUJO MEDIO NOTA2	B	A ♂	C ♂♂♂	A ♂	A ♂	PRESION FINAL
	A	A ♂	C	A ♂	A ♂♂	VISCOSIDAD BAJA
	A	A ♂	X	A ♂	A ♂♂	VISCOSIDAD ALTA
	A	A	C	A	A	LONGITUD BAJA
	B	A ♂	X	A ♂	A ♂♂	LONGITUD ALTA
	B	A ♂	C	A ♂	A ♂♂	DIAMETROS
FLUJO ALTO NOTA3	BAJA ALTA X B	A ♂	X	A ♂♂	B ♂♂♂	PRESION FINAL
	X	A ♂	X	A ♂♂	A ♂♂♂	VISCOSIDAD BAJA
	X	A ♂	X	A ♂♂	A ♂♂♂	VISCOSIDAD ALTA
	BAJA ALTA X C	A ♂♂♂	X	A ♂	B	LONGITUD BAJA
	X	A ♂	X	A ♂	B ♂♂	LONGITUD ALTA
	X	A ♂	X	A ♂♂	A ♂♂♂	DIAMETROS

NOTAS

- 1.- 10,000 lb/HR
- 2.- 100,000lb/HR
- 3.- 1'000,000 lb/HR

SIMBOLOGIA:

- A EXCELENTE
- B BUENO
- C REGULAR
- X NO SATISFACTORIO
- ♂ MAS BAJO
- ♂♂ MEDIO
- ♂♂♂ MAS ALTO

ésta ante variaciones en las condiciones, es parecido.

La ecuación adiabática da resultados mayores que los de Conison y Missen cuando k es distinto de 1.

La ecuación de Darcy confirma su restringido rango de aplicación pues da valores disparados cuando hay cambios grandes de presión.

La ecuación de Mak da resultados disparados por arriba de los resultados de Conison, Adiabática y Missen, siguiendo un comportamiento similar al de Darcy ante las variaciones.

Las ecuaciones de Conison y Missen se recomiendan para cualquier condición. La decisión entre usar una u otra dependerá del criterio del diseñador y del "software" disponible.

CAPITULO 3

APLICACION DEL CODIGO DE DISEÑO DE TUBERIAS A PRESION ASME/ANSI B31 A LINEAS DE DESFOGUE DE PLANTAS DE PROCESO.

3.0 ALCANCE.

El código ASME para tuberías a presión (ASME/ANSI B31) se compone de un número determinado de secciones publicadas individualmente, las cuales son:

- B31.1 Tubería de Potencia.
- B31.3 Tubería para Planta Química y Refinería de Petróleo.
- B31.4 Sistemas de Tubería para Transporte de Petróleo Líquido.
- B31.5 Tubería de Refrigeración.
- B31.8 Sistemas de Tubería para Transporte y Distribución de Gas.

El alcance de este capítulo es plantear los requisitos de ingeniería mínimos necesarios para el diseño de sistemas de tubería de desfogue, con el objeto de minimizar el riesgo de daño accidental a la tubería o para minimizar las consecuencias dañinas de una posible falla de la tubería, de acuerdo específicamente a la sección B31.3, Tubería para Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo.

3.1 CONTENIDO Y APLICACION DE LA SECCION B31.3.

3.1.1 La sección B31.3 prescribe los requisitos mínimos para los materiales, diseño, fabricación, ensamble, montaje, examen, inspección y pruebas de sistemas de tubería.

3.1.2 La sección B31.3 aplica a sistemas de tubería que manejen cualquier fluido, incluyendo sólidos fluidizados y a todo tipo de servicio, incluyendo productos químicos en bruto, intermedios y terminados, aceite y otros productos del petróleo, gas, vapor, aire, agua y refrigerantes.

3.1.3 Excepto lo excluido en el punto 3.2, cubre todas las tuberías dentro de límites de propiedad de las instalaciones empleadas en el procesamiento o manejo de productos químicos, petroleros o similares. Por ejemplo, Plantas Químicas, Refinerías de Petróleo, Terminales de Carga, Plantas de Procesamiento de Gas Natural (incluyendo instalaciones para gas natural licuado), plantas de Carga a Granel, Plantas de Derivados y Patios de Tanques. Ver Figura 3-1 Diagrama Ilustrativo del Alcance de la Sección B31.3.

3.1.4 Tubería la cual interconecta piezas individuales o etapas de equipo dentro de un equipo paquete ensamblado, deberá estar de acuerdo con B31.3, excepto que la tubería de refrigeración paquete pueda estar conforme a cualquiera de los dos B31.3 o B31.5 (Tubería de Refrigeración).

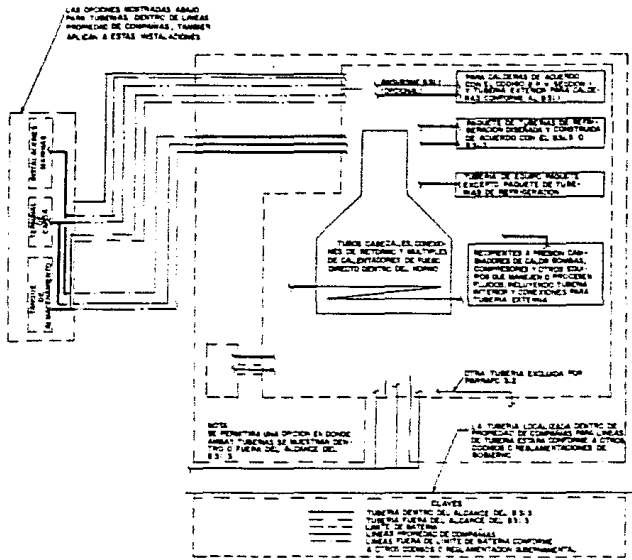


FIG 3-1 DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL ALCANCE DEL ANSI/ASME B31.3

3.2 EXCLUSIONES DE LA SECCION B31.3.

La sección B31.3 excluye lo siguiente:

3.2.1 Sistemas de tubería diseñadas para presión manométrica interna a/o arriba de cero pero menor que 15 psi. con tal que el fluido manejado no sea flamable, tóxico y dañino al cuerpo humano y su temperatura de diseño sea de -20 °F (-29 °C) a 366 °F (186 °C).

3.2.2 Calderas de potencia de acuerdo con el código BPV (Recipientes a Presión y Calderas) sección I y tubería externa de calderas la cual es requerida para cumplir con la sección B31.1 (Tuberías de Potencia).

3.2.3 Tubos, cabezales de tubo, cruces en arco y distribuidores de calentadores a fuego directo, los cuales son internos al recinto del calentador.

3.2.4 Recipientes a presión, intercambiadores de calor, bombas, compresores y otros equipos de proceso o manejo de fluidos, incluyendo tubería interna y conexiones para tubería externa.

3.2.5 Tubería localizada sobre propiedad de compañía la cual ha puesto a un lado líneas de transporte conforme a B31.4 (Sistemas de Tubería para Transporte de Petróleo Líquido) o B31.8 (Sistemas de Tubería para Transporte y Distribución de Gas), o regulaciones gubernamentales aplicables.

3.2.6 Tuberías sanitarias y pluviales.

3.2.7 Sistemas de protección contra incendio construidos en acuerdo con compañías aseguradoras u otros estándares de ingeniería de protección contra incendio reconocidos.

3.3 CONDICIONES DE DISEÑO.

3.3.1 PRESION DE DISEÑO.

La presión de diseño de cada componente en un sistema de tubería no deberá ser menor que la presión a la condición más severa, coincidente con la presión interna o externa y temperatura (mínima o máxima) esperada durante el servicio.

(a). PRESION DE CONTENCIÓN REQUERIDA O RELEVO.

Se deberán hacer las provisiones para contener o relevar sin peligro algunas presiones excesivas a las cuales el sistema pueda estar sujeto. Las fuentes de presión excesiva serán consideradas incluyendo los efectos de influencias ambientales, oscilaciones y ondas de presión, operación impropia y falla de dispositivos de control.

(b). PRESION DE RELEVO.

La capacidad de relevo requerida de algún dispositivo de relevo de presión incluirá consideración de todos los sistemas de tubería al cual protege. La capacidad de relevo necesaria no será calculada para una válvula de relevo por expansión térmica de líquido la cual sirve solo para una porción bloqueada de un sistema de tubería.

3.3.2 TEMPERATURA DE DISEÑO TUBERÍA METÁLICA.

La temperatura de diseño de cada componente en un sistema de tubería es la temperatura a la cual, bajo la presión coincidente, el más grande espesor o libraje mayor del componente se requiere de acuerdo con el punto 3.3.1.

3.3.3 TEMPERATURA MÍNIMA DE DISEÑO.

La temperatura mínima de diseño es la temperatura más baja del componente esperada en servicio.

3.3.4 COMPONENTES METALICOS SIN AISLAMIENTO.

(a). Para temperaturas del fluido abajo de 100 °F (38 °C), la temperatura del componente será tomada como la temperatura del fluido.

(b). Para temperaturas del fluido de 100 °F (38 °C) y arriba, a menos que un promedio bajo de la temperatura de pared sea determinada por prueba o cálculos de transferencia de calor, la temperatura del metal para componentes sin aislamiento no deberá ser menor que los siguientes valores:

-Valvulas, tubería, terminaciones montadas, accesorios soldados y otros componentes teniendo espesores de pared comparable al del tubo: 95% de la temperatura del fluido.

-Bridas (excepto de junta montada) incluyendo aquellas sobre accesorios y valvulas: 90% de la temperatura del fluido.

-Brida de junta montada: 85% de la temperatura del fluido.

-Pernos: 80% de la temperatura del fluido.

3.3.5 EFECTOS AMBIENTALES.

(a). Enfriamiento: Efectos sobre la Presión. El enfriamiento de un gas o vapor en un sistema de tubería puede reducir la presión suficientemente para crear un vacío interno. En tal caso, la tubería deberá ser capaz de resistir la presión externa a baja temperatura o provisiones deberán hacerse para romper el vacío.

(b). Efectos de la Expansión del Fluido. Se deben considerar provisiones en el diseño ya sea para resistir o relevar el incremento de presión causada por el calentamiento del fluido estático en un componente de tubería.

(c). Capa de Hielo Atmosférica. Donde la temperatura mínima de diseño de un sistema de tubería sea menor de 32 °F (0°C), la posibilidad de condensación atmosférica y formación de una capa de hielo deberá ser considerada y provisiones se harán en el diseño para evitar mal funcionamiento. Esto aplica a superficies de

partes móviles de válvulas de corte, válvulas de control, dispositivos de relevo de presión incluyendo tubería de descarga y otros componentes.

3.3.6 EFECTOS DINAMICOS.

(a). Impacto. Las fuerzas de impacto causadas por condiciones externas o internas (incluyendo cambios en la proporción del flujo, choque hidráulico, pedazos de sólido, vaporización y fuente térmica) deberán ser tomados en cuenta en el diseño del sistema de tubería.

(b). Viento. El efecto de la carga debida al viento deberá tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tubería expuesto.

(c). Temblor de Tierra. Los sistemas de tubería deberán ser diseñados para fuerzas horizontales inducidas por el temblor de tierra.

(d). Vibración. Los sistemas de tubería deberán ser diseñados, arreglados y soportados para eliminar efectos excesivos y dañinos de vibración, los cuales pueden provenir de tales fuentes de impacto, pulsación de presión, resonancia en compresores y cargas debido al viento.

(e). Reacciones de Descarga. Los sistemas de tubería deberán ser diseñados, arreglados y soportados para resistir fuerzas de reacción debido al descenso o descarga de fluidos.

3.3.7 EFECTOS DEBIDO AL PESO.

Los siguientes efectos debido al peso, combinados con cargas y fuerzas de otras causas, deberán tomarse en cuenta en el diseño de sistemas de tubería.

(a). Cargas Vivas. Estas cargas incluyen el peso del medio transportado o el medio usado para prueba. Cargas por nieve y

hielo debido a ambas, condiciones ambientales y de operación deberán ser consideradas.

b). Cargas Muertas. Estas cargas consisten del peso de los componentes de tubería, aislamiento y otras cargas permanentes sobrepuestas soportadas por la tubería.

3.3.8 EXPANSION TERMICA Y EFECTOS DE CONTRACCION.

Los siguientes efectos térmicos, combinados con cargas y fuerzas de otras causas, deberán tomarse en cuenta en el diseño de sistemas de tubería.

(a). Cargas térmicas debido a restricciones. Estas cargas consisten de acometidas y momentos los cuales provienen de expansión térmica libre y contracción de un sistema de tubería siendo impedidos por restricciones o anclas.

(b). Cargas debido a gradientes de temperatura. Estas cargas provienen de esfuerzos en las paredes de la tubería resultando de cambios rápidos y grandes de temperatura o de una distribución de temperatura desigual como puede resultar de un flux de calor alto a través de un tubo grueso comparativamente o de flujo a dos fases estratificado, causando la curvatura de la línea.

(c). Cargas debido a diferencias en características de expansión. Estas cargas resultan de diferencias de expansión térmica donde materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica se combinan, como en tubería bimetalica, revestida, enchaquetada o metalica- no metalica.

3.3.9 EFECTOS DE APOYO, ANCLAS Y MANIOBRAS TERMINALES.

Los efectos de maniobras, apoyos de tubería y equipo conectado deberá tomarse en cuenta en el diseño de sistemas de tubería. Estos movimientos pueden resultar de la flexibilidad y/o expansión térmica de equipo, apoyos, o anclas y del arreglo, movimientos de área, o influencia del viento.

3.3.10 EFECTOS DE DUCTILIDAD REDUCIDA.

Los efectos dañinos de ductilidad reducida deberán tomarse en cuenta en el diseño de sistemas de tubería. Los efectos pueden por ejemplo, resultar de soldadura, tratamiento térmico, formación, doblado, o bajas temperaturas de operación, incluyendo el efecto de templar, pérdidas repentinas de presión de fluidos altamente volátiles.

3.3.11 EFECTOS CÍCLICOS.

Fatiga debido a ciclos de presión, ciclos térmicos y otras cargas cíclicas serán consideradas en el diseño de tubería.

3.3.12 EFECTOS DE CONDENSACION DE AIRE.

A temperaturas de operación abajo de -312°F (-191°C) en aire ambiente, ocurre condensación y enriquecimiento de oxígeno. Esto deberá considerarse en la selección de materiales, incluyendo aislamiento, y protecciones y/o disposiciones adecuadas deberán proveerse.

3.4 CRITERIOS DE DISEÑO.

En este punto son formulados "ratings" de presión-temperatura, criterios de esfuerzos, tolerancias de diseño y se fijan valores mínimos de diseño, y variaciones permisibles de estos factores aplicados al diseño de sistemas de tubería.

3.4.1 COMPONENTES LISTADOS TENIENDO "RATINGS" ESTABLECIDOS.

Los "ratings" de presión-temperatura para ciertos componentes de tubería han sido establecidos y están contenidos en algunos estándares de la Tabla 3-1. A menos que sea limitado en otra parte de este capítulo, esos "ratings" son aceptables para presiones y temperaturas de diseño bajo la sección B31.3.

TABLA 3-1. ESTANDARES.

ESTANDARES	DESIGNACION
-MATERIAL PARA PERNOS.	
Pernos y tornillos cuadrados y hexagonales, series en pulgadas, incluyendo tornillos de cabeza hexagonal y piñas.	ASME B18.2.1
Tuerca cuadrada y hexagonales.	ANSI B18.2.2
-ACCESORIOS METALICOS, VALVULAS Y BRIDAS.	
Accesorios de hierro dúctil, 3 pulgadas hasta 24 pulgadas, para gas.	ANSI A21.14
Bridas para tubería de hierro fundido y accesorios bridados, clase 25, 125, 250 y 800.	ANSI B16.1
Accesorios roscados de hierro maleable, clase 150 y 300.	ANSI B16.3
Accesorios roscados de hierro colado, clase 125 y 250.	ANSI B16.4
Bridas para tubería y accesorios bridados.	ANSI B16.5
Accesorios para soldar a tope de acero forjado hecho en fábrica.	ANSI B16.9
Dimensiones de válvulas ferrosas cara a cara y extremo a extremo.	ANSI B16.10
Boquillas soldadas y roscadas, accesorios de acero forjado.	ANSI B16.11
Conexion de tubería ferrosa, casquillos y boquillas con tubos roscados.	ANSI B16.14
Accesorios roscados de bronce colado, clase 125 y 250.	ANSI B16.15
Soldadura con aleación de cobre fundido, accesorios con junta a presión.	ANSI B16.18
Cobre forjado y soldadura con aleación de cobre, accesorios con junta a presión.	ANSI B16.22
Bridas y accesorios bridados de bronce para tubería clase 150 y 300.	ANSI B16.24
Aleación de cobre colado accesorios para tubos de cobre quemado.	ANSI B16.26
Codos de radio corto y retornos para soldar a tope de acero forjado.	ANSI B16.28
Válvulas metálicas para gas operadas manualmente para uso en sistemas de tuberías hasta 125 psig.	ANSI B16.33
Válvulas, extremos bridados y soldados a tope.	ANSI B16.34
Bridas de orificio de acero, clase 300, 600, 900, 1500 y 2500.	ANSI B16.36
Válvulas metálicas para gas libremente operadas manualmente en sistemas de distribución de gas cuya presión de operación máxima admisible no exceda 125 psig.	ANSI B16.38

TABLA 3-1. ESTANDARES. (Continuación).

ESTANDARES	DESIGNACION
Uniones de tubería roscada de hierro maleable clase 150, 250 y 300.	ANSI B16.39
Bridas para tubería de hierro dúctil y accesorios bridados clase 150 y 300.	ANSI B16.42
Válvulas de relevo de seguridad de acero bridadas.	API 526
Válvulas macho de hierro dúctil, extremos bridados.	API 593
Válvulas check de disco.	API 594
Válvulas de compuerta de fierro fundido, extremos bridados.	API 595
Tubo venturi y válvulas de compuerta de acero, extremos bridados y soldados a tope.	API 597
Válvulas macho de acero, extremos bridados o soldados a tope.	API 599
Válvulas de compuerta de acero, extremos bridados y soldados a tope.	API 600
Válvulas de compuerta de acero al carbono compacto.	API 602
Válvulas de compuerta resistentes a la corrosión, clase 150.	API 603
Válvulas de compuerta de hierro dúctil, extremos bridados.	API 604
Bridas de acero al carbono de diámetro grande.	API 605
Válvulas de compuerta de acero al carbono compacto (cuerpo extendido).	API 606
Válvulas de mariposa tipo aleta y tipo disco.	API 609
Accesorios de hierro dúctil y hierro gris, de 3 pulgadas hasta 48 pulgadas, para agua y otros líquidos.	AWWA C110
Juntas de anillo de goma para tubería a presión de hierro dúctil y hierro gris y accesorios.	AWWA C111
Bridas roscadas con tubos de hierro gris y hierro dúctil bridado.	AWWA C115
Bridas para tubo de acero para servicio y trabajo con agua, 4 pulgadas hasta 144 pulgadas.	AWWA C207
Dimensiones para accesorios de tubería de acero en servicio con agua.	AWWA C208
Válvulas de compuerta, 3 pulgadas hasta 48 pulgadas, para sistemas de agua y drenaje.	AWWA C500
Válvulas de mariposa con asiento de caucho.	AWWAC504
Acabados estándar para contacto de caras con bridas de tubo y conexiones de extremos bridados de válvulas y accesorios.	MSS SP-6
Fresado para las tuercas de bronce, bridas de hierro y acero.	MSS SP-9
Sistema de marca estándar para válvulas, accesorios bridas y uniones.	MSS SP-25

TABLA 3-1. ESTANDARES. (Continuación).

ESTANDARES	DESIGNACION
Resistencia a la corrosión de válvulas de compuerta globo, angulo y check bridadas y extremos soldados a tope.	MSS SP-42
Accesorios soldados a tope de acero inoxidable forjado.	HSSSP-43
Bridas de tubería de línea de acero.	MSS SP-44
"Bypass" y conexiones de drenaje estándar.	MSS SP-45
Clase 150 LW resistencia a la corrosión bridas fundidas y accesorios bridados.	MSS SP-51
Bridas para la industria química de alta presión y guardas roscadas para uso en empaques.	MSS SP-65
Válvulas de compuerta de hierro fundido, extremos bridados y roscados.	MSS SP-70
Válvulas check de columpio de hierro fundido, extremos bridados y roscados.	MSS SP-71
Válvulas de bola con extremos bridados o soldados a tope para servicio general.	MSS SP-72
Especificaciones para alta prueba de accesorios soldados a tope forjados.	MSS SP-75
Válvulas macho de hierro colado, extremos bridados y roscados.	MSS SP-78
Boquillas para soldar insertos reductores.	MSS SP-79
Válvulas de compuerta, globo, angulo y check de bronce.	MSS SP-80
Válvulas de compuerta de cuchilla, bridadas y de bonete de acero inoxidable.	MSS SP-81
Uniones para tubería de acero al carbono, boquillas soldadas y roscadas.	MSS SP-83
Válvulas de globo y angulo de fierro fundido, extremos bridados y roscados.	MSS SP-85
Válvulas tipo diafragma.	MSS SP-88
Accesorios tipo refrigeración abocinado.	SAE J513
Accesorios para tubo hidráulico.	SAE J514
Tubo hidráulico bridado, tubería y conexiones para manguera, 4 pernos hendidos tipo bridado.	SAE J518
-TUBERIA METALICA Y TUBOS.	
Tubería de hierro dúctil para gas, centrifugamente fundida en moldes metálicos o moldes de arena alineados.	ANSI A21.52
Tubería de acero forjada sin costura y soldada.	ANSI B36.10
Tubería de acero inoxidable.	ANSI B36.19
Tubería de línea hidráulica de acero bajo carbono sin costura.	ANSI B02.11
Tubería de hierro fundido y hierro dúctil bridado con bridas roscadas.	AWWA C115

TABLA 3-1. ESTANDARES. (Continuación).

