



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION Y DETERMINACION DE FLUJOS A ALIVIAR
PARA SISTEMAS DE RELEVO DE PRESION EN PLANTAS DE
PROCESO EN CASO DE EVENTOS POR FUEGO EXTERNO A
REGIMEN DINAMICO

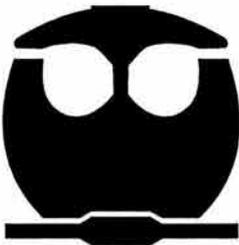
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
MIGUEL ANGEL ORTIZ GARCIA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

MEXICO, D.F.

2004





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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

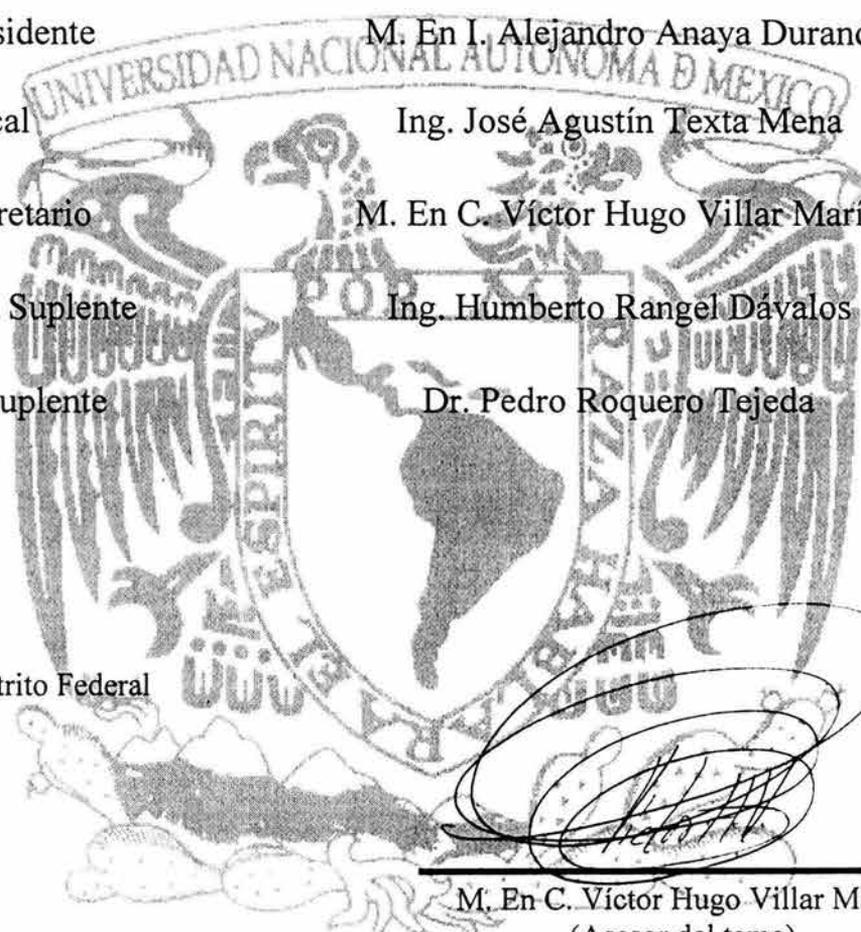
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Jurado asignado:

PROFESORES

Presidente M. En I. Alejandro Anaya Durand
Vocal Ing. José Agustín Texta Mena
Secretario M. En C. Víctor Hugo Villar Marín
1er. Suplente Ing. Humberto Rangel Davalos
2° suplente Dr. Pedro Roquero Tejeda

México, Distrito Federal




M. En C. Víctor Hugo Villar Marín
(Asesor del tema)


C. Miguel Ángel Ortiz García
(Sustentante)

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por su contribución en mi formación profesional y humanística. Gracias a los profesores, que compartieron conmigo sus conocimientos y su amor por la ingeniería, en especialmente al Ing. Agustín Texta y el Ing. Anaya Durand por todos sus consejos, sus formidables clases, su paciencia y su amistad como persona.