ESTANDARES	DESIGNACION
Diseño de espesores para tubería de hierro dúctil.	AWWA C150
Tubería de hierro dúctil, centrifugamente fundida en moldes metálicos o moldes de arena alineados, para agua y otros líquidos.	AWWA C151
Tubería de acero para agua 6 pulgadas y más grande.	AWWA C200
Tubería a presión, fundición gris y hierro dúctil (para agua y otros líquidos).	FS WW-P-421
-MISCELANEOS.	
Cuerdas de tornillos unificadas en pulgadas.	ANSI B1.1
Tubería roscada (excepto sello seco).	ASME B1.20.1
Tubería roscada sello seco (pulgadas).	ANSI B1.20.3
Cuerdas de tornillo para acoplamiento con mangueras.	ASME B1.20.7
Junta de anillo y ranuras para bridas de tubería de acero.	ANSI B16.20
Junta plana no metálicas para bridas de tubería.	ANSI B16.21
Externos soldados a tope.	ANSI B16.25
Textura superficial.	ANSI B45.1
Inspección de cajas roscadas y calibrado, enrosque, tubería y cuerdas en tubería de línea.	API 5B
Anillos metálicos para tubería, acanalados doble- envoltura y espiral enrollada.	API 601
Junta de anillo de hule para tubería a presión y accesorios de hierro fundido y hierro dúctil.	AWWA C111
Soportes y colgaderos de tubería-materiales, diseño y fabricación.	MSS SP-58
Cuerdas de tornillo y empaques para conexiones de manguera contra incendio.	NFPA 1963

3.4.2 COMPONENTES SIN LISTAR.

(a). Los componentes no listados en la Tabla 3-1 pero los cuales conforman un estándar o especificación publicada, se pueden usar dentro de las siguientes limitaciones:

(1). El diseñador deberá estar satisfecho con la composición, propiedades mecánicas, método de fabricación y control de calidad, comparables a las características correspondientes de los

componentes listados.

(2). La presión de diseño deberá ser verificada de acuerdo con el punto 3.6.

3.4.3 TOLERANCIAS PARA VARIACIONES DE PRESION Y TEMPERATURA, TUBERIA METALICA.

Las variaciones ocasionales de presión y temperatura, o ambas, arriba de los niveles de operación son características de ciertos servicios. La condición más severa de presión y temperatura coincidente durante la variación deberá usarse para determinar las condiciones de diseño a menos que todos los criterios siguientes sean encontrados:

(a) El sistema de tubería no tendrá componentes de contención de presión de hierro fundido u otro metal no dúctil.

(b). Los esfuerzos por presión nominal no excederán el esfuerzo de cedencia a la temperatura.

(c). Esfuerzos longitudinales combinados no excederán los límites, puede ser tanto como 1.33 veces el esfuerzo básico admisible.

(d). El número de ciclos (o variaciones) no excederá 7000 durante la vida útil del sistema de tubería.

(e). En ningún caso se incrementará la presión que exceda a la presión de prueba usada para el sistema de tubería.

(f). Variaciones ocasionales arriba de las condiciones de diseño permanecerán dentro de uno de los siguientes límites para presión de diseño.

(f). Sujeto a la aprobación del cliente, es permisible exceder el "rating" de presión o el esfuerzo admisible para presión de diseño a la temperatura de la condición incrementada, pero no más que:

- 33% Por no más de 10 horas alguna vez y no más de 100 horas/año;
- o
- 20% Por no más de 50 horas alguna vez y no más de 500 horas/año.

(2). Cuando la variación es autolimitada (por ejemplo a un evento de relevo de presión) y dura no más de 50 horas alguna vez y no más de 500 horas/año, es permisible exceder el "rating" de presión o el esfuerzo admisible para presión de diseño a la temperatura de la condición incrementada, pero no más de 20%.

(g). Los efectos combinados de variaciones sostenidas y cíclicas sobre la capacidad de servicio de todos los componentes en el sistema habrá sido evaluada.

(h). Variaciones de temperatura abajo de la temperatura mínima especificada para el material no son permitidas.

3.4.4 ESFUERZOS ADMISIBLES Y OTROS LIMITES DE ESFUERZO PARA TUBERIA METALICA.

Los esfuerzos admisibles definidos en los párrafos siguientes deberán usarse en los cálculos de diseño a menos que sea modificado por otras estipulaciones de esta sección y se hará mención de las Tablas A-1, A-2, A-1A y A-1B del Apéndice "A", contemplado en la referencia (22).

(a). Tensión. Los esfuerzos básicos admisibles en tensión para metales y esfuerzos de diseño S de materiales para pernos, listados en las Tablas A-1 y A-2 respectivamente, son determinados de acuerdo con el punto 3.4.5.

En las ecuaciones donde el producto SE aparece, el valor de S está multiplicado por uno de los factores de calidad siguiente:

(1). El factor de calidad de fundición E_c , será usado para componentes fundidos no teniendo ratings de presión-temperatura establecidos por los estándares de la Tabla 3-1. Los factores de calidad de fundición están tabulados en la Tabla A-1A para las especificaciones listadas.

(2). Los factores de calidad de junta soldada Ej, tabulados en la Tabla A-1B son factores básicos para juntas soldadas longitudinal recta o espiral para componentes sujetos a presión.

Los valores del esfuerzo en las Tablas A-1 y A-2 están agrupados por materiales y formas de producto, y están para temperaturas fijadas hasta el límite estipulado para el material. La interpolación en línea recta entre temperaturas está permitido.

(b). Esfuerzo cortante y de apoyo. Los esfuerzos admisibles en esfuerzo cortante serán 0.80 veces el esfuerzo básico admisible en tensión, tabulado en la Tabla A-1 o A-2. Los esfuerzos admisibles en apoyo serán 1.60 veces el valor.

(c). Compresión. Los esfuerzos admisibles en compresión no serán más grandes que los esfuerzos básicos admisibles en tensión como se tabulan en el Apéndice "A" de la referencia (22). Consideraciones deberán hacerse para la estabilidad estructural.

3.4.5 BASES PARA LOS ESFUERZOS DE DISEÑO.

Las bases para establecer los valores del esfuerzo de diseño de materiales para pernos y valores del esfuerzo admisible para otros materiales en la sección B31.3 son como sigue:

(a). Materiales para pernos. Los valores del esfuerzo de diseño a la temperatura, no excederán el más bajo de lo siguiente:

(1). Un cuarto del esfuerzo de tensión mínimo especificado, a temperatura ambiente.

(2). Dos tercios del esfuerzo de cedencia mínimo especificado a temperatura ambiente.

(3). 100% Del esfuerzo promedio para un deslizamiento de 0.01% por 1000 horas.

(4). 67% Del esfuerzo promedio para ruptura al final de 100,000 horas.

(5). 80% Del esfuerzo mínimo para ruptura al final de 100,000 horas.

(b). Hierro Colado. Los valores del esfuerzo básico admisible a temperatura no excederá el menor de lo siguiente:

Un décimo del esfuerzo de tensión mínimo especificado a temperatura ambiente.

(c). Hierro Maleable. Los valores del esfuerzo básico admisible a temperatura, no excederá el menor de lo siguiente:

Un quinto del esfuerzo de tensión mínimo especificado a temperatura ambiente.

(d). Otros Materiales. Los valores del esfuerzo básico admisible a temperatura para otros materiales para pernos, hierro colado y hierro maleable, no excederá el menor de:

(1). Un tercio del esfuerzo de ruptura mínimo especificado a temperatura ambiente.

(2). Dos tercios del esfuerzo de cedencia mínimo especificado a temperatura ambiente.

(3). Dos tercios del esfuerzo de cedencia a la temperatura, excepto para acero inoxidable austenítico y para algunas aleaciones de níquel, este factor puede ser tan grande como 90% del esfuerzo de cedencia a temperatura (pero nunca más de dos tercios del esfuerzo de cedencia mínimo especificado a temperatura ambiente).

(4). 100% Del esfuerzo promedio para un deslizamiento de 0.01% por 1000 horas.

(5). 87% Del esfuerzo promedio para ruptura al final de 100,00 horas.

(6). 80% Del esfuerzo mínimo para ruptura al final de 100,000

horas.

(7). Para materiales con grado estructural, el esfuerzo básico admisible será 0.92 veces el valor más bajo determinado en el punto (1) hasta (7) de este inciso.

3.5 SOBRESPESORES.

En la determinación del espesor mínimo requerido de un componente de tubería se deberán incluir, sobreespesores por corrosión, erosión y profundidad de la rosca (cuerda) o profundidad de la ranura.

Cuando sea necesario el espesor de la pared será incrementado para prevenir sobreesfuerzo, daño, aplastamiento o pandeo debido a cargas sobrepuestas de soportes, formación de hielo, relleno u otras causas. Donde el incremento en el espesor causara esfuerzos locales excesivos o el riesgo de una fractura quebradiza, de otro modo sea impracticable, el esfuerzo requerido puede ser obtenido a través de soportes adicionales, abrazaderas u otros medios sin incrementar el espesor de pared.

Consideración particular se dará al esfuerzo mecánico de conexiones de tubería pequeña, a la tubería o equipo.

3.6 CALCULO DE ESPESORES.

3.6.1 TUBERIA METALICA RECTA.

Los espesores requeridos de secciones de tubería recta serán determinados de acuerdo con la ecuación 3-1.

$$t_m = t + c$$

(3-1)

El espesor mínimo para la tubería seleccionada, considerando las tolerancias del fabricante, no será menor que t_m .

La nomenclatura usada en las ecuaciones para presión de diseño de tubería recta es la siguiente:

- t_m = Espesor mínimo requerido, incluyendo tolerancias mecánicas, corrosión y erosión.
- t = Espesor por presión de diseño, calculado de acuerdo con la ecuación (3-4) para presión interna o determinado en acuerdo con el punto 3.6.3 para presión externa.
- c = La suma de las tolerancias mecánicas (cuerda o profundidad de la ranura) más sobreespesor por corrosión y erosión.
- d = Diámetro interior del tubo.
- P = Presión de diseño interna manométrica.
- D = Diámetro exterior del tubo.
- S = Esfuerzo básico admisible para el material.
- E = Factor de calidad definido en el punto 3.4.5.
- T = Espesor de la pared del tubo (medido o mínimo por especificación adquirida).
- Y = Coeficiente de la Tabla 3-2, válido para $t < D/6$ y para los materiales mostrados. El valor de Y puede ser interpolado para temperaturas intermedias. Para $t \geq D/6$,

$$Y = \frac{d + 2c}{d + D + 2c} \quad (3-2)$$

TABLA 3-2. VALORES DEL COEFICIENTE Y PARA $t < D/6$.

MATERIALES	TEMPERATURA. °F (°C)					
	000 (482) Δ	050	1000 (538)	1050 (566)	1100 (599)	1150 (621) Δ
	INFERIOR	(510)	(538)	(566)	(599)	ARRIBA
ACEROS FERRITICOS	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
ACEROS AUSTENITICOS	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
OTROS METALES DUCTILES	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Hierro Colado	0.0	...	...	...	...	...

3.8.2 TUBERIA RECTA BAJO PRESION INTERNA.

(a). Para $t < D/6$, el espesor por presión de diseño interna para tubería recta no será menor que el calculado de acuerdo con la ecuación 3-3.

$$t = \frac{P D}{2(SE + PY)} \quad (3-3)$$

La ecuación 3-4, 3-5, o 3-6 pueden usarse en lugar de la ecuación

3-3:
$$t = \frac{P D}{2SE} \quad (3-4)$$

$$t = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{SE-P}{SE+P}} \right] \quad (\text{Ecuación de Lamé}) \quad (3-5)$$

$$t = \frac{P (d + 2c)}{2 \left\{ SE - P(1-Y) \right\}} \quad (3-6)$$

(b). Para " $t \geq D/6$ " o para $P/SE > 0.385$, los cálculos del espesor por presión de diseño para tubería recta requiere de consideraciones especiales de factores tales como teoría de fallas, efectos de fatiga y esfuerzos térmicos.

3.8.3 TUBERIA RECTA BAJO PRESION EXTERNA.

El espesor mínimo requerido de una tubería bajo presión externa, cualquiera de las dos, con costura o con unión a tope longitudinal, será determinado de acuerdo al procedimiento descrito en párrafos subsiguientes.

Los símbolos definidos a continuación serán usados en los procedimientos de este punto, haciendo mención del Apéndice "5" de la referencia (23).

A = Factor determinado de la Fig. 5-UGO-28.0 en el Apéndice 5 usado para entrar a la carta del material aplicable en el mismo Apéndice 5.

B = Factor determinado de la carta del material aplicable en el Apéndice 5 para temperatura de diseño máxima del metal.

D_e = Diámetro exterior del tubo, en pulgadas.

E = Modulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi (para este valor, ver la carta del material

aplicable en el Apéndice 5D.

L = Longitud total de un tubo, en pulgadas.

P = Presión de diseño externa, en psi.

P_a = Valor calculado de presión de trabajo externa admisible para el valor considerado de "t", en psi.

R_o = Radio exterior de la coraza esférica en condición corroída, en pulgadas.

t = Espesor mínimo requerido de la coraza cilíndrica o tubo, o coraza esférica sin contar tolerancias por corrosión, en pulgadas.

(f). Cilindros teniendo valores de $D_o/t \geq 10$:

Paso 1. Considerar un valor de "t" y determinar las relaciones L/D_o y D_o/t .

Paso 2. Entrar a la Fig. 5-UGO-28.0 en Apéndice 5 con el valor de L/D_o determinado en el paso 1. Para valores mayores que 50, entrar a la carta con un valor de $L/D_o=50$. Para valores de L/D_o menores que 0.05, entrar a la carta con un valor de $L/D_o= 0.05$.

Paso 3. Moverse horizontalmente sobre la línea hasta el valor de D_o/t determinado en el paso 1. La interpolación puede hacerse para valores intermedios de D_o/t . En este punto de intersección moverse verticalmente hacia abajo para determinar el valor del factor "A".

Paso 4. Usando el valor de "A" calculado en el paso 3, entrar a la carta del material aplicable en el Apéndice 5, para el material bajo consideración. Moverse verticalmente a la intersección con la línea del material/temperatura para la temperatura de diseño. La interpolación puede hacerse entre líneas para temperaturas intermedias.

En caso de que el valor de "A" caiga a la derecha del final de la línea material/temperatura, considerar una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura. Para valores de "A" que caigan a la izquierda de la línea material/temperatura, ver el paso 7.

Paso 5. De la intersección obtenida en el paso 4, moverse horizontalmente a la derecha y leer el valor del factor "B".

Paso 6. Usando este valor de "B", calcular el valor de la presión externa máxima admisible, P_a , usando la fórmula siguiente:

$$P_a = \frac{4 B}{3(D_o/t)} \quad (3-7)$$

Paso 7. Para valores de "A" que caigan a la izquierda de la línea del material/temperatura aplicable, el valor de Pa puede ser calculado usando la fórmula siguiente:

$$P_a = \frac{2 A E}{3(D_o/t)} \quad (3-8)$$

Paso 8. Comparar el valor calculado de Pa obtenido en los pasos 5 o 7 con P. Si Pa es más pequeño que P, seleccionar un valor mayor para "t" y repetir el procedimiento de diseño hasta que el valor de Pa obtenido sea igual o mayor que P.

(2). Cilindros teniendo valores de $D_o/t < 10$:

Paso 1. Usando el mismo procedimiento dado en el párrafo anterior, obtener el valor de "B". Para valores de D_o/t menor que 4, el valor del factor "A" puede ser calculado usando la fórmula siguiente:

$$A = \frac{1.1}{(D_o/t)^2} \quad (3-9)$$

Para valores de "A" mayores que 0.10, usar un valor de 0.10.

Paso 2. Usando el valor de "B" obtenido en el paso 1, calcular un valor de Pa1 usando la fórmula siguiente:

$$P_{a1} = \left[\frac{2.187}{(D_o/t)} - 0.0633 \right] B \quad (3-10)$$

Paso 3. Calcular un valor de Pa2 usando la fórmula siguiente:

$$P_{a2} = \frac{2 S}{D_o/t} \left[1 - \frac{1}{D_o/t} \right] \quad (3-11)$$

Donde S es el más pequeño de dos veces el valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño del metal, o 0.9 veces el esfuerzo de cedencia tabulado del material a la temperatura de diseño.

Paso 4. El menor de los valores de Pa1 calculados en el paso 2, o Pa2 calculado en el paso 3 será usado para la presión externa máxima admisible Pa. Comparar Pa con P. Si Pa es menor que P, seleccionar un valor mayor para "t" y repetir el procedimiento de diseño hasta que un valor de Pa obtenido sea igual o mayor que P.

3.7 LIMITACIONES SOBRE TUBERIA METALICA ESPECIFICA.

3.7.1 TUBERIA LIMITADA A SERVICIO DE FLUIDO CATEGORIA "D".

La siguiente tubería de acero al carbono puede usarse solo para servicio de fluido categoría D:

API 5L, soldadura a horno.

ASTM A-53, tipo F.

ASTM A-120.

ASTM A-134 hecha de otra diferente a la placa de ASTM A-285.

ASTM A-211.

3.7.2 TUBERIA LIMITADA PARA OTRO SERVICIO DE FLUIDO DISTINTO A LA CATEGORIA "D".

Cuando sea usado para otro servicio de fluido diferente al de la categoría "D", la siguiente tubería de acero al carbono será salvaguardada:

ASTM A-134 hecha de ASTM A-285 placa.

ASTM A-139.

3.7.3 TUBERIA PARA CONDICIONES CICLICAS SEVERAS.

Solo la tubería siguiente deberá usarse bajo condiciones ciclicas severas:

(a). Tubería de acero al carbono.

API 5L, grado A o B, sin costura.

API 5L, grado A o B, SAW, costura $E_j \geq 0.05$.

API 5L, grado X42, sin costura.

API 5L, grado X46, sin costura.

API 5L, grado X52, sin costura.

API 5L, grado X56, sin costura.

API 5L, grado X60, sin costura.

ASTM A-53, sin costura.

ASTM A-106.

ASTM A-333, sin costura.

ASTM A-359.

ASTM A-381, $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-524.

ASTM A-571. $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-572. $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-591. $E_j \geq 0.90$.

(b). Tubería de aleación de acero baja e intermedia.

ASTM A-333. sin costura.

ASTM A-335.

ASTM A-358.

ASTM A-425. $E_c \geq 0.90$.

ASTM A-571. $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-572. $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-591. $E_j \geq 0.90$.

(c). Tubería de aleación de acero inoxidable.

ASTM A-268. sin costura.

ASTM A-312. sin costura.

ASTM A-358. $E_j \geq 0.90$.

ASTM A-375.

ASTM A-430.

ASTM A-451. $E_c \geq 0.90$.

(d). Tubería de cobre y aleación de cobre.

ASTM B-42.

ASTM B-465.

(e). Tubería de níquel y aleación níquel.

ASTM B-161.

ASTM B-165.

ASTM B-167.

ASTM B-407.

(f). Tubería de aleación de aluminio.

ASTM B-210. temple O y H-112.

ASTM B-241. temple O y H-112.

3.8 REQUISITOS DE DISEÑO PERTENECIENTES A TUBERIA DE RELEVO DE PRESION.

La tubería de relevo de presión y protección por sobrepresión estará conforme a los siguientes requisitos.

3.8.1 VALVULAS DE BLOQUEO EN TUBERIA PARA DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE RELEVO DE PRESION.

No deberán intervenir válvulas de bloqueo entre tubería siendo protegida y su dispositivo protector o dispositivos, o entre el dispositivo protector o dispositivos y el punto de descarga, excepto lo siguiente:

(a). Las válvulas de bloqueo pueden usarse en tubería de relevo de presión si están así construidas o que el cierre posible del número máximo de válvulas de bloqueo a la vez, no reduzca la capacidad de relevo de presión estipulada para el dispositivo de relevo que no es afectado.

(b). Una válvula de bloqueo de Área total puede ser instalada sobre el lado de entrada de un dispositivo de relevo de presión. Se puede colocar una válvula de bloqueo sobre el lado de descarga de un dispositivo de relevo de presión, cuando su descarga está conectada a un cabezal común con otras líneas de descarga de otros dispositivos de relevo de presión. Válvulas de bloqueo de menor área total pueden usarse sobre el lado de entrada y el lado de descarga de dispositivos de relevo de presión como se bosquejó en el párrafo anterior, si estas válvulas son de tal tipo y tamaño que el incremento en la caída de presión no reduzca la capacidad de relevo abajo de la requerida, no afectando adversamente la operación propia del dispositivo de relevo de presión.

(c). Las válvulas de bloqueo deberán estar arregladas para que puedan ser cerradas o selladas en ambas posiciones, la abierta y la cerrada.

3.8.2 TUBERIA DE DESCARGA PARA DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE RELEVO DE PRESSION.

Las líneas de descarga de dispositivos de seguridad de relevo de presión deberán ser diseñados para facilitar el drenaje. Cuando se esté descargando directamente a la atmósfera, la descarga no deberá chocar con otra tubería o equipo y estará dirigida arriba de plataformas y otras áreas usadas por el personal. Reacciones sobre el sistema de tubería debido a la actuación de dispositivos de relevo de seguridad deberán ser considerados y el esfuerzo adecuado será proporcionado para resistir estas reacciones.

3.9 MATERIALES Y ESPECIFICACIONES.

La selección de materiales para resistir deterioro en servicio no esta dentro del alcance de este capítulo. Sin embargo se describirán algunos parámetros que deben tomarse en cuenta para seleccionar el material conveniente.

Materiales adecuados deberán ser especificados o seleccionados para usarse en tubería, soportes de tubería y en otros servicios asociados no cubiertos por esta sección pero los cuales afectan la seguridad de la tubería.

Los factores principales para ser considerados en la selección de un material de construcción estan resumidos en la Figura 3-2.

La selección final deberá ser un compromiso entre la competencia técnica y los factores económicos.

En la especificación de un material, la tarea usualmente requiere tres etapas:

1. Listar los requisitos.
2. Seleccionar y evaluar los materiales candidatos.
3. Escoger el material más económico.

Los requisitos típicos y algunos de los procedimientos involucrados en hacer una selección estan dados en la Tabla 3-2.

FIG. 3-2 LA SELECCION DEL MATERIAL PROPIO DE CONSTRUCCION PARA ALGUN PROPOSITO DEPENDE DE ESTOS FACTORES.

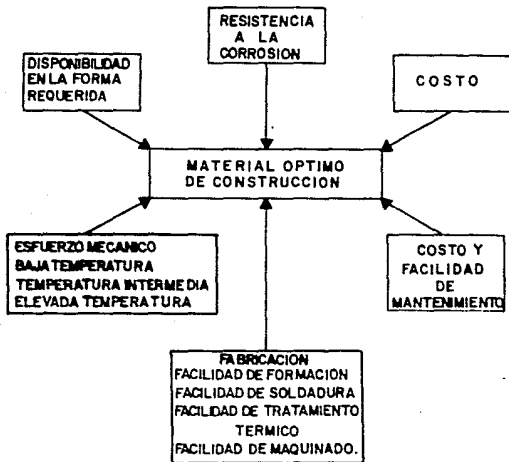


TABLA 3-2. "CHECKLIST" PARA SELECCION DE MATERIALES.

<u>REQUISITOS PARA SER REUNIDOS.</u>
Propiedades (corrosión, mecánicas, físicas, apariencia). Fabricación (habilidad para ser formado, soldado, maquinado). Compatibilidad con el equipo existente. Mantenimiento. Alcance de la especificación. Disponibilidad de datos de diseño.
<u>CONSIDERACIONES DE SELECCION.</u>
Vida total de la planta o proceso. Capacidad de servicio estimada del material. Integridad (seguridad y consecuencias económicas de la falla). Disponibilidad y tiempo de entrega. Necesidad para una prueba adicional. Costos del material. Costos de fabricación. Costos de mantenimiento e inspección. Análisis del retorno de la inversión. Comparación de otros métodos de control de corrosión.

3.9.1 MATERIALES METALICOS.

(a). Materiales Listados. Algun material usado en componentes de tubería sujetos a presión estará conforme a la especificación listada, excepto lo estipulado en el inciso (b).

(b). Materiales No listados. Los materiales no listados pueden ser usados estipulando si ellos conforman una especificación publicada, abarcando las propiedades químicas, físicas y mecánicas, método y proceso de fabricación, tratamiento térmico y control de calidad, y de otro modo satisfacer los requisitos de la sección B31.3. Los esfuerzos admisibles serán determinados de acuerdo con la base del esfuerzo admisible aplicable de la sección B31.3 o una base más conservadora.

(c). Materiales Desconocidos. Materiales desconocidos no serán usados para componentes de tubería sujetos a presión.

(d). Materiales Metálicos Recuperados. Tubería recuperada y otros componentes de tubería se pueden usar, estipulando si están propiamente identificados conformando una especificación listada o publicada (inciso (a) o (b)) y de otro modo satisfacer los requisitos de la sección B31.3. Limpieza e inspección suficiente deberá hacerse para determinar el espesor de pared mínimo y libre de imperfecciones, las cuales deberán ser inaceptables en el servicio destinado.

3.9.2 LIMITACIONES DE TEMPERATURA.

El diseñador deberá verificar que los materiales los cuales reúnan otros requisitos de la sección, son convenientes para el servicio en todo el rango de temperatura de operación. La atención es dirigida a la nota (7) en el Apéndice "A" de la referencia (22), la cual explica los medios usados para fijar ambos límites de temperatura de precaución y restrictiva en la tabla A-1 y A-2 para metales.

(a). Límites de temperatura, materiales listados.

(1). Excepto lo estipulado en el punto (2), un material listado no será usado a una temperatura de diseño mayor que la máxima para la cual un valor de esfuerzo o "rating" se muestra.

(2). Un material listado puede ser usado a una temperatura mayor que la condición máxima en (1) si no hay prohibición en el Apéndice "A" de la referencia (22) o en otra parte de la sección del código, y si el diseñador verifica la capacidad de servicio del material de acuerdo con el inciso (d).

(b). Límites de temperatura inferiores, materiales metálicos listados.

(1). Excepto lo estipulado en el punto 2 un material listado no será usado a una temperatura de diseño inferior a la temperatura mínima mostrada en el Apéndice "A".

(2). Un material listado puede ser usado a una temperatura menor que la condición mínima en (1) si no hay prohibición en el Apéndice "A" o en otra parte de sección B31.3, y si el diseñador verifica la capacidad de servicio del material de acuerdo con el inciso (d).

(c). Límites de temperatura, materiales sin listar.

Un material sin listar, aceptable bajo el inciso (b) del punto 3.8.1 será calificado para servicio a todas las temperaturas dentro de un rango fijado, desde la temperatura mínima de diseño a la temperatura máxima de diseño, de acuerdo con el inciso siguiente.

(d). Verificación de la capacidad de servicio.

(1). Cuando un material no listado es usado o cuando un material listado es usado a una temperatura mayor o menor que los límites establecidos en el Apéndice "A" de la referencia (22) el diseñador es responsable de demostrar la validez de los esfuerzos admisibles y otros límites usados en diseño y del acercamiento tomado en el

uso del material, incluyendo la derivación del dato de esfuerzo y el establecimiento de límites de temperatura.

(2). El dato para el desarrollo de los límites de diseño serán obtenidos de un programa científico firme en conformidad con la tecnología reconocida para el material y las condiciones de servicio propuestas. Los factores a ser considerados incluyen:

Aplicabilidad y seguridad del dato, especialmente para los extremos del rango de temperatura.

Resistencia del material a efectos de deterioro por servicio del fluido y del medio ambiente por todo el rango de temperatura; y

Determinación de los esfuerzos admisibles de acuerdo con el punto 3.4.4.

3.9.3 LIMITACIONES DE SERVICIO DEL FLUIDO SOBRE MATERIALES METÁLICOS.

Las limitaciones descritas a continuación aplican a partes sujetas a presión. No aplican a materiales usados para apoyos, juntas, empaques o pernos.

(a). Limitaciones específicas.

(1). Hierro Dúctil. No será usado para partes sujetas a presión abajo de -20°F (-29°C) (excepto hierro dúctil austenítico) o arriba de 650°F (343°C). El hierro dúctil austenítico conforme a ASTM A-571 puede ser usado a temperaturas abajo de -20°F (-29°C) hasta la temperatura de la prueba de impacto de acuerdo con la especificación pero no abajo de -320°F (-196°C).

Válvulas teniendo cuerpos y bonetes o cubiertas hechas de materiales conforme a ASTM A-395 y reúnan los requisitos de ANSI B16.42 y requisitos adicionales de ANSI B16.34 clase estándar. API 593, API 604 o API 609 pueden usarse dentro de los "ratings"

presión-temperatura dados en ANSI B16.42.

La soldadura no será usada en la fabricación o reparación de componentes de hierro dúctil ni en el montaje de tales componentes en un sistema de tubería.

(2). Otros hierros colados. Los siguientes no serán usados bajo condiciones cíclicas severas. Si salvaguardas se proveen contra calor excesivo, choque térmico, choque mecánico y mal uso, estos serán usados en otros servicios sujetos a las limitaciones siguientes:

El hierro colado no será usado sobre el terreno dentro de los límites de la unidad de proceso en hidrocarburos u otro servicio de fluido flamable a temperaturas arriba de 300 °F (149 °C) ni a presiones manométricas arriba de 150 psi (1030 kPa), en otros sitios el límite de presión será de 400 psi (2760 kPa).

El hierro maleable no será usado en algún servicio de fluido a temperaturas abajo de -20 °F (-29 °C) o arriba de 650 °F (343 °C) y no será usado en servicios de fluido flamable a temperaturas arriba de 300 °F (149 °C) ni a presiones arriba de 400 psi (2760 kPa).

Hierro de alto silicio (14.5% Si) no será usado en servicio de fluido flamable. El fabricante deberá ser consultado para "ratings" de presión-temperatura y para medidas de precaución cuando se usa este material.

(3). Otros materiales metálicos.

Si soldadura o corte térmico es llevado a cabo sobre piezas fundidas de aluminio, los valores de esfuerzo de la referencia (22) y la clasificación de los componentes listados en la Tabla 3-1 no son aplicables. Es responsabilidad del diseñador establecer tales esfuerzos y clasificación consistente con los requisitos de la sección B31.3.

Plomo y estaño y sus aleaciones no serán usadas en servicio de fluido flamable.

3.9.4 DETERIORO DE MATERIALES EN SERVICIO.

La selección del material para resistir deterioro en servicio no está dentro del alcance de esta sección. Es responsabilidad del diseñador seleccionar materiales adecuados para el servicio del fluido.

3.9.5 ESPECIFICACION DEL MATERIAL.

La especificación de un material que se va a emplear para un determinado proceso y/o servicio debe indicar: la clase, libraje de bridas, material, tolerancia por corrosión, códigos aplicables, limitaciones de diámetro y espesor, así como condiciones máximas de temperatura y presión de la tubería.

Es muy importante que esté bien identificado el fluido a manejar, el servicio que va a prestar y las características corrosivas de este.

A continuación se describen algunos servicios que se manejan más comúnmente en los proyectos de explotación, así como sus características.

A). *GAS AMARGO HIDRATADO*. Un gas natural es amargo cuando contiene H_2S (g), CO_2 (g) y agua líquida o bien cuando la humedad relativa del gas es superior al 60% dado que esto incrementa la probabilidad de condensado. Según la referencia (34), si la presión parcial del H_2S es superior a 0.05 psia, es suficiente para que se produzca el fenómeno corrosivo de SSC ("sulfide stress cracking") corrosión bajo esfuerzo en presencia de sulfuros. Hay que tomar en cuenta que una tubería siempre está sujeta a esfuerzos, ya sea residuales (por trabajo mecánico o por efectos de temperatura) o bien por cargas externas.

Para evitar el fenómeno corrosivo se deben usar aceros al carbono de baja resistencia o aceros de extra bajo azufre, del tipo A-106 Gr B, API 5L Gr B, API 5L X42 y API 5L X52. La velocidad de corrosión promedio permisible es de 13 mpy (0.013 pulgadas/año).

B). GAS AMARGO DESHIDRATADO. Una corriente de gas que contiene H₂S y CO₂, es un gas amargo por el hecho de contener gases ácidos, sin embargo si la corriente de gas que no contiene agua líquida o bien la humedad relativa es menor del 60% se dice que es un gas amargo deshidratado.

Se recomiendan aceros al carbono del tipo A-106 Gr B, API 5L Gr B, API 5L X42 y API 5L X52.

Este gas no es agresivo al acero de la tubería; pero si no se puede garantizar que efectivamente la corriente no lleva nada de agua líquida o en forma de vapor, se deben tomar precauciones, por que es recomendable dar a la tubería un espesor de 0.125 pulg. Para terminar este punto se incluye la Tabla 3-3, la cual es una guía preliminar para especificar materiales de tubería.

3.10 PRUEBA DE FILTRACION REQUERIDA.

Antes de iniciar la operación, cada sistema de tubería deberá ser probado para asegurar impermeabilidad. La prueba deberá ser una prueba de filtración hidrostática de acuerdo con el punto 3.11 excepto lo que sea estipulado aquí:

(a). Cuando el cliente considere impracticable una prueba de filtración hidrostática, cualquiera de las dos, una prueba neumática de acuerdo con el punto 3.12 o una prueba combinada hidrostática-neumática de acuerdo con el punto 3.13 deberá ser sustituta, reconociendo el riesgo de energía almacenada en el gas comprimido.

(b). El cliente puede considerar impracticable las pruebas, hidrostática y neumática, si las condiciones siguientes aplican:

(1). Una prueba hidrostática dañará el revestimiento o aislamiento interno, o contaminará un proceso, el cual será riesgoso, corrosivo o inoperante con la presencia de humedad, o presentará un peligro de fractura quebradiza debido a baja temperatura del metal durante la prueba;y

TABLA 3-3. GUÍA PRELIMINAR PARA ESPECIFICAR MATERIAL DE TUBERÍA.

SERVICIO	TEMPERATURA MÁXIMA (°F)	PRESIÓN MÁXIMA (PSIG)	MATERIAL RECOMENDADO	ESPECIFICACIÓN	RFIDING	TOLERANCIA A LA CORR. (P.A.S.)	OBSERVACIONES
HIIDROCARBUROS ANÁLISIS DE PRESIÓN	140	15	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B	150 #F	0.125	ANSI B31.3
GAS SEQUESTRABLE	210 -24 MÍNIMO	210 28 MÍNIMO	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B	150 #F	0.0625	ANSI B31.3
SISTEMA DE DESFOGUE	-50 MÍNIMO	250	ACERO AL CARBONO	ACER. GR. B	150 #F	0.05	ANSI B31.3
SISTEMA DE DESFOGUE	-20 MÍNIMO	200	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B API 5L GR. B	150 #F	0.125	ANSI B31.3
HIIDROCARBUROS ANÁLISIS HIIDROCARBUROS RECUPERADOS	210	130	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B API 5L GR. B	150 #F	0.125	ANSI B31.3
GAS ANÁLISIS HÚMEDO GAS HÚMEDO	275	150	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B API 5L GR. B	150 #F	0.125	ANSI B31.3
SISTEMA DE DESFOGUE	-170 MÍNIMO	200	ACERO INOXIDABLE	A312 GR. TP 304	150 #F	0.00	ANSI B31.3
GRAS ANÁLISIS	140	155	ACERO AL CARBONO	A106 GR. B API 5L GR. B	150 #F	0.125	ANSI B31.3

101

TABLA 2-3. GUÍA PRELIMINAR PARA ESPECIFICAR MATERIAL DE TUBERÍA (CONTINUACIÓN).

SERVICIO	TEMPERATURA MÁXIMA (°F)	PRESIÓN MÁXIMA (PSIE)	MATERIAL RECOMENDADO	ESPECIFICACIÓN	BRIDAS	TOLERANCIA A LA CORR. (PULG.)	OBSERVACIONES
HIDROCARBUROS ANFISOS	100	550	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E	300 BR.	0.125	ANSI B31.3
GAS COMESTIBLE	70	500	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E	300 BR.	0.125	ANSI B31.3
GAS ANFISO	280 210	507 550	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E	300 BR.	0.125	ANSI B31.3
HIDROCARBUROS	100	500	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E A52 GR. E	300 BR.	0.06	ANSI B31.3
GAS HÚMEDO	210	1200	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E A51.5 GR. B	6X BRF	0.125	ANSI B31.3 INST. EN TIERRA
GAS ANFISO	210	1200	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E A51.5 GR. B	600 BRF	0.125	ANSI B31.3
GAS COMESTIBLE, VAPORES DE HIDROCARBUROS ANFISOS Y DESHIDRATADOS	210	1200	ACERO AL CARBONO	A106 GR. E A51.5 GR. B	600 BRF	0.125	ANSI B31.3

(2). Una prueba neumática presentará un riesgo indebido de una posible liberación de energía almacenada en el sistema, o presentará el peligro de una fractura quebradiza debido a la baja temperatura del metal durante la prueba.

3.11 PRUEBA DE FILTRACION HIDROSTATICA.

3.11.1 FLUIDO DE PRUEBA.

El fluido será agua a menos que haya la posibilidad de daño debido al congelamiento o a efectos adversos del agua sobre la tubería o el proceso. En este caso otro líquido conveniente no tóxico puede ser usado. Si el líquido es flamable, su punto de inflamación no será menor de 120 °F (49 °C).

3.11.2 TUBERIA METALICA, PRESION DE PRUEBA.

Exceptuando lo estipulado en el punto 3.11.3, la presión de prueba hidrostática en algún punto en un sistema de tubería metálica, será como sigue:

(a). No menos que 1.5 veces la presión de diseño.

(b). Para temperatura de diseño arriba de la temperatura de prueba, la presión de prueba mínima será calculada por la ecuación 3-12, excepto que el valor de S_r/S no excederá 6.5:

$$P_r = 1.5 P \frac{S_r}{S} \quad (3-12)$$

Donde:

P_r = Presión de prueba hidrostática mínima, manométrica.

P = Presión de diseño interna, manométrica.

S_r = Valor del esfuerzo a la temperatura de prueba.

S = Valor del esfuerzo a la temperatura de diseño.

(c). Si la presión de prueba definida arriba, produce un esfuerzo que excede el esfuerzo de cedencia a la temperatura de prueba, la presión de prueba puede ser reducida a la presión máxima que no exceda el esfuerzo de cedencia a la temperatura de prueba.

3.11.3 PRUEBA HIDROSTATICA DE TUBERIA CON RECIPIENTES COMO UN SISTEMA.

(a). Cuando la presión de prueba de la tubería conectada a un recipiente es la misma o menor que la presión de prueba del recipiente, la tubería puede ser probada con el recipiente a la presión de prueba de la tubería.

(b). Donde la presión de prueba de la tubería exceda la presión de prueba del recipiente, y no es considerado factible aislar la tubería del recipiente, la tubería y el recipiente pueden ser probados juntos a la presión de prueba del recipiente, estipulando la aprobación del dueño y la presión de prueba del recipiente no es menor que 77% de la presión de prueba de la tubería calculada de acuerdo con el punto 3.11.2 (b).

3.12 PRUEBA DE FILTRACION NEUMATICA.

3.12.1 PRECAUCIONES.

La prueba neumática involucra el riesgo de liberar energía almacenada en un gas comprimido. Particular cuidado deberá tomarse para minimizar la probabilidad de una falla durante la prueba de filtración neumática. La temperatura de prueba es importante en este aspecto y deberá ser considerada cuando el diseñador elija el material de construcción.

3.12.2 DISPOSITIVO DE RELEVO DE PRESION.

Un dispositivo de relevo de presión será abastecido, teniendo una presión de ajuste no mayor que la presión de prueba más, 50 psi (340 kPa) o 10% de la presión de prueba, el que sea menor de estos valores.

3.12.3 FLUIDO DE PRUEBA.

El gas usado como fluido de prueba, si no es aire, será no-flamable y no tóxico.

3.12.4 PRESION DE PRUEBA.

La presión de prueba será 110% de la presión de diseño.

3.12.5 PROCEDIMIENTO.

La presión será gradualmente incrementada hasta una presión manométrica la cual sea menor que un medio de la presión de prueba o llegar a 25 psi (170 kPa), a la cual un chequeo preliminar será hecho, incluyendo inspección de juntas. Después, la presión será gradualmente incrementada en pasos hasta que la presión de prueba se alcanza, conteniendo la presión en cada paso lo suficiente, para compensar los esfuerzos de la tubería. La presión entonces será reducida a la presión de diseño antes del examen para fugas.

3.13 PRUEBA DE FILTRACION HIDROSTATICA-NEUMATICA.

Si una combinación de prueba de filtración hidrostática-neumática es usada, los requerimientos del punto 3.12 deberán reunirse y la presión en la parte de la tubería llena de líquido no excederá los límites del punto 3.11.2.

CAPITULO 4

EJEMPLO DE APLICACION.

4.0 ALCANCE.

Desarrollar un ejemplo de aplicación con objeto de analizar, dimensionar y especificar líneas y equipo de desfogue para fluidos compresibles en unidades de proceso. Para lograr esto, se hace la revisión al sistema de desfogue existente de una de las Plataformas de Producción Temporal (NA-1 y NA-2) del Complejo Central Nohoch "A", localizado en la Zonda de Campeche.

4.1 ANTECEDENTES.

La coordinación del Proyecto Cantarell (Pemex), Zona Marina, solicitó al Instituto Mexicano del Petróleo a través de la residencia SIPE-IMP en Cd. del Carmen, Camp., realizar el estudio para revisar los sistemas de desfogue existentes (alta y baja presión) de las Plataformas de Producción de los Complejos Akal "J", Akal "C" y Nohoch "A", de tal forma que los sistemas sean capaces de operar de acuerdo a los nuevos flujos máximos del

Proyecto Cantarell; evitando el envío de corrientes en fase líquido-gas al quemador elevado y mejorando la operación del sistema de desfogue.

4.2 GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO CANTARELL.

Para dar solución a los problemas en el manejo de la producción originados por las contrapresiones al abatir la presión en la cabeza de los pozos productores, ha sido necesario prever los arreglos adecuados para facilitar el flujo de hidrocarburos hasta los Complejos Centrales dada la menor energía disponible en el yacimiento.

A los niveles de presión que se requerirá operar en etapas futuras de explotación los desajustes o descontroles normales en algunos de los cabezales puede bloquear el flujo de los otros campos.

La alternativa seleccionada busca la conveniencia de disminuir los costos de inversión y operación mediante la utilización del concepto "Sistemas Modulares de Producción", el cual considera el envío por separado del gas y aceite.

Ese concepto considera la instalación de equipo para el manejo de bajas capacidades y constituido en trenes que permite ajustarse a los requerimientos del campo.

De acuerdo a esta filosofía se definieron las instalaciones de procesamiento y ductos de transporte requeridos para lograr la integración de la producción.

Considerando la ubicación de los campos productores en la Zonda de Campeche y su localización relativa con respecto de los Complejos Centrales existentes (Akal "J", Akal "C" y Nohoch "A"), se determinó la necesidad de instalar Complejos Centrales (de menor capacidad y mayor simplicidad que los existentes) en Akal "N" y "G", los cuales desempeñarán las funciones de separación, compresión y bombeo de su área geográfica hacia los Complejos Akal "J" y "C" respectivamente.

4.3 FILOSOFIA OPERATIVA DEL PROYECTO CANTARELL.

En la Fase I de explotación (Fig. 4-1), la producción de las plataformas Akal "S" y Akal "R" se separan en esta última, la corriente de aceite fluirá por la línea de 14" e a Nohoch A-2, interconectandose al cabezal (B) para entrar a separación de 1a. etapa. La corriente de gas llegará por línea de 24" e a Nohoch "A" para integrarse a la succión de Booster.

La producción de la plataforma Akal "H", fluirá en dos fases, a través de un ducto existente de 20" e y un ducto nuevo de 24" e.

De la plataforma Nohoch "B" la mezcla gas-aceite se enviará por un ducto existente de 18" e y otro de 24" e que se construirá.

La mezcla gas-aceite de Nohoch "C", se enviará a Nohoch "A" por un ducto nuevo de 24" e. Todas estas corrientes entrarán a separación de 1a. etapa en Nohoch "A".

En la Fase II de explotación (Fig. 4-2), los ductos de 14" e y 24" e Akal "R"-Nohoch "A" se interconectarán al cabezal de 3 Kg/cm² de entrada de aceite al tanque de balance (separador de 2a. etapa) y al cabezal de succión de Booster, respectivamente.

En las plataformas Akal "H", Nohoch "B" y Nohoch "C" se instalarán separadores y las corrientes de aceite y gas se enviarán a Nohoch "A"; el aceite entrará al tanque de balance y el gas al cabezal de succión de Booster.