Al Instituto Mexicano del Petróleo por todo el apoyo y las facilidades que me brindo para el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. José Zainos por encaminar mis primeros pasos dentro de la Industria del petróleo, por tener paciencia ante mis dudas de novato y por brindarme la oportunidad de iniciar mi formación dentro de este Instituto.

Los sabios consejos de Víctor Villar, director de Tesis, quien ha guiado desde hace un año mi formación no solamente académica, sino personal. De gran aprendizaje resultó para mí que la realización de esta Tesis haya sido encaminada por sus conocimientos.

A mis padres, Inocencio Ortiz Martínez y Rosa Rufina García Pérez, deseo agradecer profundamente su apoyo, su guía y su confianza en la realización de mis sueños. Soy afortunado por contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo.

Quiero enfatizar mi agradecimiento hacia mi tío Gonzalo García Pérez, a quien le agradezco por compartir y dedicar gran parte de su vida a la realización de mis proyectos y por darme aliento para la ardua tarea de caminar hacia la perspectiva de un nuevo día. Gracias por creer en mi y con su ejemplo hacerme un hombre de bien.

A mi hermanita Ivonne, con mucho cariño, por la amistad y los sueños que hemos compartido.

Agradezco a la casualidad que la vida me otorgó al haberme puesto en un hogar maravilloso al nacer. Esta tesis es suya

EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FLUJOS A ALIVIAR PARA SISTEMAS DE RELEVO DE PRESIÓN EN PLANTAS DE PROCESO EN CASO DE EVENTOS POR FUEGO EXTERNO A RÉGIMEN DINÁMICO.

Introducción.....(i)

Capítulo I.

Generalidades y aspectos teóricos del Sistema de Relevo de Presión.

1.1 Sistemas de relevo de presión.....	(01)
1.1.1 Necesidad de los sistemas de relevo de presión.....	(01)
1.1.2 Clasificación de sistemas de relevo de presión.....	(04)
1.1.3 Funcionamiento básico del sistema de relevo.....	(05)
1.2 Condiciones que pueden causar presiones excesivas.....	(05)
1.2.1 Falla de Servicios auxiliares.....	(06)
1.2.2 Falla eléctrica o mecánica.....	(06)
1.2.3 Falla de agua de enfriamiento.....	(07)
1.2.4 Falla de controles o de aire de instrumentos.....	(07)
1.2.5 Fuego.....	(08)
1.2.6 Errores operacionales.....	(09)
1.2.7 Expansión térmica.....	(09)
1.2.8 Ruptura de tubos en equipos de intercambio de calor.....	(09)
1.2.9 Falla de reflujo en columnas de destilación.....	(09)
1.2.10 Falla de una válvula de control.....	(10)
1.2.11 Falla de una válvula de retención.....	(10)
1.2.12 Pérdida de calor en una serie de sistemas de fraccionamiento.....	(11)
1.2.13 Entrada de calor anormal.....	(11)
1.2.14 Retroceso de flujo.....	(11)
1.3 Generalidades del diseño de un sistema de relevo de presión.....	(11)
1.3.1 Definiciones básicas.....	(13)
1.4 Dispositivos de relevo de presión.....	(16)
1.4.1 Válvulas de relevo de presión.....	(17)
1.4.2 Válvulas de relevo.....	(21)
1.4.3 Válvula de seguridad.....	(21)
1.4.4 Válvula de relevo – seguridad.....	(21)
1.4.5 Válvula de relevo de presión operada por piloto.....	(22)
1.4.6 Válvula de relevo de expansión térmica.....	(24)
1.4.7 Dispositivos de relevo de presión de no re-cierre.....	(24)
1.4.8 Dispositivo de disco de ruptura.....	(24)
1.5 Cabezal de desfogue.....	(27)
1.6 Recipientes para disposición de fluidos relevados.....	(27)
1.6.1 Tanque de sello.....	(27)
1.6.2 Tanque separador de líquidos.....	(27)
1.7 Criterios de diseño para Sistemas de Relevo de Presión.....	(27)
1.7.1 Presión de ajuste de acuerdo al código ASME.....	(28)
1.7.2 Características operacionales y capacidades de descarga de los dispositivos de relevo.....	(28)
1.7.3 Características e instalación de válvulas de relevo de presión.....	(29)