4.4 BASES DE ESTUDIO.

Para el presente estudio el objeto de análisis es la Plataforma de Producción Temporal Nohoch A-2 y las bases son:

Flujo de gas de acuerdo a la capacidad instalada de separación para cada etapa.

COMPLEJO CAPACIDAD	ARAL "C"	ARAL "D"	REQUERIDA "A"
INSTALADA	840	960	380
REQUERIDA	320	432	308

SIMBOLOGIA

PRODUCCION (MBPD-MMPCSD)

DIAMETRO, pulg x LONGITUD, Km.

PRESION P, EN kg/cm² MEE

////// LINEA ADICIONAL

———— OLEODUCTO

- - - - - GASODUCTO

----- MEZCLA

□ COMPLEJO CENTRAL

○ COMPLEJO MODULAR PERIFERICO

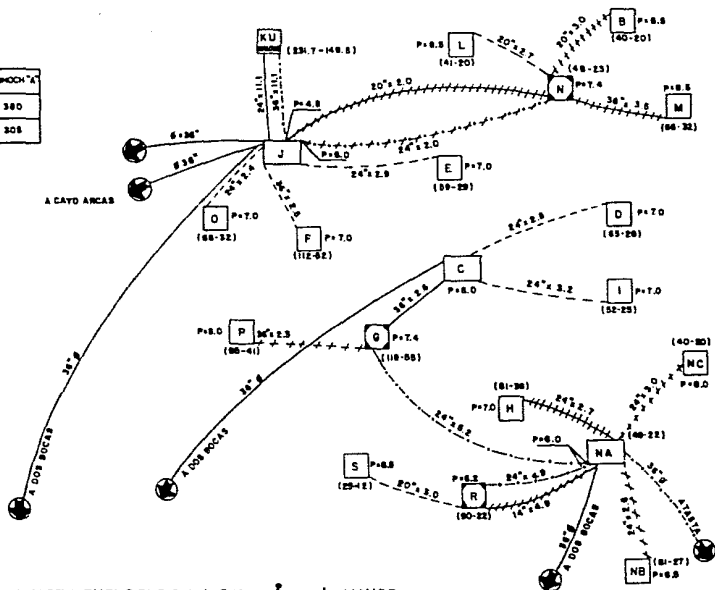


FIG. 4-1 FASE I EXPLOTACION A 8 Kg cm² MEE MAYOR







COMPLEJO	ANAL. 1°	ANAL. 2°	MOHOCHO
CAPACIDAD	340	360	360
INSTALADA	340	360	360
REGUERDA	380	430	300

SIMBOLOGIA

PRODUCCION (MBPD-MBPCSD)

DIAMETRO, MM. x LONGITUD, M.

PRESION P, EN KG/CM. MCM

	LINEA ADICIONAL
	OLEODUCTO
	BRIDDUCTO
	WELCLA
	COMPLEJO CENTRAL
	COMPLEJO MODULAR PERIFERICO
	PLATAFORMAS PERIFERICAS DE SERVICIO

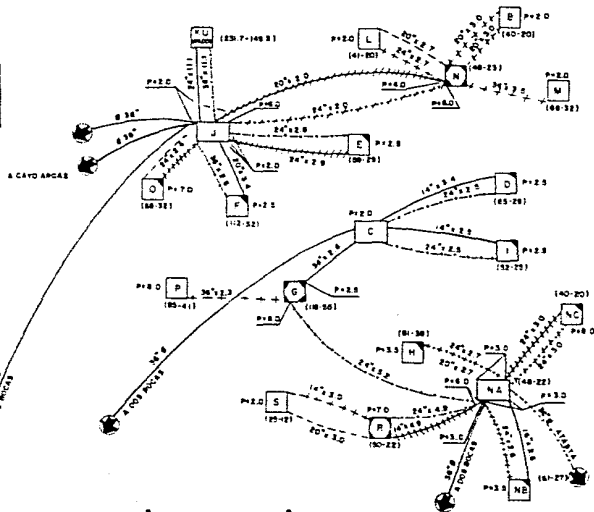


FIG. 4-2 FASE II EXPLOTACION A MENOS DE 8 Kg/cm² Y HASTA 2 Kg/cm² man

Filosofía operativa en las Plataformas de Producción considerando el Proyecto Cantarell.

- * Fase I: dos etapas de separación.
- * Fase II: una etapa de separación.

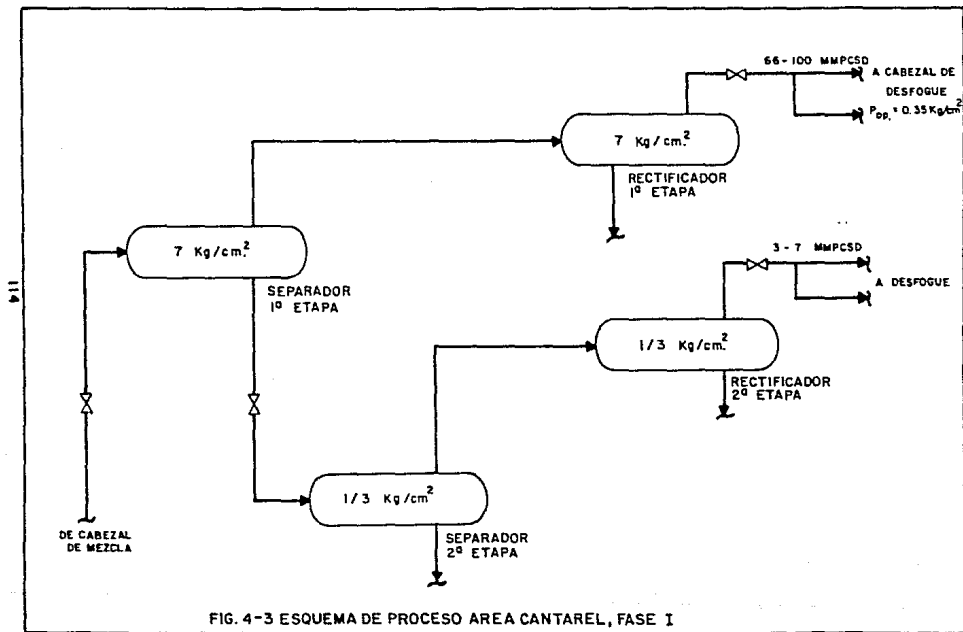
Presiones de operación en la Batería.

- * Fase I: 7 Kg/cm² man. (Máx.) (1a. etapa de separación).
3 Kg/cm² man. (Máx.) (2a. etapa de separación).
- * Fase II: 3 y 1 Kg/cm² man. (separación en baja presión).

Composición de gas, correspondiente a la mezcla del Campo Cantarell.

Esquemas de bases de estudio.

- a). Esquema de proceso área Cantarell, Fase I. (Ver Figura 4-3).
- b). Esquema de proceso Akal "C" y "J", Fase II. (Ver Figura 4-4).
- c). Esquema de proceso Nohoch "A", Fase II. (Ver Figura 4-5).
- d). Tabla de flujo de gas en función de la capacidad de separación instalada. (Ver Tabla 4-1).



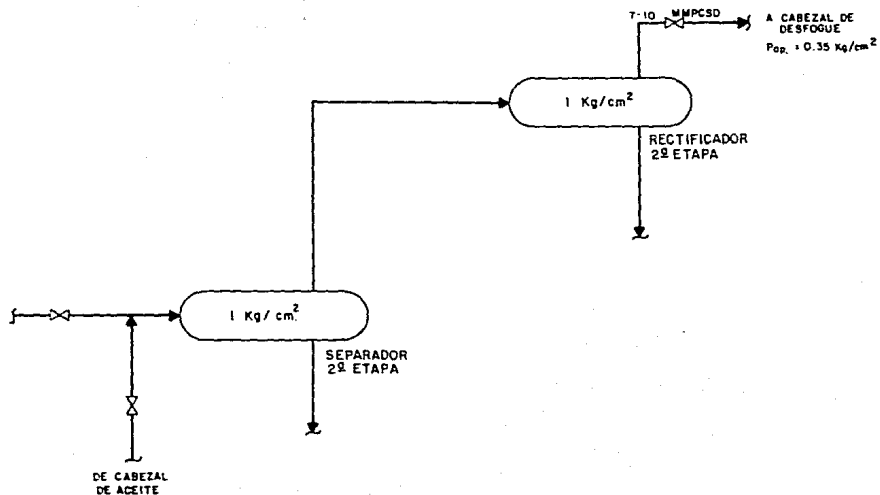


FIG. 4-4 ESQUEMA DE PROCESO AKAL "C" Y "J" FASE II

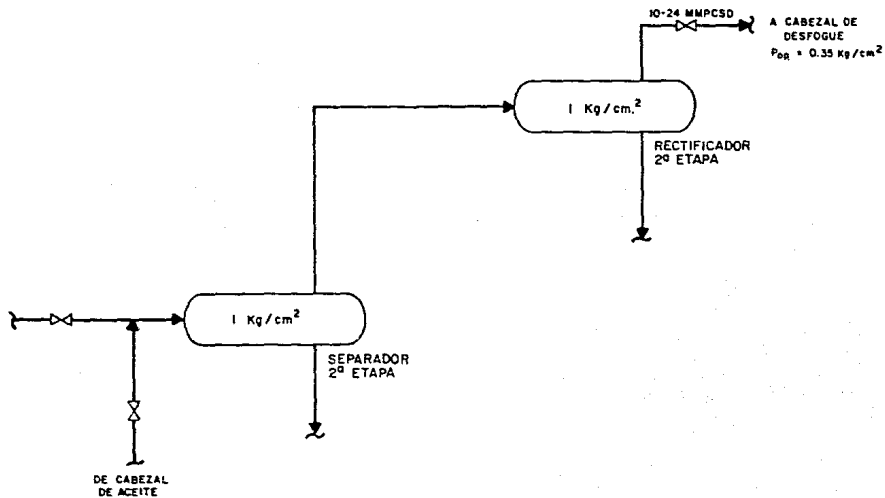


FIG. 4 - 5 ESQUEMA DE PROCESO NOHOCH "A", FASE II

TABLA 4-1. FLUJO DE GAS: MMPCSD (1).

PLATAFORMA DE PRODUCCION	PRESION DE SEPARACION (MAN.)			
	FASE I		FASE II	
	7 kg/cm ²	8 kg/cm ²	-	1 kg/cm ²
NOHOCH A-1 CAP. SEP.: 100 MBPD	69	3	-	24
(2) NOHOCH A-2 CAP. SEP.: 220 MBPD	95	4	-	25

Notas:

(1) Referido a la capacidad máxima de separación en cada plataforma.

(2) Caso de estudio.

Información complementaria obtenida de otros Proyectos desarrollados.

Planos de Localización General de Equipo.

Diagrama de Tubería e Instrumentación de Proceso. Sistema de separación.

Esquemas de isométricos, líneas de gas.

4.5 DESARROLLO.

A continuación se describen las actividades que se efectúan para la revisión del sistema de desfogue existente de la Plataforma de Producción Temporal Nohoch A-2.

4.5.1 SISTEMA DE DESFOGUE.

Para efectuar el análisis de los sistemas de desfogue actuales, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

A). Se consideran sistemas independientes de desfogue para alta y baja presión.

B). Revisión de los tamaños de las válvulas de control de presión y válvulas de seguridad existentes en el sistema de separación de la plataforma, con el objeto de verificar que cumplan con las condiciones requeridas debido a los nuevos flujos máximos.

C). Revisión de la configuración geométrica existente de los sistemas de desfogue de alta y baja presión.

D). Cálculo de las contrapresiones generadas, velocidad del fluido y velocidad sónica en los sistemas de desfogue de alta y baja presión (Fase I y II).

E). Cálculo de diámetros de líneas de acuerdo a la ecuación de Conison (sección 2.5), para sistemas que presentan problemas de velocidad sónica y/o contrapresión, con el objeto de evitar dichos problemas.

F). Revisión a la especificación de las líneas de desfogue (material utilizado, espesor de tubería y clase).

4.5.2 LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.

A). Dimensionamiento de los tanques de desfogue de alta y baja presión, considerando el caso más crítico.

Se estima con el caso más crítico la relación gas-condensado, obtenida a partir de la expansión de la presión de operación del

sistema hasta la presión atmosférica.

B). Para determinar la localización del equipo de desfogue de alta y baja presión, se plantearon las alternativas que se describen a continuación:

1.- Localización de los tanques separadores y de las bombas de condensados de desfogue de alta y baja presión en el tripode intermedio al quemador.

2.- Localización de los tanques separadores y de las bombas de condensados de desfogue de alta y baja presión en el 1er. nivel de la plataforma.

4.5.3 CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO.

Para llevar a cabo el dimensionamiento del equipo de bombeo, se efectuan las siguientes actividades:

A). Dimensionamiento de las bombas de condensados de desfogue de alta y baja presión (Fase I y II), cuando el equipo de desfogue se localiza en el tripode intermedio al quemador.

B). Dimensionamiento de las bombas de condensados de desfogue de alta y baja presión (Fase I y II), cuando el equipo de desfogue se localiza en el 1er. nivel de la plataforma.

4.5.4 DETERMINACION DE LA INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.

La instrumentación básica que deberá instalarse en el equipo auxiliar del sistema de desfogue, se determinó en base a los siguientes aspectos:

A). Operación intermitente de los tanques de desfogue de alta o baja presión.

B). Operación automática de las bombas de recuperación de los condensados de desfogue.

4.5.5 QUEMADORES EXISTENTES.

En el análisis de los quemadores elevados existentes, se realiza la siguiente actividad:

Dimensionamiento de los quemadores elevados (alta y baja presión) donde se incluye; características del quemador (diámetro y altura), flujo máximo de gas, criterios de diseño como son el número de Mach y el nivel de radiación permitido.

4.6 RESULTADOS.

En la tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos de la revisión al sistema de desfogue existente alta y baja presión de la Plataforma de Producción Temporal Nohoch A-2.

Tabla 4-2. Revisión de válvulas controladoras de presión del sistema de separación.

Tabla 4-3. Revisión de válvulas de seguridad del sistema de separación.

Fig. 4-6. Configuración del sistema de desfogue de alta presión. Plataforma de Producción Temporal Nohoch A-2.

Fig. 4-7. Configuración del sistema de desfogue de alta presión. Plataforma de Enlace Complejo Central Nohoch "A".

Fig. 4-8. Configuración del sistema de desfogue de baja presión. Plataforma de Producción Temporal Nohoch A-2.

Tabla 4-4A. Revisión de las líneas de desfogue del sistema de separación. (Fase I).

Tabla 4-4B. Revisión de las líneas de desfogue del sistema de separación. (Fase II).

Tabla 4-5. Información para revisión del espesor de tuberías de desfogue.

Tabla 4-6A. Revisión del espesor de tuberías de desfogue.

Tabla 4-6B. Espesor recomendado para tuberías de desfogue.

Tabla 4-7. Dimensiones de tanques de desfogue de alta y baja presión.

Tabla 4-8. Características de bombas de recuperación de condensados de desfogue alta y baja presión.

Tabla 4-9. Características de quemadores elevados alta y baja presión.

Anexo "C".

C.1 Hojas de datos de tanques de desfogue.

C.2 Hojas de datos de bombas de recuperación de condensados de desfogue.

Anexo "D".

D.1 Esquemas de localización del equipo de desfogue.

D.2 Esquemas de Diagramas de Tubería e Instrumentación del equipo de desfogue.

TABLA 4-2. REVISIÓN DE VALVULAS CONTROLADORAS DE PRESIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN.

PLATAFORMA	TIPO	FLUIDO (WPPSS)	TAMAÑO DE VALV. INDICIA, CANTARELL	DISEÑO CONSIDERADO	DIF. DE PRES. (PSI)	C _d CALCULADO	ABERTURA (GRADOS)	OBSERVACIONES
MOXICH 4-2	RECTIFICADOR ALTA PRESIÓN	94.8 (FASE I)	12" (DOS) (EXISTENTES)	V-100 (+X) BOLA 1.5 A 1	72.0	17827	40 - 60	NOTA 1
	RECTIFICADOR BAJA PRESIÓN	4.073 (FASE I)	12" (UNA) (INSTRUM. NUEVA)	V-100 (+X) BOLA 1.5 A 1	37.0	3 563	10 - 20	NOTA 2
		16.0 (NORMAL) (FASE II)			8.5	22 543	50 - 60	
24.5 (NORMAL) (FASE II)	8.5	59 092	70 - 90					

NOTAS:

- 1.-SE REQUERIRÁ VERIFICAR EL DISEÑO DE LA VALVULA EXISTENTE EN LA HOJA DE ESPECIFICACION DE LA MISMA.
- 2.-LA VALVULA OPERARA EN UN RANGO DENSIDAD APLIC: SE PREVEE UN CONTROL ESCASO DURANTE LA FASE I.
- 3.-EL PROCEDIMIENTO DE CALCULO UTILIZADO PARA LAS VALVULAS CONTROLADORAS DE PRESION ESTA DE ACUERDO A LA COMPANIA DE CONTROL FISHER.

TAJLA 4-3. REVISIÓN DE VALVULAS DE SEGURIDAD DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN.

PLATAFORMA	EQUIPO	VALVULA DE SEGURIDAD (PSV) EXISTENTE:				VALVULA DE SEGURIDAD (PSV) CALCULADA:					OBSERVACIONES	
		TAMAO (CAPACIDAD)	EFICIENCIA	P. AJUSTE (PSIG)	TEMP. RELIEVO (GRADOS F.)	TAMAO (CAPACIDAD)	EFICIENCIA	FLUIDO A RELIEVAR POR VALVULA (LBS/HR)	P. AJUSTE (PSIG)	T. RELIEVO (SECT. F.)		CAUSA DE RELIEVO
MOCCA-102	RECTIFICADOR DE 14. ETAPA	6" x 8" (205)	—	—	—	6" x 8" (205)	75%	127.00	127.5	125.0	DESCARGA EXCESSIVA	NOTA 1
	RECTIFICADOR DE 24. ETAPA	6" x 8" (205)	—	—	—	6" x 8" (205) (NOTA 2)	75%	80.00	71.1	126.0	DESCARGA EXCESSIVA	NOTA 4
		6" x 10" (205) (NOTA 2)	—	—	—							

NOTA:

- 1.- VERIFICAR QUE LAS VALVULAS EXISTENTES TENGAN COMO TAMAO EFICIENTE 75% PARA METAN ACESILADAMENTE EN PASE II.
- 2.- UNA VALVULA EXISTENTE DE 6" x 8" INCREMENTA EL FLUIDO RELIEVADO PARA DESCARGA EXCESSIVA EN PASE II.
- 3.- TAMAO MINIMO DE VALVULA CALCULADA PARA CUMPLIR LAS CONDICIONES DE PASE I Y II.
- 4.- LAS VALVULAS EXISTENTES CUMPLEN LAS CONDICIONES DE DESPRES DE LA PASE I Y II.
- 5.- EL PROCEDIMIENTO DE CALIDAD UTILIZADO PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD ESTA DE ACUERDO A API-576-101 Y API-576-102-103.

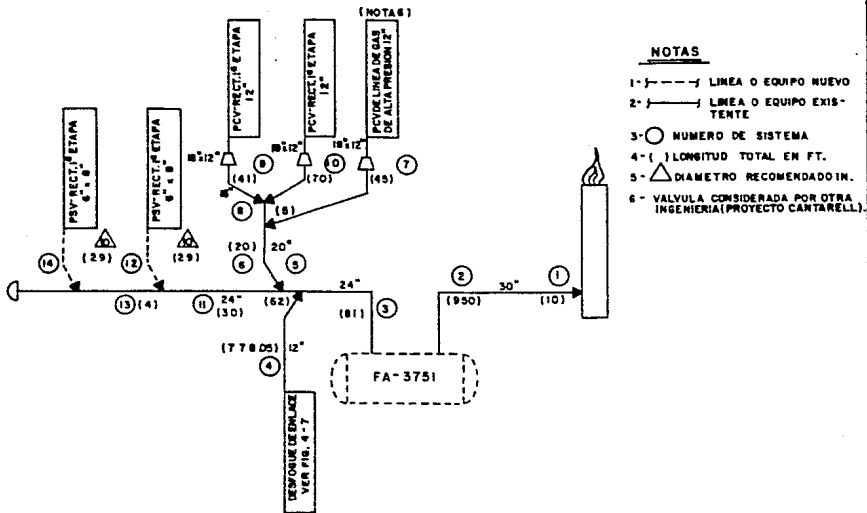
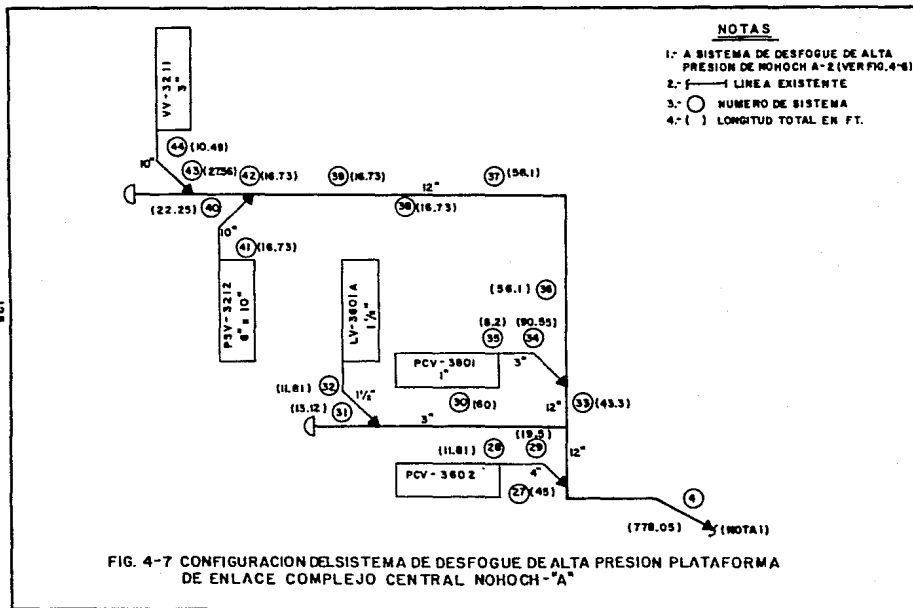


FIG. 4-6 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE DESFOQUE DE ALTA PRESION PLATAFORMA DE PRODUCCION TEMPORAL NOHOCH A - 2



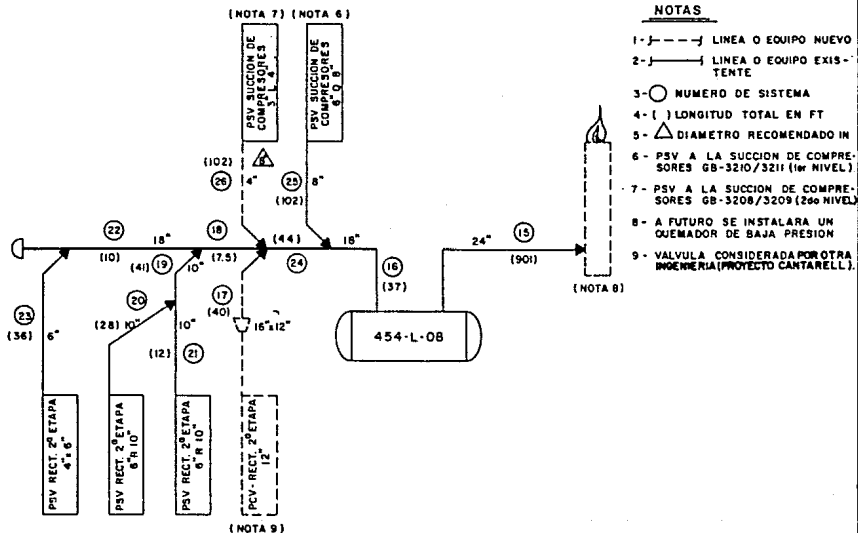


FIG. 4-8 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE DESFOGUE DE BAJA PRESION PLATAFORMA DE PRODUCCION TEMPORAL NOHOCH A-2

TABLA 4-44. REVISIÓN DE LAS LÍNEAS DE DESPLAZE DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN (FASE II).