1.7.4	Longitud y capacidad para desalojar de las líneas de cabezal y ramales.....	(31)
1.7.5	Propiedades termodinámicas de los fluidos a condiciones de relevo.....	(32)
1.7.6	Localización de los equipos.....	(32)
1.8	Normatividad vigente para diseño del Sistema de Relevo de Presión.....	(33)
1.8.1	Código ASME.....	(33)
1.8.2	Código API.....	(34)
1.8.3	Norma Oficial Mexicana.....	(37)
1.8.4	PEMEX – NRF.....	(37)
1.8.5	SCFI.....	(37)

Capítulo II.

Modelado matemático para la determinación de flujos a relevar en eventos de fuego externo.

2.1	Sobrepresión permisible.....	(39)
2.2	Contingencias de operación.....	(40)
2.3	Contingencia de fuego.....	(41)
2.4	Dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión.....	(44)
2.4.1	Dimensionamiento para alivio de gas o vapor.....	(44)
2.4.2	Comportamiento de flujo crítico.....	(44)
2.4.3	Dimensionamiento para flujo crítico.....	(46)
2.4.4	Dimensionamiento para flujo subcrítico.....	(47)
2.4.5	Dimensionamiento para vapor de agua.....	(49)
2.4.6	Dimensionamiento para servicio líquido.....	(51)
2.4.7	Recipientes que contienen gases o vapores en caso de fuego.....	(54)
2.5	Orificios nominales.....	(55)
2.6	Fuego en la planta.....	(57)
2.6.1	Superficies mojadas de recipientes.....	(57)
2.6.1.1	Recipientes Horizontales.....	(58)
2.6.1.2	Recipientes verticales.....	(60)
2.6.2	Altura efectiva del fuego.....	(60)
2.6.3	El área de una zona de fuego.....	(60)
2.6.4	Recipientes asociados.....	(62)
2.6.5	Superficies secas de recipientes.....	(63)
2.6.6	Sistemas de enfriamiento de tanques.....	(63)
2.7	Cálculo de la masa a relevar en caso de fuego.....	(65)
2.7.1	Estado estacionario.....	(65)
2.7.2	Consideraciones en estado estacionario.....	(68)
2.7.3	Simulación dinámica.....	(69)
2.7.4	Consideraciones dinámicas.....	(70)
2.7.5	Desarrollo del modelo de depresionamiento.....	(71)
2.7.6	Comportamiento esperado por el fenómeno.....	(75)

Capítulo III. Análisis de las contingencias en planta y herramientas de simulación.