PLATAFORMA	NIVEL DE PRESIÓN	LÍNEA O EQUIPO	VALVULA (S) DESPL.	FLUJO POR VALV. (G/HR)	COMPRESION (CONV. RECON. (IN))	CONTRAPRESION ESTIMADA (PSIA)	MAXIMA CONTRAPRESION (PSIA)	VEL. MAX. DEL FLUIDO EN EL SECT. (FPS)	VELOCIDAD SONICA (FPS)	PROBLEMAS DE CONTRAPRESION	PROBLEMAS DE VELOCIDAD DEL FLUIDO	OBSERVACIONES
KOCO	ALTA PRESION	RECTIFICADOR DE 1 ^a ETAPA	REV-6-410 6" x 6" CUMI	137.00 (NOTA 1)	8	26.15	52.07	1022.6	1024.3	NO SE PRESENTAN	SE PRESENTAN (2)	NOTA 3
			REV-6-410 6" x 6" CUMI	137.00 (NOTA 1)	10	24.67	-	610.0	1061.9	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 3
		SEPARACION-TRAZA	REV-6-410 6" x 6" CUMI	137.00 (NOTA 1)	10	22.00	-	195.1	1044.6	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	-
		SEPARACION	REV-6-410 6" x 6" CUMI	137.00 (NOTA 1)	10	21.00	-	360.1	1062.7	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 7
FASE II	BAJA PRESION	RECTIFICADOR DE 2 ^a ETAPA	REV-6-410 6" x 6" CUMI	14.00 (NOTA 1)	8	26.15	26.0	175.6	1016.4	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 4
		SEPARACION-TRAZA	REV-6-410 6" x 6" CUMI	14.00 (NOTA 1)	10	19.70	27.11	27.1	1019.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 7
		SEPARACION	REV-6-410 6" x 6" CUMI	14.00 (NOTA 1)	8	26.10	-	106.9	1010.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	-
		SEPARACION	REV-6-410 6" x 6" CUMI	14.00 (NOTA 1)	4	24.00	26.0	269.0	1024.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	-

NOTAS:

1. CAPACIDAD DE FLUIDO REFERIDA POR VALVULA, PARA OPERAR EN FASE II.
2. VELOCIDAD REFERIDA AL DIAMETRO DE LA VELOCIDAD SONICA.
3. PARA FASES DE CALIDAD DE CAMBIERES VALVULA CRITICO "A".
4. PARA FASES DE CALIDAD DE CAMBIERES VALVULA CRITICO "B".
5. CAPACIDAD DE FLUIDO REFERIDA POR VALVULA, PARA OPERAR EN FASE III.
6. PARA EL CALCULO DE LAS CONTRAPRESIONES SE UTILIZO LA EQ. DE ESTEYER (SECCION 2.5.1).

7. VALVULA CONSIDERADA POR LA INGENIERIA DEL PROYECTO 100-PA-1715A.
8. ESTA VALVULA SE ANEXIADA PARA MANEJAR EL FLUIDO A RELEVAR EN FASE II.
9. ESTAS VALVULAS SON ANEXIADAS PARA MANEJAR EL FLUIDO A RELEVAR EN FASE III.
10. LOS DATOS REPORTADOS SON RESULTADO DEL ANALISIS DE EVENTOS INSPECTORIOS EN REV-6-410.

Tabla A-48. REVISIÓN DE LAS LÍNEAS DE RESERVA DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN (FASE III).

PLATAFORMA	NIVEL DE PRESIÓN	LÍNEA DE RESERVA	VALOR DE RESERVA	FLUJO POR VELOCIDAD SUPERIOR (L/HR)	CONTRAPRESIÓN (PSIA)	VELOCIDAD SUPERIOR (FPS)	VELOCIDAD INFERIOR (FPS)	PROBLEMAS DE VELOCIDAD DEL FLUIDO	PROBLEMAS DE VELOCIDAD DEL FLUIDO	CONSERVACIONES		
VICO	Baja Presión	RECTIFICADOR DE DIL. STERIL	75-80 UAN	40.00	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 4	
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	-	-	20.0	-	-	-	-	
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	10	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 5
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	-	-	-	-	-	-	-	
FASE III	Baja Presión	LAPEZADA 4514	75-80 UAN	80.00	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 5	
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	-	-	20.0	-	-	-	-	
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	10	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 5
FASE III	Baja Presión	LAPEZADA 4514	75-80 UAN	80.00	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 5	
		LAPEZADA 4514	75-80 UAN	NOTA 5	10	24.25	-	100.0	100.0	NO SE PRESENTAN	NO SE PRESENTAN	NOTA 5

(Continúa)

1. DIMENSIONES DE RELIEVO RELEVANTES POR VELOCIDAD PARA JERINGA EN FASE III.
2. VELOCIDAD SUPERIOR A 80.0 ES LA VELOCIDAD CRÍTICA.
3. PARA FASES DE CALIDAD SE CONSIDERAN VELOCIDADES INFERIORES.
4. PARA FASES DE CALIDAD SE CONSIDERAN VELOCIDADES SUPERIORES.
5. DIMENSIONES DE RELIEVO RELEVANTES POR VELOCIDAD PARA JERINGA EN FASE III.
6. PARA EL CALIDAD DE LAS CONTRAPRESIONES SE UTILIZA LA DE MÁS CALIDAD (NOTA 5).

7. VELOCIDAD CONSIDERADA PARA LA INGENIERÍA DEL PROYECTO (INSTRUMENTACIÓN).
8. ESTA VELOCIDAD ES ADECUADA PARA MANEJAR EL FLUIDO A RELEVANTE EN FASE I.
9. ESTAS VELOCIDADES SON ADECUADAS PARA MANEJAR EL FLUIDO A RELEVANTE EN FASE III.
10. LOS DATOS REPORTADOS SON RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE EVENTOS INDEPENDIENTES EN PERTE O P. S.

TABLE 4-1. INFORMATION FROM SECTION OF TESTS IN THERMAL STABILITY.

PLASTICITY	NO. OF PRESS.	SIZE OF SPECS.	FAULT OR VAL. (L-R)	TEMP. LINE (IN)	TEMP. OF FELT (DEG. F.)	PRESSURE IN AIR (PSI)	TEMP. FEA. (DEG. F.)	CONTR. (PSI)	WATER (PSI)	TEMP. IN FELT (DEG. F.)	REMARKS
GOOD	1	PS-5A 1" x 8" (25)	17-21	10"	185	127.9	26.4	24.7	32.07	26.47	OK 1
		PS-5B 1" x 8" (25)	17-21	10"	185	126.5	25.2	23.8	34.57	25.21	
		PS-5C 1" x 8" (25)	18-24	10"	187	126.5	25.2	23.2	34.57	25.21	(OK 2)
FAIR	2	PS-6A 1" x 8" (25)	14-21	8"	174	71.11	71.41	22.11	24.1	71.41	
		PS-6B 1" x 8" (25)	14-21	8"	187	62.47	22.58	19.72	27.31	22.58	
		PS-6C 1" x 8" (25)	15-21	8"	184	71.11	71.74	22.11	24.1		
GOOD	3	PS-6A 1" x 8" (25)	5-42	8"	184	71.11	71.22	21.22	24.1	71.22	
		PS-6B 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1		
		PS-6C 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
FAIR	4	PS-6A 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
		PS-6B 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
		PS-6C 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
GOOD	5	PS-6A 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
		PS-6B 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	
		PS-6C 1" x 8" (25)	17-21	8"	185	71.11	71.11	22.11	24.1	64.07	

OK.

1. IN THIS PART OF TESTS, ALL CONDITIONS WERE IN PRESSURE OF AIR AND TEMPERATURE OF AIR.
2. IN THIS PART OF TESTS, ALL CONDITIONS WERE IN PRESSURE OF AIR AND TEMPERATURE OF AIR.
3. TEMPERATURE WERE GIVEN IN TABLE OF RESULTS OF ALL PRESSURE.
4. TEMPERATURE WERE GIVEN IN TABLE OF RESULTS OF ALL PRESSURE.

Tabla 4-6A. REVISIÓN DEL ESPESOR DE TUBERÍAS DE DESFOGUE.

DIÁMETRO (in)	CLASE (NOTAS 2 Y 3)	ESPECIFI- CACION DEL MATERIAL	ESPESOR EXISTENTE			ESPESOR CALCULADO (NOTA 1)				DIÁMETRO INTERIOR (in)	OBSERVACIONES
			SECCION	ESPE- SOR COMERCIAL tc (in)	TOLE- RANCIA POR CORA. t (in)	ESPE- SOR POR PD t' (in)	ESPE- SOR MÍN. RES. ts (in)	ESPE- SOR COMERCIAL tc (in)	SECCION			DIÁMETRO EXTERNO (in)
2	AS1A	A-106 Gr. B	80	0.218	0.125	0.0075	0.128	0.154	40	2.375	2.667
4	AS1A	A-106 Gr. B	40	0.237	0.125	0.015	0.140	0.227	40	4.500	4.026
6	AS1A	A-106 Gr. B	40	0.280	0.125	0.025	0.147	0.280	40	6.75	6.045
8	AS1A	A-106 Gr. B	40	0.311	0.125	0.03	0.151	0.311	38	8.625	8.125
10	AS1A	A-106 Gr. B	40	0.385	0.125	0.0375	0.162	0.385	28	10.75	10.25
12	AS1A	A-106 Gr. B	28	0.250	0.125	0.045	0.170	0.250	28	12.75	12.25
14	AS1A	A-106 Gr. B	10	0.250	0.125	0.0525	0.1775	0.250	10	14.0	13.50
16	AS1A	A-106 Gr. B	10	0.250	0.125	0.06	0.185	0.250	10	16.0	15.50
18	AS1A	API-5L Gr. B	-	0.375	0.125	0.0675	0.192	0.375	10	18.0	17.50
20	AS1A	API-5L Gr. B	-	0.375	0.125	0.075	0.20	0.375	10	20.0	19.50
24	AS1A	API-5L Gr. B	-	0.375	0.125	0.09	0.215	0.375	10	24.0	23.50
30	AS1A	API-5L Gr. B	-	0.375	0.125	0.1125	0.2375	0.375	10	30.0	29.50
36	AS1A	API-5L Gr. B	-	0.375	0.125	0.15	0.26	0.375	-	36.0	35.50

NOTAS:

1. BASES DE CÁLCULO:

MATERIAL = A-106 Gr. B
 BASE = 20,000 PSI @ 200 Secc. F - 400 Secc. F
 E = 1.0

PRESION DE DISEÑO = 150 PSIG
 TOL. POR CORROSION = 0.125 PULG.

2. CLASE AS1A CONDICIONES DE DISEÑO:

PRESION MAX. = 150 PSIG
 TEMP. MAX. = 400 Secc. F
 TOL. POR CORROSION = 0.125 PULG.

3. ESTA CLASE SE UTILIZA PARA CONDICIONES DE SERVICIO
 MUYAS QUE CUMPLAN "SIC" (ARREGLAMIENTO MÁS ESFUERZO EN
 PRESENCIA DE DEFECTOS). ESTANDAR NACE W-01-75) TÍPICO
 LAS SOLDADURAS TENDRAN UNA DUREZA MÁXIMA DE 21 HRC
 Y SE ELIMINARÁN POR RAYOS "X" AL 100%.

4. PARA EL CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LA TUBERÍA SE UTILIZARON
 LAS ECUACIONES D-4 Y D-5 (SECCION 3.6 DEL CAPITULO D).

SELECCION DEL MATERIAL DE TUBERIA DE DESFOGUE.

Información requerida:

Temperatura máxima de relevo = 185.0 °F.
Presión de ajuste máxima = 127.0 psig.
Temperatura mínima de relevo = 133.0 °F.
Presión de ajuste mínima = 14.22 psig.
Temperatura mínima teórica en tanque = 1.22 °F.
Temperatura máxima teórica en tanque = 98.98 °F.
Máxima contrapresión estimada (Fase I) = 24.87 psia.

Con la información anterior y con ayuda de la Tabla 3-3. (Sección 3.9) para selección y especificación de material de tubería se tiene lo siguiente:

Servicio = Sistema de desfogue.

Material recomendado = Acero al carbono.

Especificación = A-108-Gr.B.

API-5L-Gr.B. ($e \geq 4"$)

Bridas = 150 # R.F.

Tolerancia a la corrosión = 0.125 pulg.

Código de diseño = ANSI/ASME B31 SECCION 3 (Tabla A-1 de la referencia No. 22)

MATERIAL	ESPECIFICACION	GRADO	TEMPERATURA MINIMA (°F)	ESFUERZO	
				MINIMO ES- PECIFICADO	RUP. CED. (KSI)
Acero al Carbono	A-108	B	-20	80	35
(Tubería).	API-5L	B	-20	80	35

(Continuación)

MATERIAL	ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO BASICO ADMISIBLE (BAS . KSI).		
			@ TEMP. METAL. (°F).	<100	200	300
Acero al Carbono	A-106	B	20.0	20.0	20.0
(Tubería).	API-5L	B	20.0	20.0	20.0

Donde:

1 Ksi = 1000 psi.

TABLA 4-11. ESPESOR RECOMENDADO PARA TUBERIAS DE Sulfuro.

DIAMETRO (in)	ESPESOR EXISTENTE						ESPESOR RECOMENDADO						OBSERVACIONES
	CLASE NOTAS 2 Y 31	ESPECIFI- CACION DEL MATERIAL	CELULA	ESPESOR COMERCIAL (in)	TELENCANCIA POR CORR. (in)	CLASE NOTAS 4 Y 51	CELULA	ESPECIFI- CACION DEL MATERIAL	DIAMETRO EXTERNO (in)	DIAMETRO INTERIOR (in)			
2	A21A	A-106 B-1.0	80	0.018	0.018	A21A	80	A-106 B-1.0	2.375	1.973			
4	A21A	A-106 B-1.0	40	0.017	0.018	A21A	40	A-106 B-1.0	4.500	4.028			
6	A21A	A-106 B-1.0	40	0.018	0.018	A21A	40	A-106 B-1.0	6.750	6.045			
8	A21A	A-106 B-1.0	40	0.017	0.018	A21A	40	A-106 B-1.0	8.625	7.961			
10	A21A	A-106 B-1.0	40	0.018	0.018	A21A	40	A-106 B-1.0	10.750	10.012			
12	A21A	A-106 B-1.0	38	0.018	0.018	A21A	38	A-106 B-1.0	12.750	12.018			
14	A21A	A-106 B-1.0	38	0.018	0.018	A21A	38	A-106 B-1.0	14.0	13.500			
16	A21A	A-106 B-1.0	38	0.018	0.018	A21A	38	A-106 B-1.0	16.0	15.500			
18	A21A	API-5-B-1.0	-	0.018	0.018	A21A	0.020	API-5-B-1.0	18.0	17.500			
20	A21A	API-5-B-1.0	-	0.018	0.018	A21A	0.020	API-5-B-1.0	20.0	19.500			
24	A21A	API-5-B-1.0	-	0.018	0.018	A21A	0.020	API-5-B-1.0	24.0	23.500			
30	A21A	API-5-B-1.0	-	0.018	0.018	A21A	0.020	API-5-B-1.0	30.0	29.500			
36	A21A	API-5-B-1.0	-	0.018	0.018	A21A	0.020	API-5-B-1.0	36.0	35.500			

153

NOTAS:

- BASES DE DISEÑO:
MATERIAL: A-106 B-1.0
TEMP. PUL. = 400 SOm. F.
TEMP. VAL. = 400 SOm. F.
TELENCANCIA A LA CORROSION = 0.018 PUL.
MAYOR DE DISEÑO = 150 PSIG
TUB. POR CORROSION = 1/8"
- CLASE A21A CONDICIONES DE DISEÑO:
PRESION MAX. = 1500 PSIG
TEMP. PUL. = 400 SOm. F.
TELENCANCIA A LA CORROSION = 0.018 PUL.
- ESTA CLASE SE UTILIZA PARA CONDICIONES DE SERVICIO:
MAYOR QUE 1500 PSIG (INCLUYENDO BAJOS ESPESORES EN
PRESENCIA DE Sulfuro), ESTANDAZ MAZE 49-01-73.
- PARA EL CALIBRO DE LOS ESPESORES DE TUBERIA SE UTILIZAN
LAS SIGUIENTES TABLAS CON DIFERENTES MAYORES DE DISEÑO
Y SE ESTABLECEN POR MAYOR 11" A 1000.
- CLASE A21A CONDICIONES DE DISEÑO:
PRESION MAX. = 1500 PSIG
TEMP. PUL. = 400 SOm. F.
TELENCANCIA A LA CORROSION = 0.018 PUL.
- ESTA CLASE SE UTILIZA PARA CONDICIONES DE SERVICIO:
MAYOR QUE 1500 PSIG (INCLUYENDO BAJOS ESPESORES EN
PRESENCIA DE Sulfuro), ESTANDAZ MAZE 49-01-73.
- PARA EL CALIBRO DE LOS ESPESORES DE TUBERIA SE UTILIZAN
LAS SIGUIENTES TABLAS CON DIFERENTES MAYORES DE DISEÑO
Y SE ESTABLECEN POR MAYOR 11" A 1000.

TABLA 4-7. DIMENSIONES DE TANQUES DE DESFOBLE DE ALTA Y BAJA PRESION.

PLATAFORMA DE PRODUCCION	NIVEL DE PRESSION	FLUJO EQ. (MPPSD)	FLUJO		LONGITUD T-1 IN (FT)	DIAMETRO IN (FT)	L / D	TIEMPO DE RESIDENCIA	OBSERVACIONES
			SAS	LIGUIDO					
MICHON A-2 (FASE I)	ALTA PRESSION	95.0	92.4	36.7 / 1258.2	306 (12.5)	102 (8.5)	3	20	NOTAS 1 Y 2
	1A ETAPA				212 (26)				NOTAS 3 Y 7
	BAJA PRESSION	4,070	4,058	0.5 / 17.14	72 (6)	24 (2)	3	20	NOTAS 1 Y 4
	2A ETAPA				72 (6)				NOTA 3
MICHON A-2 (FASE III)	BAJA PRESSION	25.0	24,492	0.3 / 10.28	190 (15)	60 (5)	3	20	NOTA 1 Y 5
					192 (16)	60 (5)	3.2		NOTA 3
					174 (14.5)	60 (5)	2.2		NOTA 6 Y 7

NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES REPORTADAS CORRESPONDEN A LA ALTERNATIVA DE SISTEMAS DE DESFOBLE INDEPENDIENTES.
2. FASE I: SEPARADOR DE 1A. ETAPA; Pao. = 7 KG/DIC.
RECTIFICADOR DE 1A. ETAPA; Pao. = 7 KG/DIC.
3. SE CONSIDERAN TANQUES CONECTADOS DE PLACA.
4. FASE II: SEPARADOR DE 2A. ETAPA; Pao. = 2 KG/DIC.
RECTIFICADOR DE 2A. ETAPA; Pao. = 2 KG/DIC.
5. FASE III: TANQUE DE BALANCE; Pao. = 1 KG/DIC.
RECTIFICADOR DE BAJA; Pao. = 1 KG/DIC.
6. DIMENSIONES DEL TANQUE EXISTENTE, USADO EN EL 10% NIVEL DE LA PLATAFORMA.
7. VER NOTA DE ESPECIFICACION DEL TANQUE EN EL PRECIO 10%.
8. EL METODO DE CALCULO UTILIZADO PARA LOS TANQUES DE DESFOBLE ESTA DE ACUERDO A API-PP-521.

TABLA 4-B. CARACTERISTICAS DE BOMBAS DE RECUPERACION DE CONDENSADOS DE DESFOBLE ALTA Y BAJA PRESSION.

PLATAFORMA	FASE	NIVEL DE PRESION	CLAVE (No. DE UNIDADES)	TIPO	FLUJO DE DISEÑO (GPM)	PRESION DE SUCCION (PS/DIAG)	PRESION DE DESCARGA (PS/DIAG)	PRESION DIFERENCIAL (PS/OPD)	MPS/D (HTS)	POTENCIA HIDRAULICA (HP)	DIMENSIONES LARGOxANCHO (HTS x HTS)	DESCRIPCIONES
MORCCH 1-2	I	ALTA	5A-3751/E	CENTRIFUGA	38.5	0.26	4.70	4.44	1.64	1.42	0.7 x 0.4	NOTAS 1 Y 3
		BAJA	5A-3751/E	HORIZONTAL	38.5	0.26	5.22	5.06	1.65	1.61	0.7 x 0.4	NOTAS 2 Y 3
	I Y II	ALTA	5A-3753/R	CENTRIFUGA	38.5	0.26	4.6	4.34	1.64	1.4	0.7 x 0.4	NOTAS 1 Y 3
		BAJA	5A-3753/R	HORIZONTAL	38.5	0.26	5.3	5.04	1.64	1.61	0.7 x 0.4	NOTAS 2 Y 3

NOTAS:

1. LOS DATOS REPORTADOS CORRESPONDEN A LA ALTERNATIVA DE LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOBLE EN EL 1er. NIVEL DE LA PLATAFORMA.
2. LOS DATOS REPORTADOS CORRESPONDEN A LA ALTERNATIVA DE LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOBLE EN EL TRIPODE INTERMEDIO HACIA EL GUARDADOR ELEVADO.
3. VER HOJA DE DATOS EN ANEJO "C".

TABLA 4-9. CARACTERÍSTICAS DE QUEMADORES ELEVADOS ALTA Y BAJA PRESION.

PLATAFORMA	FASE	NIVEL DE PRESION	FLUJO DE GAS (PPHCS)	PESO MOLECULAR	VEL. VIENTO (FPS)	NIV. DE RAD. (BTU/HR FT2)	(NIV. DE REF.) (FT)	DIAMETRO (IN)	ALTURA (FTS)	No. PACH	RAD./DIST. A LA BASE (BTU/HR FT2)/(FT)	OBSERVACIONES
	I	BAJA PRESION	4.058	31.814	228	5 000.0	0.0	6	7.30	0.489	6.95 / 656.2	NOTA 2
	I	BAJA PRESION	4.058	31.814	228	5 000.0	21.0	6	13.79	0.489	6.94 / 656.2	NOTA 2
	II	BAJA PRESION	24.492	29.712	228	5 000.0	0.0	12	17.39	0.4775	43.3 / 656.2	NOTA 2
MO-00	II	BAJA PRESION	24.492	29.712	228	5 000.0	21.0	12	23.68	0.4775	43.28 / 656.2	NOTA 2
P-2	I	ALTA PRESION	93.408	25.454	228	5 000.0	0.0	24	28.0	0.3790	128.9 / 656.2	NOTA 2
	I	ALTA PRESION	93.408	25.454	228	5 000.0	21.0	24	34.48	0.3790	128.9 / 656.2	NOTA 2
	I	ALTA PRESION	93.408	25.454	228	1 500.0	0.0	24	53.61	0.3790	120.8 / 656.2	NOTA 2
	I	ALTA PRESION	93.408	25.454	228	1 500.0	21.0	24	60.10	0.3790	120.8 / 656.2	NOTA 2

NOTAS:

- BASES DE DISEÑO: No. PACH MAXIMO = 0.3
 MAXIMA RADIACION = 5,000 BTU/HR FT2
 HUMEDAD RELATIVA = 82.7 %
- EL DATO REPORTADO DE RADIACION CORRESPONDE A LA GENERADA POR LA COMBUSTION NO CONSIDERA LA RADIACION SOLAR.
- EL CALCULO DEL DIAMETRO Y ALTURA DEL QUEMADOR ESTA DE ACUERDO AL MODELO DE BRUSTOWSKI.

4.7 ANALISIS DE RESULTADOS DEL EJEMPLO DE APLICACION.

4.7.1 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE DESFOGUE.

A. En base a la tabla de resultados 4-2, de la revisión de las válvulas controladoras de presión del sistema de separación de la Plataforma Nohoch A-2 se concluye lo siguiente:

Las válvulas existentes (12") para el control de presión de la 1a. etapa de separación, pueden manejar adecuadamente el flujo máximo requerido en la Fase I.

La válvula propuesta (12") en la ingeniería del Proyecto Cantarell para el control de presión de la 2a. etapa de separación, cubre las condiciones de operación de ambas fases.

B. De la tabla de resultados 4-3, revisión de las válvulas de seguridad instaladas en la sección de separación, se tiene las siguientes conclusiones:

Las dos válvulas de seguridad 8" x 8", instaladas en el rectificador de la 1a. etapa, pueden manejar el flujo de desfogue, si el orificio de ambas válvulas es de tamaño "R" como mínimo.

Las válvulas de seguridad 4" x 8" y 8" x 10", instaladas en el rectificador de 2a. etapa, tienen capacidad para manejar el flujo a desfogue en la Fase I y II.

C. De acuerdo a las tablas de resultados 4-4A y 4-4B, revisión de las líneas de desfogue del sistema de separación se tiene lo siguiente:

Se esperan problemas debido a velocidades excesivas del fluido (superior al 80% de la sónica), en el sistema de desfogue de alta presión (Fase I), en las líneas de descarga de la válvula de seguridad del rectificador de 1a. etapa (tramos 12 y 14 de la Fig. 4-6).

Se esperan problemas de contrapresión y velocidad excesiva del fluido, en el sistema de desfogue de baja presión (Fase II), en la línea de descarga de la válvula de seguridad 3" L 4" de la succión de compresores (tramo 26 de la Fig.4-8).

D. De acuerdo a las tablas de resultados 4-5, 4-5A y 4-6B, correspondientes a la revisión de espesores se concluye lo siguiente:

Para una operación intermitente las condiciones máximas de presión y temperatura, se tienen cuando desfogan las válvulas de seguridad del rectificador de 1a. etapa.

Para una operación intermitente las condiciones mínimas de presión y temperatura, se tienen cuando desfogan la válvula de control PV-2119 instalada sobre la línea 16"-P-3136-1-A51A.

Para diámetros de 4", 6", 12", 14" y 16" el espesor calculado es igual al existente.

Para diámetros de 2", 8", 10", 18", 20", 24", 30" y 36" el espesor existente es mayor que el calculado, en consecuencia, para estos diámetros de líneas el espesor está sobrediseñado.

Dado que las contrapresiones estimadas en las líneas de desfogue no rebasan 65 psia, se releva un fluido compresible que no causa SSC (agrietamiento bajo esfuerzo en presencia de sulfuros), por lo cual no se justifica la clase AS1A utilizada en los cabezales y ramales existentes.

La clase de material adecuada para el servicio debe ser A53A.

4.7.2 ANALISIS DEL EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.

A. En base a la tabla 4-7, dimensiones de tanques de desfogue alta y baja presión, y a la localización del equipo de desfogue se concluye lo siguiente:

Las dimensiones comerciales obtenidas de los tanques, para la Plataforma de Producción Nohoch A-2, disminuirán los problemas de espacio requerido en dicha plataforma.

Es factible operar en Fase I y II con el tanque de desfogue existente de baja presión (D. E. = 8.5 ft., L r-r = 14.5 ft.), instalado en el 1er. nivel de la Plataforma de Producción.

Del total de los dos tanques de desfogue (alta y baja presión) de la Plataforma de Producción Nohoch A-2 especificados en el Anexo "C", solamente se requiere adquirir un tanque, siendo el de alta presión.

Como alternativa principal, localizar el equipo de desfogue (alta y baja presión) en el tripode intermedio hacia el quemador elevado, (ver esquema de localización en el Anexo "D").

Si en base al análisis estructural, no fuera factible ubicar el equipo de desfogue en el tripode, la localización se hará en plataforma cercana al puente a quemador. (Ver esquema de localización en el Anexo "D").

B. Con respecto a la tabla 4-8, características de bombas de recuperación de condensados de desfogue alta y baja presión se tiene lo siguiente:

Considerando el caso más crítico de las alternativas de localización del equipo de desfogue, se obtuvieron dos características de bombas para los dos sistemas de desfogue (alta y baja presión, Fases I y II) las cuales son:

CAPACIDAD	PRESION DIFERENCIAL	No. DE UNIDADES
1). $Q_b = 38.5 \text{ GPM.}$	$\Delta P = 5.06 \text{ Kg/cm}^2.$	2
2). $Q_b = 38.5 \text{ GPM.}$	$\Delta P = 5.04 \text{ kg/cm}^2.$	2

En consecuencia las bombas de alta y baja presión están dentro del mismo orden de magnitud en cuanto a sus características.

4.7.3 INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.

La instrumentación indicada para el equipo de desfogue es la adecuada para un sistema cuya operación es intermitente (tanque de desfogue de alta o baja presión), complementada con una operación

automática de las bombas de recuperación de los condensados de desfogue (ver esquemas de tubería e instrumentación del equipo de desfogue de alta y baja presión en Anexo "D").

4.7.4 ANALISIS DE LOS QUEMADORES ELEVADOS.

De acuerdo a la tabla 4-9, los quemadores de la Plataforma de Producción Nohoch A-2, deben tener como mínimo las siguientes dimensiones:

PLATAFORMA	NIVEL DE PRESION	DIAMETRO (IN)	ALTURA (MTS)
NOHOCH A-2	ALTA PRESION	24"	34.5
	BAJA PRESION	12"	24

4.8 RECOMENDACIONES DEL EJEMPLO DE APLICACION.

4.8.1 SISTEMAS DE DESFOGUE.

A. Se sugiere verificar el diseño de las válvulas de control de presión de 1a. y 2a. etapa de separación con la hoja de especificación de la misma.

B. Respecto a las válvulas de seguridad instaladas en la sección de separación se sugiere verificar que el orificio de las válvulas de seguridad 5" x 8", instaladas en el rectificador de 1a. etapa, sea mínimo de tamaño "R".

C. En relación a los sistemas de desfogue existentes, se tienen las siguientes recomendaciones:
Sustituir las líneas (8" de diámetro) de descarga de las dos válvulas de seguridad del rectificador de 1a. etapa, por líneas de 10" de diámetro.

Antes que entre en operación Fase II, sustituir la línea (4" de diámetro) de descarga de la válvula de seguridad 3" x 4" de la succión de compresores, por una línea de 8" de diámetro.

Para las líneas de desfogue se recomienda utilizar una clase de material A53A, la cual es adecuada para condiciones de servicio amargo que no causa "SSC".

4.8.2 EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.

A. Considerar como alternativa principal, la localización del equipo de desfogue en el tripode intermedio hacia el quemador elevado, a menos que el análisis estructural demuestre que no sea factible.

B. Es conveniente para la adquisición de las bombas de recuperación de condensados, considerar las características siguientes: $Q_D = 38.5$ GPM; $AP = 5.06$ Kg/cm² y WHP = 1.61 HP; ya que se pueden utilizar tanto para alta presión como baja presión, en cualquier Fase (I o II).

4.9 OBSERVACIONES DEL EJEMPLO DE APLICACION.

4.9.1 SISTEMAS DE DESFOGUE.

A. En la revisión de las válvulas de control de presión de la 1a. y 2a. etapa de separación, se supusieron las características de las mismas, debido a que no fue posible obtener dicha información.

B. En las Figuras 4-6 a 4-8, de la configuración de los sistemas de desfogue de alta o baja presión, se representan con línea discontinua las tuberías o equipo propuesto, ya sea por la ingeniería del Proyecto Cantarell o por este ejemplo de aplicación.

4.9.2 EQUIPO DE DESFOGUE ALTA Y BAJA PRESION.

A. Si se opta por dejar el tanque de desfogue existente de baja presión, en el 1er. nivel de la Plataforma de Producción Nohoch A-2, el volado adicional en el tripode intermedio se reduce de $L = 13.144$ mts., $A = 6.966$ mts., a $L = 11.925$ mts., $A = 6.0$ mts.

Las dimensiones del volado adicional en el tripode intermedio hacia el quemador, se reducen muy poco si se colocan las bombas de recuperación de condensados abajo del tanque.

B. En las hojas de datos de las bombas de recuperación de condensados de desfogue (Anexo "C"), se indican las características requeridas si se ubican en el tripode intermedio (alternativa más viable) y también para la ubicación del equipo de desfogue en el 1er. nivel de la Plataforma.

4.9.3 QUEMADORES ELEVADOS.

No fue posible obtener información de las características de los quemadores elevados existentes (alta o baja presión) en la Plataforma de Producción Nohoch A-2, por tal motivo se calculó el diámetro y altura mínima requerida.

CONCLUSIONES.

Un sistema de relevo de presión es un servicio auxiliar primario, el cual está integrado por dispositivos y tuberías, cuya función principal es. proveer seguridad a la planta de proceso; tanto al personal que labora en la planta como a las instalaciones.

En caso de utilizar válvulas de relevo de seguridad convencionales, se sugiere utilizar válvulas con bonete venteado a la atmósfera. con objeto de disminuir la presión de ajuste.

Las válvulas de relevo de seguridad balanceadas son utilizadas ampliamente en la industria del petróleo en sistemas de descarga cerrados, debido a que soportan contrapresiones entre 30-50% de la presión de ajuste sin afectar la capacidad de descarga de la válvula.

La capacidad de la válvula de relevo de presión, debe ser calculada para cada uno de los riesgos operacionales "razonablemente esperados" (descarga bloqueada, fuego externo, expansión térmica, etc.), es decir, aquellos eventos que tengan mayor probabilidad de que se lleven a cabo y el área resultante del orificio más grande determinará el tamaño de la válvula de relevo de presión; la cual se especifica de acuerdo a API-Standard-526.

Para diseñar y/o revisar un sistema de desfogue cerrado que maneje fluidos compresibles, el ingeniero de proceso debe considerar los siguientes factores principales:

El código que gobierna el diseño termodinámico y mecánico.

La capacidad máxima de relevo de gas para dimensionamiento del sistema (ramales, cabezales, tanque de desfogue, tanque de sello y quemador), la cual se determina en base al análisis de fallas operacionales de cada proceso específico.

La ecuación apropiada para calcular diámetros y/o contrapresiones

de líneas de desfogue.

Presión de diseño menor del equipo en operación, el cual está asociado a las válvulas de relevo.

Contrapresión máxima que pueda ser soportada por el sistema colector.

Propiedades físicas y químicas del gas relevado.

En base a los resultados de la Tabla 2-2, comparación técnica de las ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento de las líneas de desfogue se tiene lo siguiente:

Las ecuaciones de Conison y Missen dan resultados muy similares para flujos bajos, medios y altos cuando se tiene la misma longitud de tubería de desfogue.

Las ecuaciones de Conisson y Missen son métodos analíticos adecuados para dimensionar cabezales y ramales de desfogue en plantas de proceso, para cualquier condición en cuanto a flujo y longitud de tubería.

Dada la experiencia que se tiene en la industria petrolera, específicamente en el área de Proyectos de Explotación, para el desarrollo de la Ingeniería de líneas de desfogue, se recomienda utilizar la ecuación analítica de Conison para dimensionar cabezales y ramales de desfogue que manejen fluidos compresibles en unidades de proceso. Esta ecuación no es absoluta, y no se descarta la posibilidad de que se lleven a cabo futuras revisiones de la misma o que puedan surgir a corto plazo nuevas ecuaciones para dimensionar líneas de desfogue que desplacen a las ya desarrolladas.

Los factores principales que deben tomarse en cuenta para la determinación de la clase de material en las líneas de desfogue de una planta son:

Propiedades físicas y químicas del gas relevado.

Presión y temperatura de relevo, ya que en base a éstas se determina el libraje de las bridas de entrada y salida de la válvula de relevo de presión.

Perfil de contrapresiones.

Perfil de temperaturas.

Disponibilidad del material.

Resistencia mecánica y térmica del material.

Resistencia a la corrosión.

Factor económico.

Las secciones B31.4 y B31.8 del código de diseño de tuberías a presión ASME/ANSI B31, basan su diseño sobre un límite máximo de esfuerzo ("SMYS") a un valor abajo de la cedencia. La sección B31.3 difiere en este respecto, más que especificar límites de esfuerzo en términos del "SMYS" (esfuerzo de cedencia mínimo especificado) del material de tubería, B31.3 especifica límites de esfuerzo en términos del esfuerzo básico admisible ("BAS"), el cual varía de un material a otro y está definido como el menor de; $\frac{2}{3}$ del esfuerzo de cedencia del material o $\frac{1}{3}$ del esfuerzo último del material; por lo cual se obtienen espesores de tubería más conservadores.

El código B31 sección 3, cubre todos los sistemas de tubería dentro de los límites de propiedad de las instalaciones que procesan o manejan productos químicos o petroleros, y ya que un sistema de desfogue está formado por dispositivos y tuberías para relevar el exceso de presión, además de ser un servicio auxiliar principal para la protección del personal y el buen funcionamiento de la unidad de proceso; el código B31 sección 3 (B31.3) es el adecuado para el diseño de cabezales y ramales de desfogue.

En el capítulo cuatro se trabajo un ejemplo de aplicación donde se pone de manifiesto que la revisión de un sistema de desfogue cerrado (alta y baja presión), para manejo de fluidos compresibles en una Plataforma de Producción Temporal, es una tarea compleja y laboriosa, la cual está integrada por las siguientes etapas:

Revisión de válvulas controladoras de presión y válvulas de seguridad.

Análisis de las líneas de desfogue, con el fin de evitar problemas de contrapresiones y/o velocidad excesiva del fluido, además de verificar el espesor de los cabezales y ramales.

Dimensionamiento y especificación del tanque separador de desfogue y bombas de recuperación de condensados.

Y por último, dimensionamiento del quemador elevado y análisis de los niveles de radiación.

A través del ejemplo de aplicación, se indicaron cada uno de los documentos técnicos y/o prácticas de ingeniería, que intervienen en el diseño de los componentes de un sistema de desfogue para el manejo de fluidos compresibles, entre los más importantes están los siguientes:

API-RP-521 y API-Estándar-526 para dimensionamiento y especificación de válvulas de seguridad respectivamente.

Código ASME/ANSI B31 sección 3, para especificación de líneas de desfogue.

API-RP-521 y ASME Sección VIII Div. 1, dimensionamiento y especificación de tanques de desfogue.

ANSI B16.5 bridas para tubería y accesorios bridados.

El trabajo desarrollado contiene la información básica necesaria y lineamientos sobre un sistema de desfogue para fluidos compresibles en unidades de proceso, la cual puede ser de gran utilidad para el diseño y/o revisión futura, de este tipo de sistemas.

ANEXO 'A'.

A.1 DEFINICIONES.

A.1 DEFINICIONES.

APAGADO. El apagado es el enfriamiento de un fluido por mezclado con otro fluido de una temperatura más baja.

AREA DE DESCARGA EFECTIVA. El área de descarga efectiva es una área de flujo calculada o nominal a través de una válvula de relevo de presión, diferenciándose del área de descarga real, por el uso de fórmulas de flujo reconocidas para determinar la capacidad de una válvula de relevo de presión.

AREA DE DESCARGA REAL. El área de descarga real es el área neta mínima medida la cual determina el flujo a través de la válvula.

CHIMENEA DE VENTEO. Una chimenea de venteo es la terminación vertical elevada de un sistema de disposición la cual descarga vapores hacia la atmósfera sin combustión o conversión del fluido relevado.

COEFICIENTE DE DESCARGA. El coeficiente de descarga es la relación de la capacidad de relevo medida a la capacidad de relevo teórica.

CONDICIONES DE RELEVO. Las condiciones de relevo están asociadas a dispositivos de relevo de presión, temperatura y presión de entrada a una sobrepresión específica. La presión de relevo es igual a la presión de ajuste de la válvula (o presión de rompimiento de un disco de ruptura) más la sobrepresión. La temperatura de flujo del fluido a las condiciones de relevo puede ser más alta o más baja que la temperatura de operación.

CONTRAPRESION. La contrapresión es la presión estática existente a la salida de un dispositivo de relevo de presión debido a la presión en el sistema de descarga.

CONTRAPRESION DESARROLLADA. La contrapresión desarrollada es la presión existente a la salida del dispositivo de relevo de presión causada por el flujo a través de un dispositivo particular hacia

un sistema de descarga. Cuando más de un dispositivo descarga hacia un sistema común, la contrapresión desarrollada resultante de la operación de un dispositivo actuará como contrapresión sobrepuesta sobre los otros dispositivos, este tipo de contrapresión es variable.

CONTRAPRESION SOBREPUESTA. La contrapresión sobrepuesta es la presión estática existente a la salida del dispositivo de relevo de presión una vez que el dispositivo es requerido para operar. Es la presión en el sistema de descarga resultado de otras fuentes. Este tipo de contrapresión puede ser constante o variable.

DESCARGA ATMOSFERICA. La descarga atmosférica es el escape de gases y vapores de dispositivos de relevo de presión y despresurización hacia la atmósfera.

DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA. Un dispositivo de disco de ruptura actúa por la presión estática de entrada y está diseñado para funcionar por el rompimiento de un disco de retención de presión. Usualmente está ensamblado entre bridas montadas, el disco puede ser de metal, plástico o una pieza de metal y plástico. Está diseñado para resistir presiones arriba del nivel especificado, al cual falla y releva la presión del sistema que está protegiendo.

ELEVACION. La elevación es el recorrido real del disco lejos de su posición cerrada cuando la válvula está relevando.

ESFUERZO DE CEDENCIA. Es el esfuerzo que produce una elongación total específica bajo carga. La elongación generalmente se expresa como un porcentaje de la longitud calibrada. Estos valores están especificados para varios materiales.

ESFUERZO DE CEDENCIA MINIMO ESPECIFICADO ("SMYS"). Es el esfuerzo de cedencia mínimo (psi) indicado por la especificación bajo la cual la tubería se compró en la fábrica, se abrevia "SMYS".

ESFUERZO DE TENSION. Es el esfuerzo más grande (referido a la sección transversal original) que un material puede aguantar antes de fallar.

PRESION ACUMULADA MAXIMA PERMISIBLE. La presión acumulada máxima permisible es la suma de la presión de trabajo máxima permisible y la acumulación permisible.

PRESION DE AJUSTE. La presión de ajuste en libras por pulgada cuadrada manométrica, es la presión de entrada a la cual la válvula de relevo de presión está ajustada para abrir bajo condiciones de servicio. En una válvula de relevo de seguridad o seguridad en servicio de gas o vapor, la presión de ajuste es la presión de entrada a la cual la válvula se dispara bajo condiciones de servicio. En una válvula de relevo de seguridad o relevo en servicio de líquido, la presión de ajuste es la presión de entrada a la cual la válvula comienza a descargar bajo condiciones de servicio.

PRESION DE DISEÑO. La presión de diseño es la presión usada en el diseño de un recipiente para determinar el espesor mínimo permisible o características físicas de las partes diferentes de un recipiente.