3.1 Justificación del análisis dentro del diseño.....	(78)
3.2 Planteamiento de los escenarios	(78)
3.2.1 Información básica de la planta.....	(79)
3.2.2 Lista de contingencias	(81)
3.2.3 Análisis individual de unidades.....	(81)
3.2.4 Selección del número de cabezales	(82)
3.2.5 Dispositivos de relevo	(82)
3.2.6 Dimensionamiento de la válvula de relevo	(83)
3.2.7 Riesgo mayor	(83)
3.2.8 Apertura simultánea durante una falla.....	(84)
3.2.9 Zonas de fuego	(84)
3.2.10 Resumen de requerimientos de relevo.....	(84)
3.2.11 Dimensionamiento de cabezal y quemador.....	(86)
3.2.12 Tanque separador Knock Out y de Sello.....	(86)
3.3 Simulador dinámico	(87)
3.3.1 Cálculos disponibles.....	(87)
3.4 Módulo de depresurización en HYSYS	(87)
3.4.1 Conexiones.....	(87)
3.4.1.1 Parámetros del tanque (Connections).....	(88)
3.4.2 Configuración del informe de resultados (Config. Strip Charts).....	(89)
3.4.3 Parámetros de flujo de calor (Heat Flux)	(90)
3.4.3.1 Modo de fuego (Fire)	(90)
3.4.3.2 Fuego sobre superficies húmedas (Fire Wetted)	(91)
3.4.3.3 Modo alternativo de fuego (Alternative Fire).....	(93)
3.4.3.4 Modo adiabático (Adiabatic).....	(93)
3.4.3.5 Usuario Avanzado (Spreadsheet)	(94)
3.4.3.6 Parámetros de pérdida de calor (Heat Loss Model).....	(95)
3.4.3.6.1 Modelo Simple.....	(95)
3.4.3.6.2 Modelo Detallado.....	(96)
3.4.3.6.3 Modelo General.....	(96)
3.4.3.6.4 Parámetros de Conducción.....	(97)
3.4.3.6.5 Parámetros de Convección	(98)
3.4.3.6.6 Coeficientes de correlación	(98)
3.4.4 Parámetros de la válvula (Valve Parameters).....	(99)
3.4.4.1 Válvula tipo Fisher (Fisher).....	(100)
3.4.4.2 Válvula de relevo.....	(100)
3.4.4.3 Válvula para flujo Supersónico	(101)
3.4.4.4 Válvula para flujo Subsónico	(101)
3.4.4.5 Válvula tipo Masoniilan.....	(102)
3.4.4.6 Válvula estándar	(102)
3.4.4.7 Válvula Sin flujo	(103)
3.4.4.8 Válvula Modo experto	(103)
3.4.4.9 Coeficiente de descarga.....	(103)
3.4.5 Opciones (Options)	(104)
3.4.6 Condiciones de operación (Operating Conditions)	(104)
3.4.6.1 Parámetros de operación.....	(104)
3.4.6.2 Opción de vapor a la salida	(105)
3.5 Desempeño	(106)

Capítulo IV.

Determinación de los flujos a relevar durante un evento de fuego en una Planta Hidrodesulfuradora.

4.1	Caso de estudio	(108)
4.2	Alcances.....	(108)
4.3	Limitaciones.....	(109)
4.4	Descripción del proceso	(109)
4.4.1	Carga.....	(109)
4.4.2	Características del proceso	(109)
4.4.3	Sección de Reacción	(110)
4.4.4	Sección de Lavado con DEA	(111)
4.4.5	Sección de Compresión y Recirculación de Gas.....	(112)
4.4.6	Sección de Agotamiento	(113)
4.4.7	Sección de Regeneración de Amina.....	(114)
4.5	Diagramas de Flujo de Proceso.....	(115)
4.6	Hojas de datos de los equipos	(116)
4.7	Diagramas de Tubería e Instrumentación.....	(116)
4.8	Información Complementaria.....	(117)
4.9	Plano de Localización General de Equipos	(119)
4.10	Planteamiento de los escenarios	(119)
4.11	Cálculos en estado estacionario.....	(121)
4.11.1	Datos de entrada.....	(122)
4.11.2	Niveles de presión.....	(122)
4.11.3	Propiedades a condiciones de relevo.....	(122)
4.11.4	Determinación de la masa a relevar	(123)
4.11.5	Cálculo del Área del orificio de la válvula.....	(123)
4.11.6	Resumen de válvulas.....	(123)
4.12	Cálculos a régimen dinámico.....	(124)
4.12.1	Datos de entrada.....	(127)
4.12.2	Niveles de presión.....	(128)
4.12.3	Propiedades a condiciones de relevo.....	(128)
4.12.4	Determinación de la masa a relevar	(129)
4.12.5	Cálculo del Área del orificio de la válvula.....	(129)
4.12.6	Perfiles de depresionamiento	(130)
4.12.7	Resumen de válvulas.....	(133)
4.13	Comparación de consideraciones.....	(133)
4.14	Análisis de resultados.....	(134)
	Conclusiones.....	(136)