PRESION DE OPERACION. La presión de operación es la presión en libras por pulgada cuadrada manométrica, a la cual el recipiente está usualmente en servicio. Un recipiente de proceso está normalmente diseñado para una presión de trabajo máxima permisible, en libras por pulgada cuadrada manométrica, la cual proporciona un margen conveniente arriba de la presión de operación a fin de impedir una operación indeseable del dispositivo de relevo.

PRESION DE PRUEBA DIFERENCIAL EN FRIO. La presión de prueba diferencial en frío, en libras por pulgada cuadrada manométrica es la presión a la cual la válvula se ajusta para abrir sobre el banco de prueba. Esta presión de prueba incluye las correcciones por condiciones de servicio, contrapresión, temperatura o ambas.

PRESION DE ROMPIMIENTO ESPECIFICADA. La presión de rompimiento especificada de un dispositivo de disco de ruptura es el valor de incremento en la presión estática de entrada a una temperatura específica, a la cual el disco de ruptura es diseñado para funcionar.

PRESION DE RUPTURA. La presión de ruptura es el valor de la presión estática de entrada a la cual un dispositivo de disco de ruptura funciona.

PRESION DE TRABAJO MAXIMA PERMISIBLE (PTMP). La presión de trabajo máxima permisible para un recipiente es la presión máxima permisible en el domo del recipiente en su posición de operación normal a la temperatura de operación especificada. Es la presión mayor a la cual la válvula de relevo de presión se fija para que empiece a abrir.

PURGA. La purga es la diferencia entre la presión de ajuste y la presión de reasentamiento de una válvula de relevo de presión, expresada como un porcentaje de la presión de ajuste o en libras por pulgada cuadrada.

QUEMADOR. Un quemador es un medio para disponer seguramente de gases de desecho por combustión. Con un quemador elevado ("flare") la combustión se lleva a cabo fuera de la corona del tubo o chimenea donde el piloto e ignitor están localizados. Un quemador de campo está similarmente equipado excepto que la combustión se lleva a cabo fuera o cerca del nivel de piso. Un quemador de fosa difiere de un "flare" en que está diseñado normalmente para manejar líquidos y vapores.

SERVICIO DEL FLUIDO. Término general relacionado a la aplicación de un sistema de tubería, considerando la combinación de propiedades del fluido, condiciones de operación y otros factores los cuales establecen las bases para el diseño del sistema de tubería.

SERVICIO DEL FLUIDO CATEGORIA D. Un servicio del fluido en el cual todo lo siguiente aplica:

- El fluido manejado es inflamable, no tóxico y no daña el tejido humano.
- La presión manométrica de diseño no excede 150 psi.
- La temperatura de diseño esta entre -20°F (-29°C) y 366°F (186°C).

SERVICIO DEL FLUIDO CATEGORIA M. Un servicio del fluido en el cual el potencial para exposición al personal es juzgado significativo y en el cual una exposición simple a una muy pequeña cantidad de un fluido tóxico, causada por una fuga, puede producir serios daños irreversibles a personas al respirarlo o contacto corporal, aún cuando son tomadas medidas restaurativas inmediatas.

SISTEMA DE DEPRESURIZACION DE VAPOR. Un sistema de depresurización de vapor es un arreglo protector de válvulas y tubería con el propósito de proveer una reducción rápida de presión en el equipo por liberación de vapores. La acción del sistema puede ser automática o manual.

SISTEMA DE DISPOSICION ABIERTO. Un sistema de disposición abierto descarga directamente de los dispositivos de relevo a la atmósfera contando con un extremo corto de tubo.

SISTEMA DE DISPOSICION CERRADO. Un sistema de disposición cerrado es capaz de contener presiones diferentes de la presión atmosférica sin fuga.

SISTEMA DE RELEVO DE PRESION. Un sistema de relevo de presión es un arreglo de dispositivos de relevo de presión, tubería y medios de disposición destinados para el relevo seguro, conducción y disposición de fluidos en fase gaseosa, líquida o vapor. Un sistema de relevo puede consistir de solo una válvula de relevo de presión o disco de ruptura, uno u otro, con o sin tubo de descarga, sobre un recipiente sencillo o línea. Un sistema más complejo puede involucrar muchos dispositivos de relevo de presión, distribuidor hacia cabezales comunes para un equipo de disposición terminal.

SOBREPRESION. La sobrepresión es el incremento de presión sobre la presión de ajuste del dispositivo de relevo. Es lo mismo que el término acumulación cuando el dispositivo de relevo se ajusta a la presión de trabajo máxima permisible del recipiente. La sobrepresión puede ser mayor que la acumulación permisible si la válvula se ajusta más abajo de la presión de trabajo máxima permisible (PTMP) del recipiente.

Si válvulas de relevo múltiples son instaladas, algunas con presión de ajuste escalonada arriba de la PTMP del recipiente, la sobrepresión para las válvulas escalonadas será menor que la acumulación permisible.

TAMANO DE ENTRADA. El tamaño de entrada es el tamaño de tubo nominal de la entrada de un dispositivo de relevo de presión, a no ser que otro sea señalado.

TAMANO DE SALIDA. El tamaño de salida es el tamaño de tubo nominal del conducto de salida del dispositivo de relevo de presión, a no ser que otro sea señalado.

TRAQUETEAR ("CHATTER"). Traquetear, vibrar, es el movimiento recíproco rápido anormal de las partes móviles de una válvula de relevo de presión, en la cual el disco se pone en contacto con el asiento.

VALVULA DE RELEVO. Una válvula de relevo es un dispositivo de relevo de presión automático que actúa por la presión estática corriente arriba de la válvula, la cual abre en proporción al incremento de presión sobre la presión de abertura. Esta es usada principalmente para servicio de líquido.

VALVULAS DE RELEVO DE PRESION. Una válvula de relevo de presión es un término genérico aplicado a válvulas de relevo, válvulas de seguridad o válvulas de relevo de seguridad.

VALVULAS DE RELEVO DE PRESION DE BONETE ABIERTO. El resorte de una válvula de relevo de presión de bonete abierto está directamente expuesto a la atmósfera a través del bonete u horqueta.

Dependiendo del diseño, el resorte puede estar protegido del contacto con gases o vapores descargados por la válvula y estará enfriada por aire ambiente a través de un pasaje libre y alrededores del resorte.

VALVULA DE RELEVO DE PRESION DE BONETE CERRADO. El resorte de una válvula de relevo de presión de bonete cerrado está totalmente cubierto por una envoltura de metal, la cual protege al resorte de desgaste y de agentes corrosivos del medio ambiente, y es un medio para coleccionar las fugas alrededor del vástago o disco guía. El bonete podrá o no estar sellado contra fugas de presión, la cual puede existir del bonete hacia los alrededores atmosféricos, dependiendo del tipo de capuchón o montaje de la palanca de levantamiento utilizada.

VALVULA DE RELEVO DE PRESION OPERADA POR PILOTO. Una válvula de relevo de presión operada por piloto es aquella en la cual el dispositivo de relevo principal está combinado y controlado por una válvula de relevo de presión auxiliar auto-operada. Este tipo de válvula no utiliza una fuente externa de energía.

VALVULA PILOTO. Una válvula piloto es una válvula auxiliar la cual acciona un dispositivo de relevo principal.

VALVULA DE SEGURIDAD. Una válvula de seguridad es un dispositivo de relevo de presión automático que actúa por la presión estática corriente arriba de la válvula y se caracteriza por la abertura total rápida o acción de disparo ("pop action"). Es usada para servicio de gas o vapor. En la industria del petróleo es usada normalmente para vapor o aire.

VALVULA DE RELEVO DE SEGURIDAD. Una válvula de relevo de seguridad, es un dispositivo de relevo de presión automático adecuado para usarse como una válvula de seguridad o una de relevo, una u otra dependiendo de la aplicación. En la industria del petróleo normalmente se usa en servicio de gas y vapor o para líquido.

VALVULA DE RELEVO DE SEGURIDAD BALANCEADA. Una válvula de relevo de seguridad incorpora medios para minimizar el efecto de la contrapresión sobre las características de funcionamiento, presión de abertura, presión de cierre, capacidad de relevo y elevación.

VALVULA DE RELEVO DE SEGURIDAD CONVENCIONAL. Una válvula de relevo de seguridad convencional es una válvula de relevo de presión de bonete cerrado, que tiene el bonete venteado en el lado de descarga de la válvula. Las características de funcionamiento, presión de abertura, presión de cierre, capacidad de relevo y elevación están afectadas directamente por cambios de contrapresión sobre la válvula.

VALVULA DE RELEVO DE VACIO. Una válvula de relevo de vacío es un dispositivo de relevo de presión diseñado para admitir fluido e impedir un vacío interno excesivo; está diseñada para recerrar e impedir el flujo del fluido adicional después de que las condiciones normales han sido restauradas.

A N E X O 'B'.

B.1. CLASIFICACION DE FLUIDOS.

B.2. FLUJO COMPRESIBLE.

B.3. PROCESOS ISOTERMICOS Y ADIABATICOS.

B.1. CLASIFICACION DE FLUIDOS.

Un fluido es aquella sustancia que, al ser sometida a un esfuerzo tangencial sufre una deformación constante y su característica es no tener forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinadas, ocupan un volumen determinado. Introducido el líquido a un recipiente adopta la forma del mismo. Si sobre el líquido se mantiene una presión uniforme, por ejemplo la atmosférica, el líquido adopta una superficie plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Los gases a una presión y a una temperatura determinada, tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad se expanden hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene y no presentan superficie libre.

Los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen.

Por tanto, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías); pero no en conductos abiertos (canales), porque sólo los líquidos son capaces de crear una superficie libre.

En general los sólidos y los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, pero ningún cuerpo (sólido, líquido o gaseoso) es estrictamente incompresible.

Sin embargo, aunque el fluido incompresible no existe en la realidad. Hay innumerables problemas que se resuelven aceptablemente en ingeniería, suponiendo que el fluido es incompresible (estos problemas se estudian en la mecánica de los fluidos incompresibles).

Los restantes problemas forman la mecánica de fluidos compresibles y se estudian en la Termodinámica.

B.2. FLUJO COMPRESIBLE.

La particularidad fundamental de este flujo es la variación de la densidad (ρ).

La ecuación de continuidad y la de Euler no son suficientes para describir el movimiento. En efecto existe un mayor número de incógnitas que de ecuaciones, a saber: u_x, u_y, u_z, ρ, p . De acuerdo con la ecuación B.2.1 que es la ecuación de continuidad en forma diferencial;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \vec{v} = 0 \quad (\text{B.2.1})$$

y la más usada de Euler:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{G} \quad (\text{B.2.2})$$

De estas ecuaciones se observa que hace falta una relación adicional característica del fluido considerado, que relacione presión y densidad. Habrá de ser la ecuación de estado de la sustancia:

$$f(P, T, \rho) = 0 \quad (\text{B.2.3})$$

La introducción de la ecuación de estado, si bien proporciona una ecuación adicional, introduce también una nueva variable a saber la temperatura T . Por esta razón será además necesario precisar, en cada problema que tipo de proceso se verifica durante el flujo; isotérmico, adiabático, etc. Esta condición completará el problema general, proporcionando igual número de ecuaciones que de incógnitas.

De lo expuesto anteriormente se pueden hacer las siguientes observaciones:

A). El estudio del flujo compresible implica necesariamente la consideración de la temperatura del fluido y de sus variaciones.

B). Es evidente que de todos los fluidos compresibles el que tenga la ecuación de estado más sencilla será el de más fácil estudio.

B.3 PROCESOS ISOTERMICOS Y ADIABATICOS.

Como es sabido, se llama proceso isotérmico a un proceso que se lleva a cabo a temperatura constante. En el caso de un gas ideal, si se le somete a un proceso isotérmico, la ley de Boyle-Marriott se cumple,

$$P/p = \text{cte.} \quad (\text{B.3.1})$$

Un proceso adiabático es en cambio un proceso en el cual no hay conducción de calor en el seno del fluido en consideración, ni tampoco entre éste y el medio circundante. El fenómeno de conducción se caracteriza por una constante k llamada conductividad térmica, que relaciona el calor transmitido a través de una superficie en el seno de la sustancia en cuestión, por unidad de tiempo, y el gradiente de temperatura existente. La ley de Fourier se escribe:

$$\frac{dq}{dA dt} = -k \frac{dT}{dn} = -k \bar{n} \cdot \text{grad } T \quad (\text{B.3.2})$$

donde q es el calor transmitido a través del área dA en el tiempo dt .

Así pues, cuando la conductividad térmica es nula o muy pequeña, el calor transmitido es nulo o despreciable y se tiene un proceso adiabático.

En un proceso adiabático varía tanto la temperatura como la densidad y la presión.

$$P/pk = \text{cte.} \quad (\text{B.3.3})$$

donde k es una constante definida por:

$$k = C_p/C_v \quad (\text{B.3.4})$$

siendo a su vez C_p y C_v los calores específicos a presión y volumen constante respectivamente.

A N E X O 'C'.

- C.1. HOJAS DE DATOS DE TANQUES DE DESFOGUE.
- C.2. HOJAS DE DATOS DE BOMBAS DE RECUPERACION DE CONDENSADOS.

PLANTA PLATAFORMA DE PRODUCCION MONOCH A-2		HOJA 1 DE 2		
LOCALIZACION ZONA DE CAMPECHE		EDICION	FECHA	FECHA POR
CONTRATO DE		PKA DISEÑO	30-V-90	FJLG
CLAVE FA-8753				
NO DE UNIDADES 1 (UNA) (NOTAS)				

RECIPIENTES
(HOJA DE DATOS DE PROCESO)

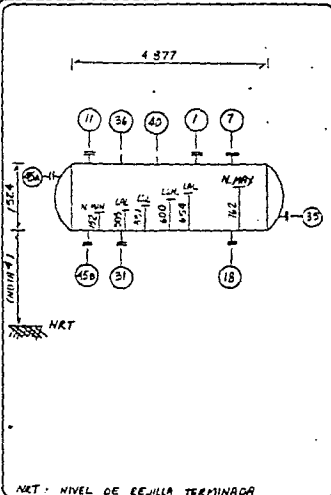
SERVICIO TANQUE DE DESFOGUE DE BAJA PRESION.		POSICION	ORIENTACION
TIPO DE FLUIDO: LIQUIDO CONDENSADOS DE DESFOGUE FLUIDO: 1.124		ρ _{líq} : DENSIDAD 0.7609	g/cm ³
VAPOR O GAS HIDROCARBUROS FLUIDO: 8.1939		ρ _{gas} : DENSIDAD 0.0012	g/cm ³
TEMPERATURA OPERACION 45 °C. MAXIMA 61 °C. DISEÑO 76 °C			
PRESION: OPERACION 0.244 kg/cm ² abs. MAXIMA 0.244 kg/cm ² abs. DISEÑO 3.515 kg/cm ² abs.			
DIMENSIONES (2) LONGITUD T.E. 4.877 mm. DIAMETRO 1524 mm. CAP TOTAL 8896 l			
NIVEL: NORMAL --- mm. MAXIMO 762 mm. MINIMO 152 mm			
ALARMA ALTO NIVEL 634 mm. ALARMA BAJO NIVEL 303 mm. NIVEL DE PARED 337 mm			
MATERIALES CASCARON A.C.A. CASCARON CUBIERTA A.C.A. CASCARON			
MALLA SEPARADORA: ESPESOR --- mm. MATERIAL ---			
TIPO CIRCULAR: DIAMETRO --- mm			
TIPO RECTANGULAR LONGITUD --- mm. ANCHO --- mm			
CORRECCION PERM: CASCARON 3.2 mm. CUBIERTA 3.2 mm			
AISLAMIENTO: NO. <input type="checkbox"/>			
RECUBRIMIENTO INTERNO: NO. <input type="checkbox"/>			

BOQUILLAS

NO	NO REG	ISTO	NOMINAL	SERVICIO
1	1	610		REGISTRO DE MANO
7	1	457		SALIDA DE GAS (NOTAS)
11	1	457		ALIMENTACION DE GAS (NOTAS)
18	1	76		SALIDA DE LIQUIDO
21	1	51		CRENE
35	1	51		CONEXION DE SERVICIO
36	1	38		INDICADOR DE PRESION
40	1	38		INDICADOR DE TEMPERATURA
45/46	2	51		INSTRUMENTOS DE NIVEL

NOTAS:

- (1) - DIAMETRO DE BOQUILLAS Y ACCIONES EN MM
- (2) - DIMENSIONES PARA TABLA 1.1.1; BAJA PRESION.
- (3) - SE TIENE ACTUALMENTE EN LA PLATAFORMA UN TANQUE HORIZONTAL CUYAS DIMENSIONES SON 6.113 X 4.420 MM Y 1.6 METROS (CASCARON DO) EL CUAL PUEDE SER UTILIZADO.
- (4) - DISTANCIA MINIMA PER ARCHA DE BOMBA
- (5) - DIAMETRO DE LA BOQUILLA DE ACUERDO AL CASCARON DE DESFOGUE EXISTENTE.



NRT: NIVEL DE REJILLA TERMINADA

REVISION	0		
FECHA	30-V-90		
FECHA POR	FJLG		
AP POR			

PLANTA PLATAFORMA DE PRODUCCION MOHOCH A-2			HOJA 2 DE 2	
LOCALIZACION	ZONA DE CAMPECHE	ESTACION	FECHA	RECHA POR
CONTRATO NO.		FAPA OJENO	30-V-90	F/L/G
CLASE	FA-3751			
NO. DE UNIDADES	1 (UNA)			

RECIPIENTES
(HOJA DE DATOS DE PROCESO)

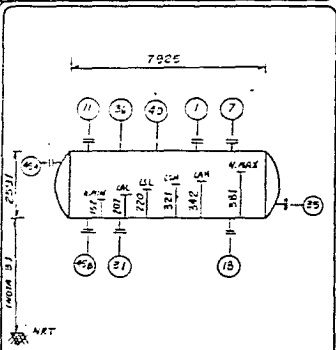
1	SERVICIO TANQUE DE DESFOGUE DE ALTA PRECION	POSICION	HORIZONTAL
2	TIPO DE FLUIDO: LIQUIDO CONDENSADOS DE DESFOGUE	FLUIDO	128 90
3	TEMPERATURA OPERACION	43 °C	MAXIMA 66 °C
4	PRESSION OPERACION	0.358 kg/cm ² MAX.	MAXIMA 0.358 kg/cm ² MAX. DISEÑO 3.5/5 kg/cm ² MAX.
5	DIMENSIONES: (2) LONGITUD EL	7925 mm.	DIAMETRO 2591 mm.
6	NIVEL: BORNAL	---	MAXIMO 381 mm.
7	ALARMA ALTO NIVEL	342 mm.	ALARMA BAJO NIVEL 207 mm.
8	MATERIALES CASCARON K.A. CARGON CAMEZAS K.A. CARGON		
9	MALLA SEPARADORA: ESPESOR	---	MATERIAL
10	TIPO CIRCULAR: DIAM. MC	---	
11	TIPO RECTANGULAR: LONGITUD	---	ANCHO
12	CORRECCION PERU: CASCARON	3.2 mm.	CAMEZAS 3.2 mm.
13	ASELAMIENTO: NO.		
14	RECUBRIMIENTO INTERNO: NO.		

BOQUILLAS

NO. BOQUILLO NORMAL	SERVICIO
1	REGISTRO DE MAND
7	SALIDA DE GAS (NOTA 4)
11	ALIMENTACION DE GAS
15	SALIDA DE LIQUIDO
21	DRENE
25	CONEXION DE SERVICIO
26	INDICADOR DE PRECION
27	INDICADOR DE TEMPERATURA
28	INSTRUMENTOS DE NIVEL

NOTAS:

- 1) DIAMETRO DE BOQUILLAS Y ADICIONES EN MM
- 2) DIMENSIONES PARA TALE I: ALTA PRECION (K. STAM)
- 3) DISTANCIA MINIMA POR ABEN DE BOMBA
- 4) DIAMETRO DE LA BOQUILLA DE ACUERDO AL CASERON DE DESFOGUE EXISTENTE.