DFP-FQ-T2004-01	(138)
DFP-FQ-T2004-02	(139)
DFP-FQ-T2004-04	(140)
DFP-FQ-T2004-05	(141)

HD-D-1001.....	(142)
HD-D-1002.....	(143)
HD-D-1008.....	(144)
HD-D-1009.....	(145)
HD-D-1010.....	(146)
HD-D-1072.....	(147)

DTI-FQ-T2004-084.....	(148)
DTI-FQ-T2004-087.....	(149)
DTI-FQ-T2004-088.....	(150)
DTI-FQ-T2004-089.....	(151)
DTI-FQ-T2004-100.....	(152)

Bibliografia.....	(153)
--------------------------	--------------

Introducción

Durante la etapa de diseño de una instalación industrial es necesario considerar además de los costos de equipo, instalación y costos de operación, los relacionados con la seguridad, ya que durante una operación anormal los equipos, maquinas y el personal pueden salir dañados ocasionando costos elevados.

Uno de los riesgos más comunes en los procesos industriales es el aumento excesivo de presión, el cual puede provocar explosiones o fracturas en tuberías, recipientes y otros equipos.

La presión puede elevarse por distintas causas y durante la etapa de ingeniería básica no se pueden considerar todos los escenarios posibles para diseñar las instalaciones para todas las condiciones posibles de sobrepresión. La manera práctica, barata y efectiva de proteger el equipo para los diferentes escenarios es por medio de un sistema de relevo de presión. Los sistemas de relevo de presión protegen a los equipos y consecuentemente al personal, son diseñados para operar a una presión superior a la máxima permitida; su principio de operación es simple, desalojan masa para disminuir la presión excesiva. Los sistemas están constituidos por válvulas de relevo de presión, discos de ruptura, tuberías, tanques de separación y un quemador. El diseño de este tipo de sistemas es el resultado de la aplicación de un gran número de criterios de ingeniería, seguridad, operación, flexibilidad económica; así como el manejo de una gran cantidad de ecuaciones, métodos y cálculos que permitan establecer de manera eficiente y confiable el dimensionamiento de cada uno de los elementos que integran el sistema.

En este trabajo de tesis se presenta el diseño de válvulas de relevo de presión empleando consideraciones en estado estacionario y a régimen dinámico para determinar la cantidad de masa aliviada durante un evento de fuego. En el capítulo I Se introducen los conceptos y teoría básica, para que los lectores adquieran de forma rápida el panorama general del tema y el vocabulario que se manejara a lo largo de la tesis. Se presentan de forma esquemática los dispositivos de relevo de presión, se define el propósito y el funcionamiento del sistema de relevo, se discuten las posibles causas de sobrepresión en la planta y se presenta la normatividad vigente para el diseño de dichos sistemas.

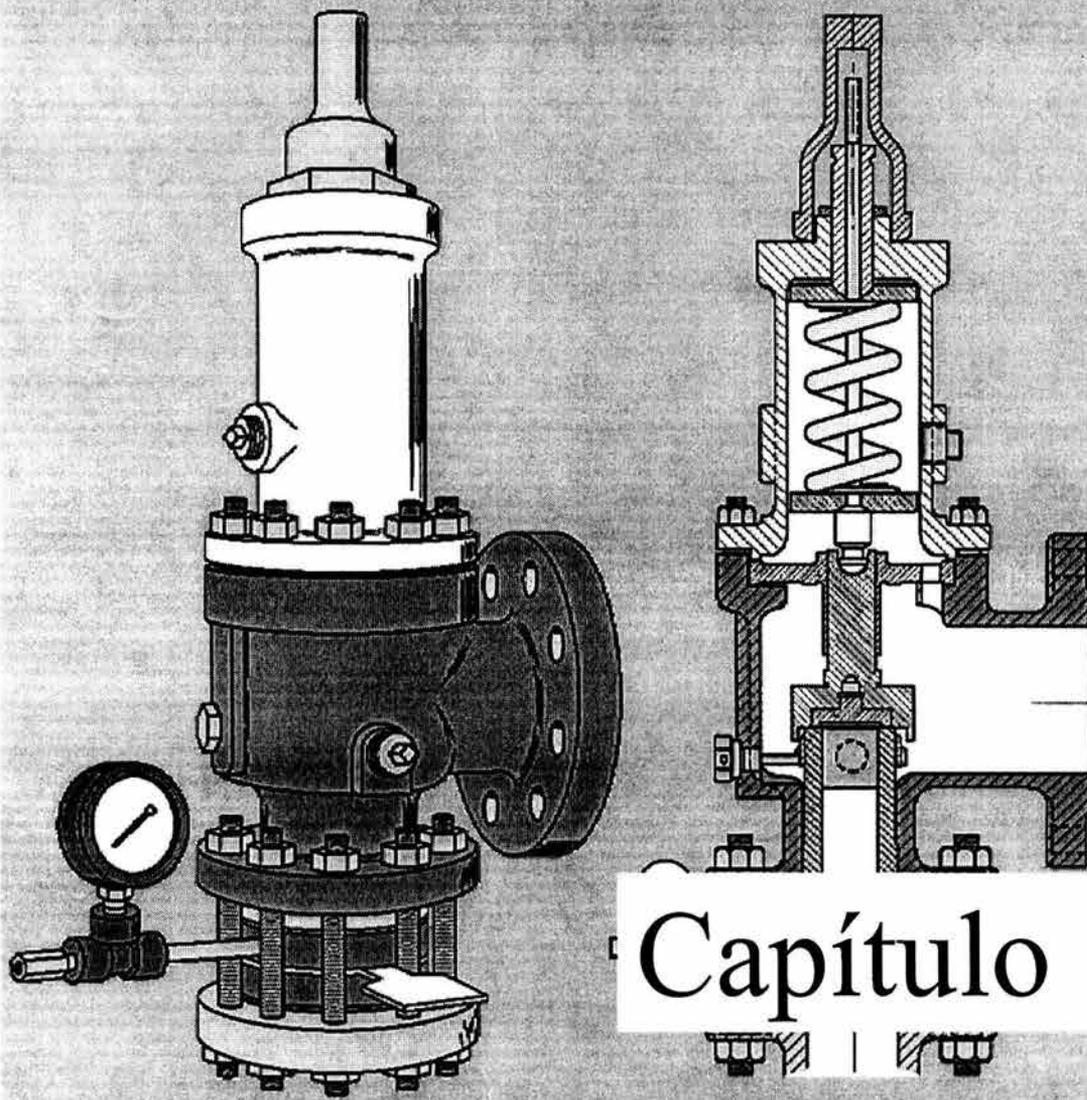
En el capítulo II se establece los niveles de presión a los cuales se ajustan los dispositivos de relevo de acuerdo a la naturaleza de la falla y el número de elementos dispuestos para el alivio. Basado principalmente en el código API 520 y 521 se plantean los procedimientos para el dimensionamiento de las válvulas de relevo de presión y se enlistan las consideraciones a régimen permanente empleadas tradicionalmente; así también, se presentan los modelos matemáticos que describen la dinámica del proceso de alivio de presión y se plantea la metodología de solución.