REVISION	0		
FECHA	30-V-90		
RECHA POR	F/L/G		
AP. POR			

PLANTA PLATAFORMA DE PRODUCCION NOHOCH A-2	CONTRATO No	HOJA 1 DE 2
LOCALIZACION: ZONDA DE CAMPECHE	RESERVISION No	FECHA: JUNIO 28 1990
CLAVE: 6A-3753/R (NOTAS 1 Y 2)	FECHA POR: FULG	APROBADA POR
No. UNIDADES: 2 (005)		

B O M B A S C E N T R I F U G A S

SERVICIO BOMBA DE CONDENSADOS DE DESFOQUE DE BAJA PRECION			
No. REQ. EN USO CONTINUO / (UMA)		ACCIONADOR MOTOR ELECTRICO	
DE RELEVOS / (LPM)		ACCIONADOR MOTOR ELECTRICO	
FABRICANTE BOMBA		TAMANO Y TIPO	
CONDICIONES DE OPERACION		COMPORTAMIENTO	
LIQUIDO CONDENSADOS DE DESFOQUE		OPM o T.B. NORM. 35 DIS 30.5	
DESCARGA Kg/cm ² man. 4.6		CURVA PROPUESTA No.	
TEMP BOMBEO (T.B.) °C 49		NPSH NEG. (AGUA) m.	
DENS. REL. (Sp Gr) o T.B. 0.76		No. DE PASOS RPM	
P. SUC. Kg/cm ² man. MAX. 0.26 DIS 0.26		EFIC. DE DISEÑO BHP	
R. DIF. Kg/cm ² 4.34		MAX. BHP DE DIS EN IMPUL.	
P VAPOR o T.B. Kg/cm ² ABS. 14.5 AT. COLUMNA DIF. m 57.1		MAX. COLUM. DE DIS EN IMPUL. m.	
VISCOSIDAD o T.B. cp 4.9		GASTO MIN. CONT. GPM (POR FAB)	
CORR./ERO CAUSADA POR H ₂ O/CO ₂		ROTACION FRENTE ACOPLAMIENTO	
POTENCIA HIDRAULICA 1.4 HP		AGUA ENFRIAMIENTO PARA:	
CONSTRUCCION Y MATERIALES			
CARCAZA - MONTAJE (EJE) (BASE) (MENSULA) (VERTICAL)		BALEROS	
- TAPA (AXIAL) (RADIAL)		ESTOPEO	
- TIPO (VOLUTA SIMPLE) (DOBLE VOLTA) (IMPUSOR)		PEDESTAL	
- BARREROS ROSCADOS (VENTEO) (DRENE) (MANDRUSO)		Prensa Estopa	
BOQUILLAS		AGUA NECESARIA GPM	
DIAM		CLASIF. ASA	
SUCCION		CABA	
DESCARGA		POSICION	
IMPULSOR TIPO		DIAM DISEÑO	
BALEROS No		MAX	
COPL. Y GUARDA		RADIAL	
EMPAQUE		AXIAL	
SELLO MECANICO		PLACA DE BASE	
CODIGO		FABR.	
MATERIAL		TUBERIA AUXILIAR	
MATERIALES		MATERIALES	
PARTES INTERNAS		MATERIALES	
L-F FUNDIDO		IMPULSOR	
B-BRONCE		INTERIORES (CARCAZA)	
S-A CERCO		CAMISA (EMPACADA)	
C-(11-13%) CROMO		CAMISA (DE SELLO)	
A-ALEACION		PARTES DESMONTABLES	
N-ENGRUCIDO		FLECHA	
I-PULIDO		FLECHA	
X-		FLECHA	
MOTOR POR		TURBINA POR	
DATOS FINALES DEL FABRICANTE		DATOS FINALES DEL FABRICANTE	
CLAVE		CLAVE	
MONTADA POR		MONTADA POR	
HP		HP	
RPM		RPM	
CORAZA		CORAZA	
MATERIAL		MATERIAL	
MARCA		MARCA	
TIPO		TIPO	
VAPOR ENT Kg/cm ² man		VAPOR ENT Kg/cm ² man	
ESCAPE Kg/cm ² man		ESCAPE Kg/cm ² man	
CONSUMO DE VAPOR Kg/BHP/HR		CONSUMO DE VAPOR Kg/BHP/HR	
BALEROS		BALEROS	
LUBR.		LUBR.	
BOQUILLAS (DIAM) (CLASIF) (ASA) (CABA) (POSIC)		BOQUILLAS (DIAM) (CLASIF) (ASA) (CABA) (POSIC)	
ENTRADA		ENTRADA	
SALIDA		SALIDA	
REGIDA POR CODIGO API 610 SI NO SE ESTABLECE OTRA COSA			
OBSERVACIONES			
1.- ALTERNATIVA DE LOCALIZACION EN PLATAFORMA			
2.- CARACTERISTICAS PARA FASE I			
3.- PARA FASE I, ALTERNATIVA DE LOCALIZACION EN TRUPODE LAS			
CARACTERISTICAS SON: P ₁ = 5.2 KG/CM ² MAN. P ₂ = 0.26 KG/CM ² MAN.			
C.P. = 5.05 KG/CM ² SH = 66.3 m POT. 40. = 1.61 HP.			
4.- AX CONDS DE OP. SE REQUIEREN BOQUILLAS 150#		REVISION	
FECHA		25-JUN-90	
DEP PROC		FULG	
DEP MEC.			

PLANTA PLATAFORMA DE PRODUCCION MONOEN A-2	CONTRATO NO	HOJA	F DE E
ADMINISTRACION SONDA DE CAMPECHE	REVISION NO	FECHA JUNIO 28, 1990	
CLAVE GA-3751/R (NOTAS 1 Y 2)	REGIA POR FULG	ELABORADA POR	
NO. VINCULADO 2 (DOS)			

B O M B A S C E N T R I F U G A S

SERVICIO SONDA DE CONDENSADOS DE DESFOGUE DE ALTA PRESION			
EN USO CONTINUO 1 (UNA)		ACCIONADOR MOTOR ELECTRICO	
DE RELEVOS 1 (UNA)		ACCIONADOR MOTOR ELECTRICO	
FABRICANTE BOMBA		TAMANO Y TIPO	
CONDICIONES DE OPERACION		COMPORTAMIENTO	
LIQUIDO CONDENSADOS DE DESFOGUE	GPM o T.B. NORM. 25 DIS 28.2	CURVA PROPUESTA No.	
DENS. REL. (SG) o T.B. 0.71	DESCARGA Kg/cm ² man. 5.22	NPSM NEG. (AGUA) m.	
TEMP BOMBEO (T.B.) °C 43	P. SUC. Kg/cm ² man. MAX. 0.22 DIS 0.26	No. DE PASOS RPM	
P VAPOR o T.B. Kg/cm ² ABS. 10.2 AT. 71.3	P. DIF. Kg/cm ² 1.65	EFIC. DE DISEÑO BHP	
VISCOSIDAD o T.B. cp 64	NPSM DISP. o P.T. m 1.65	MAX. BHP DE DIS EN IMPUL.	
CORR/ERO CAUSADA POR H ₂ O	POTENCIA HIDRAULICA 141 HP	MAX. COLUM. DE DIS EN IMPUL. m.	
CONSTRUCCION Y MATERIALES		ROTACION FRENTE ACOPLOMIENTO	
CARCAZA - MONTAJE (EJE) (BASE) (X) (MENSULA) (VERTICAL)		AGUA ENFRIAMIENTO PARA:	
- TAPA (AXIAL) (RADIAL)		BALEROS	
- TIPO (VOLUTA SIMPLE) (DOBLE VOLTA) (DIFUSOR)		ESTOPERO	
- BARREROS ROSCADOS (VENTEO) (DURENE) (MANOMETRO)		PETECAL	
BOQUILLAS	DIAM. CLASIF. ASA. CARA POSICION	PRENSA ESTOPA	
SUCCION	(4) R.F.	AGUA NECESARIA GPM.	
DES.CARGA	(3) R.F.	ENFRIAMIENTO EMPAQUE	
IMPULSOR TIPO	DIAM. DISEÑO MAX. AXIAL	AGUA DE SELLO	
BALEROS No.	RADIAL PLACA DE BASE	TUBERIA AUXILIAR	
COCLE Y GUARDA			
EMPAQUE			
SELLO MECANICO	CODIGO FABR.		
CLAVE DE LOS MATERIALES	CARCAZA PARTES INTERNAS	MATERIAL	
M-F FUNDIDO	IMPULSOR	PRUEBAS DE TALLER NECESARIO CON TESTIGOS	
B-B BRONCE	INTERIORES (CARCAZA)	FUNCIONAMIENTO	
S-A S.F.E.R.O	CAMISA (EMPAQUADA)	NPSH	
C-(11-13%) CROMO	CAMISA (DE SELLO)		
A-ALEACION	PARTES DESGASTABLES	HIDROSTATICA Kg/cm ² man	
J-ENFRIADO	FLECHA	P DE OPER. MAX PERM Kg/cm ² °C	
L-PULIDO		PESOS BOMBA BASE	
X-		M MOTOR TURBINA	
MOTOR POR.	TURBINA POR.	DATOS FINALES DEL FABRICANTE	
CLAVE MONTADA POR	CLAVE MONTADA POR:	DIAM. DEL IMPULSOR (mm)	
HP RPM CORAZA	HP RPM MAT.	CURVA DE PRUEBA No.	
MARCA	MARCA TIPO	DIB. GENERAL No.	
TIPO ASLAMIENTO	VAPOR ENT Kg/cm ² man	DIB. DETALLES DE BOMBA No.	
EN/CLT. ELEV TEMP °C	ESCAPE Kg/cm ² man	DIMENSIONES SELLO EN DIB No.	
VOLT/FRES/DOLOS	CONSUMO DE VAPOR Kg/BHP/h	No. DE SERIE DE LA BOMBA	
BALEROS LUBR	BALEROS LUBR.		
AMP PL. NA CURVA	BOQUILLAS (DIAM) (CLASIF) (ASA) (CARA) (POS)		
	ENTRADA		
	SALIDA		
REGIA POR CODIGO API 60 SI NO SE ESTABLECE OTRA COSA			
OBSERVACIONES		4- POR COMO LE CE LE REQUIEREN BOQUILLAS ISO F	
1- ALTERNATIVA DE LOCALIZACION EN TRIPODE INTERMEDIO		REVISION	0
2- CARACTERISTICAS PARA FASE I. ALTA PRESION.		FECHA	28-JUN-90
3- PARA FASE I. ALTA PRESION Y ALTERNATIVA DE LOC EN PLAT. CAS CARACTERISTICAS SON: F ₁ = 4.7 PSIG man; F ₂ = 0.26 Kg/cm ² man; QP = 4.44 m ³ /h; QH = 82.5 m ³ /h; NPSH ₁ = 1.44 m; POT. HD. = 192 HP		DEP. PROC.	FULG
		DEP. MEC.	

A N E X O 'D'.

- D.1. ESQUEMAS DE LOCALIZACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.**
- D.2. ESQUEMAS DE DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE DESFOGUE.**

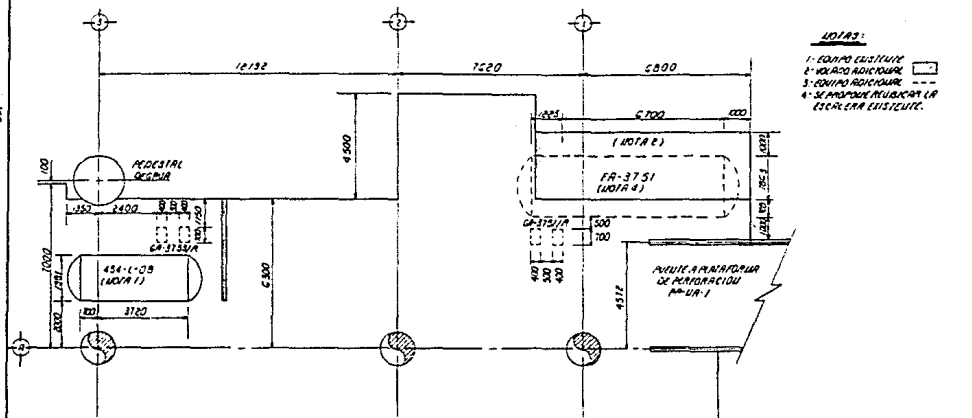
ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPO DE RESPORTE EN
PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN TEMPORAL LINDOCH A-2
(PMA-UR-2) 4 NIVELES ELEC. 10.000

LISTA DE EQUIPO

CLASE	DESCRIPCIÓN	CANTIDADES
FR-3751	TRONQUE DE RESPORTE DE ALTA PRECISIÓN	21-2.551m - LIT.1235m
(NOTA 1) 454-08	BOLQUE DE RESPORTE DE BAJA PRECISIÓN	21-1.385m - LIT.4.400m
CA3751/A	BOLQUE DE CALIBRACIONES DE RESPORTE DE ALTA PRECISIÓN	0-1MG L.P.H.
CA3751/A	BOLQUE DE CALIBRACIONES DE RESPORTE DE BAJA PRECISIÓN	2P-6.24 Kg/100° 0-1MG L.P.H. 2P-6.24 Kg/100°



- * VIENTOS PERIMÉTRICOS
- * VIENTOS CIRCUMJACENTES



NOTAS:

- 1- EQUIPO EXISTENTE
- 2- EQUIPO ADICIONAL
- 3- EQUIPO ADICIONAL
- 4- SE PROPONE RELOCAR LA ESCALERA EXISTENTE.

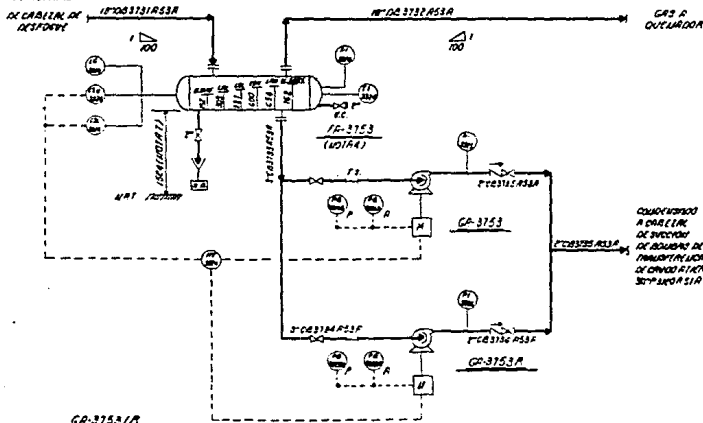
FA-3753 (NOTA 1)

TRAYecto DE DESFOQUE
DE BAJA PRESION
D 1.1514 mm
FA 4611 mm

ESQUEMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
DE TRAYecto DE DESFOQUE DE BAJA PRESION
EN PLATAFORMA DE PRODUCCION MONOCH A-R

NOTAS

- 1- CARACTERISTICAS PARA BOMBAS LOCALIZADAS EN PLATAFORMA, FASE I.
- 2- CARACTERISTICAS PARA BOMBAS LOCALIZADAS EN PLATAFORMA, FASE II.
- 3- ACOTACIONES EN mm.
- 4- ESTA ILUSTRADO ACTUALMENTE EN EL N° NIVEL DE LA PLATAFORMA UN TRAYecto DE DESFOQUE DE BAJA PRESION, CUYAS DIMENSIONES SON: D.E. 1381 mm, (P.T. 6.480 mts. EL CURR. ES ADECUADO PARA UTILIZARSE EN FASE I Y II.
- 5- PARA IDENTIFICACION DEL CABLE DE SUCCION DE BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE CRUDO A TIENRA, SE TOMO COMO REFERENCIAL EL PLUDDO: TITE PLATAFORMA DE PRODUCCION PAU A-R SISTEMA DE SEPARACION, E PRESA ODDOS (P.T. 1 ED. TO (PE-V-80) PROT. IMP-A-17828)
- 6- CARACTERISTICAS DE DISEÑO.
- 7- ELEVACION REQUERIDA POR NPSH DE LAS BOMBAS.



CA-3753/R

BOMBAS DE CONDENSADO DE
DESFOQUE DE BAJA PRESION
D 1.1514 mm
FA 4611 mm (NOTA 1)
FA 5.04 mm (NOTA 2)

CONEXIONES
A CARCEL
DE SUCCION
DE BOMBAS DE
TRANSFERENCIA
DE CRUDO A TIENRA
SOPRADO

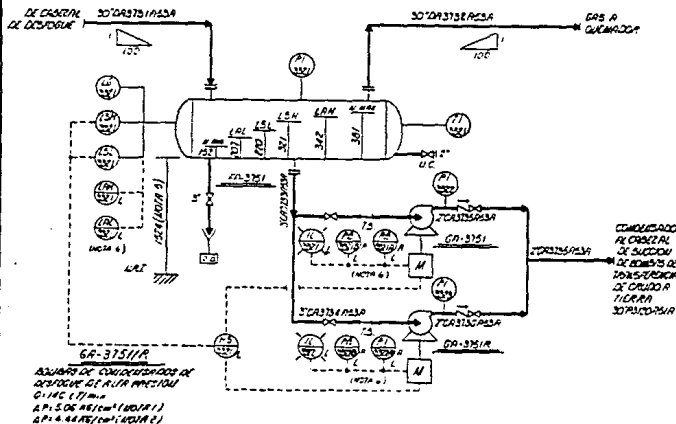
1A-3751

ESQUEMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
DE TRUQUE DE DESFOGUE DE ALTA PRESION
EN LA PLANTAFORMA DE PRODUCCION LONCHO A-B

ESQUEMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
DE TRUQUE DE DESFOGUE DE ALTA PRESION
EN LA PLANTAFORMA DE PRODUCCION LONCHO A-B

NOTAS

1. CONDICIONES PARA ALTERNATIVA DE RECUPERACION DE CAMPO EN TRUQUE INTERMEDIO.
2. CANTIDAD DE GAS PARA BOMBAS LOCALIZADAS EN PLANTAFORMA.
3. RECUPERACION EN mm.
4. PARA IDENTIFICACION DE OROZCAL DE SECCION DE BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE CRUDO A PLANTA SE TOMO COMO REFERENCIA EL PUNTO EN PLANTAFORMA DE PRODUCCION PS 44-2. SISTEMA DE SEPARACION L-H2O-SGA-CO2ES. PUNTO ED 10" (2" U. 10) PACT. 44-1765A.
5. ELIMINACION ADECUADA POR APNSH DE LAS BOMBAS.
6. EL TRUQUE DE CONTROL ESTARA INSTALADO EXCLUSIVAMENTE EN LA PLANTAFORMA DE PRODUCCION LONCHO A-B.



BIBLIOGRAFIA.

- 1.- API-RP-521. "GUIDE FOR PRESSURE RELIEF AND DEPRESSURING SYSTEMS". AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, FIRST EDITION. SEPTEMBER 1969.
- 2.- ANSI B95.1-1977. "TERMINOLOGY FOR PRESSURE RELIEF DEVICES". AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. NEW YORK. N. Y.
- 3.- KERN ROBERT., "PRESSURE-RELIEF VALVES FOR PROCESS PLANTS". CHEM. ENG., FEBRUARY 28, 1977.
- 4.- API-RP-520. "RECOMMENDED PRACTICE FOR THE DESIGN AND INSTALLATION OF PRESSURE-RELIEVING SYSTEMS IN REFINERIES". AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, FOURTH EDITION. DECEMBER 1978.
- 5.- ISAACS MARX., "PRESSURE-RELIEF SYSTEMS". CHEM. ENG., FEBRUARY 22, 1971.
- 6.- JENETT ERIC., "DESIGN CONSIDERATIONS FOR PRESSURE-RELIEVING SYSTEMS". CHEM. ENG., JULY 8, 1963.
- 7.- JENETT ERIC., "COMPONENTS OF PRESSURE-RELIEVING SYSTEMS". CHEM. ENG., AUGUST 19, 1963.
- 8.- API-STANDARD-526. "FLANGED STEEL SAFETY RELIEF VALVES". AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, SECOND EDITION. NOVEMBER 1969.
- 9.- MUKERJI ASU., "HOW TO SIZE RELIEF VALVES". CHEM. ENG., JUNE 2, 1980.
- 10.- IMP., "ESPECIFICACION DE INGENIERIA K-201. INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCION". INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.

- 11.- FLOYD E. ANDERSON., "PRESSURE RELIEVING DEVICES". CHEM. ENG., MAY 24, 1976.
- 12.- CONISON JOSEPH., "HOW TO DESIGN A PRESSURE RELIEF SYSTEM". CHEM. ENG., JULY 25, 1960.
- 13.- STESHKO NICHOLAS., "HOW TO SIZE RELIEF-VALVE DISCHARGE HEADERS-2". CHEM. ENG., MARCH 19, 1956.
- 14.- REARICK JOHN S., "HOW TO DESIGN PRESSURE RELIEF SYSTEMS". HYDROCARBON PROCESSING., SEPTEMBER 1969.
- 15.- CRANE CO., "FLOW OF FLUID THROUGH VALVES, FITTINGS AND PIPE". USA.
- 16.- SOMMERFELD JUDE T., "EQUATION FOR FLUID FRICTION FACTOR". HYDROCARBON PROCESSING., JULY 1967. VOL. 46., No. 7.
- 17.- MISSEN R. W., "PRESSURE DROP IN VAPOR-RELIEF SYSTEMS". CHEM. ENG., OCTOBER 29, 1962.
- 18.- MAK HENRY Y., "NEW METHOD SPEEDS PRESSURE-RELIEF SYSTEMS". THE OIL AND GAS JOURNAL, NOV. 20, 1978.
- 19.- STESHKO NICHOLAS., "HOW TO SIZE RELIEF-VALVE DISCHARGE HEADERS-1". CHEM. ENG., FEBRUARY 13, 1956.
- 20.- CONISON JOSEPH., "HOW TO SIZE VAPOR-RELIEVING SYSTEMS-3". CHEM. ENG., MARCH 29, 1954.
- 21.- RODRIGUEZ MARIN Y ALFARO PASTOR., "COMPARACION MEDIANTE SIMULACION DE 5 ECUACIONES RECOMENDADAS PARA CALCULO DE CABEZALES DE DESFOGUE". INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO., NOVIEMBRE 1979.
- 22.- "CHEMICAL PLANT AND PETROLEUM REFINERY PIPING. ASME/ANSI B31.3". THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 1987 EDITION.

23. - "BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE". SECC. VIII. DIVISION 1. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 1983.
24. - STEPHENS DENNY R. Y MC CONNELL DONALD P., "OFFSHORE PIPELINE DESIGN CODES COMPARED FOR LOADS, STRESS LIMITS". OIL & GAS JOURNAL. JULY 15, 1985.
25. - IMP., "ANALISIS, INTERPRETACION Y COMPARACION DEL CODIGO DE TUBERIAS A PRESION ANSI B31 EN SUS SECCIONES 3, 4 Y 8". INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. JUNIO 1989.
26. - SMITH J.M. Y VAN NESS H.C., "INTRODUCCION A LA TERMODINAMICA EN INGENIERIA QUIMICA". MC GRAW-HILL. OCTUBRE 1983. MEXICO.
27. - PERRY & CHILTON. "CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK". MC GRAW-HILL, 5a. ed., 1973. USA.
28. - HOUGEN O.A., ET. AL., "PRINCIPIOS DE LOS PROCESOS QUIMICOS". PARTE II. TERMODINAMICA. ED. REVERTE, BARCELONA ESPAÑA.
29. - ROCA VILA R., "INTRODUCCION A LA MECANICA DE LOS FLUIDOS". ED. LIMUSA S.A. DE C.V., 2a. ed. 1987.
30. - KERN ROBERT., "HOW TO SIZE PIPING AND COMPONENTS AS GAS EXPANDS AT FLOW CONDITIONS". CHEM. ENG., OCTOBER 13, 1975.
31. - DELESDEBNIER D.L. AND SOMMERFELD JUDE T., "COMPUTER PROGRAM SIZES PIPE". HYDROCARBON PROCESSING, MARCH 1972.
32. - TESMEN ARTHUR B., "MATERIALS OF CONSTRUCTION FOR PROCESS PLANTS-1". CHEM. ENG., FEBRUARY 19, 1973.
33. - HENTHORNE MICHAEL., "MATERIAL SELECTION FOR CORROSION CONTROL. PARTE II.". CHEM. ENG., MARCH 6, 1972.
34. - NACE STANDARD MR-01-75. MATERIAL REQUIREMENT. SULFIDE STRES CRACKING RESISTANT METALLIC MATERIAL FOR OIL FIELD EQUIPMENT. (1980 REVISION).