En el capítulo III se describen los documentos de ingeniería básica que intervienen en el análisis y Dimensionamiento de los sistemas de relevo de presión; como herramienta para resolver el escenario dinámico se emplea un simulador de procesos comercial, el cual es descrito durante este capítulo específicamente en su módulo de despresurización. Es importante recalcar la importancia de este capítulo, ya que la descripción realizada en estas páginas no se encuentra en los manuales del simulador, por lo que hablar de un software como herramienta y no tener la noción de cómo emplearlo puede desembocar en un aumento innecesario de horas hombre para capacitarse en el uso, llegando a superar las horas empleadas para resolver el problema.

Finalmente se aterriza toda la teoría vertida en los tres capítulos anteriores en el estudio de una planta Hidrosulfuradora de Diesel típica. Se plantean los escenarios específicos, los niveles de presión y se determina la masa a aliviar y el tamaño de dispositivo para el servicio, empleando para esto las consideraciones a régimen permanente y régimen dinámico. El emplear un simulador de procesos resulta conveniente, debido a su capacidad de presentar los resultados acompañados de los perfiles de presión y de temperatura en función del tiempo. Finalmente se establece la conveniencia de un análisis riguroso dentro de la etapa de ingeniería básica al comparar los resultados obtenidos por los dos métodos presentados.

Es importante comentar que el presente trabajo pretende demostrar que el análisis impactaría directamente en el tamaño de los dispositivos seleccionados y por ende en los costos directos de instalación.

Generalidades y aspectos teóricos del Sistema de Relevo de Presión.



Capítulo

II



Generalidades y aspectos teóricos del Sistema de Relievo de Presión.

1.1 Sistemas de relevo de presión.

Un sistema de relevo de presión es un arreglo de accesorios o dispositivos de relevo de presión, tubería y un medio de disposición destinado al alivio seguro, transporte y disposición de fluidos en fase líquida, gaseosa o vapor.^[37] Un sistema de relevo puede consistir de sólo una válvula de relevo de presión o disco de ruptura, uno u otro, con o sin un sistema de tuberías de descarga, sobre un recipiente o línea sometido a presión. Un sistema más complejo involucra más dispositivos de relevo de presión, distribuidos hacia ramales y cabezales de recolección para su envío a disposición final.^[10]

1.1.1 Necesidad de los sistemas de relevo de presión.

La importancia de la seguridad en una planta de refinación se debe considerar desde la fase de ingeniería de diseño, durante la puesta en marcha y hasta la operación. Uno de los mayores riesgos que se generan durante la operación de la planta es el incremento excesivo de presión o de flujo en líneas y equipos que pueden provocar fracturas o explosión a los mismos. El aumento de presión es causado por las condiciones intrínsecas del proceso (fallas operacionales) o por situaciones de emergencia tales como fuego, expansiones térmicas o fallas de servicios auxiliares.

El objetivo de un sistema de relevo de presión es proteger al personal, al equipo, a las instalaciones y al ambiente durante una condición de sobrepresión desalojando los fluidos que ocasionan dicha operación anormal a través de un sistema de tuberías, hasta un lugar en el cual se puedan eliminar de forma segura o recuperar; si el material desalojado es de alto valor comercial. Estos equipos constituyen el último dispositivo de seguridad que actúan en una situación de emergencia, evitando que una sobrepresión origine una catástrofe, además de representar la forma más práctica y barata de proteger las instalaciones.



La sobrepresión es el aumento de presión por arriba de la presión de ajuste previamente establecida; todos los recipientes y tuberías sometidos a presión son diseñados para soportar un porcentaje de sobrepresión, sin embargo, después de cierta cantidad es necesario disminuirla por medio de un dispositivo de relevo de presión.

La presión de ajuste es el valor de presión estática a la entrada del dispositivo de relevo al cual ha sido preparado para comenzar a abrir y dejar pasar materia; este valor es arbitrario y puede ajustarse para que sea igual a la máxima presión de operación del recipiente construido o en caso de estar en etapa de diseño corresponde a la presión de diseño del recipiente.

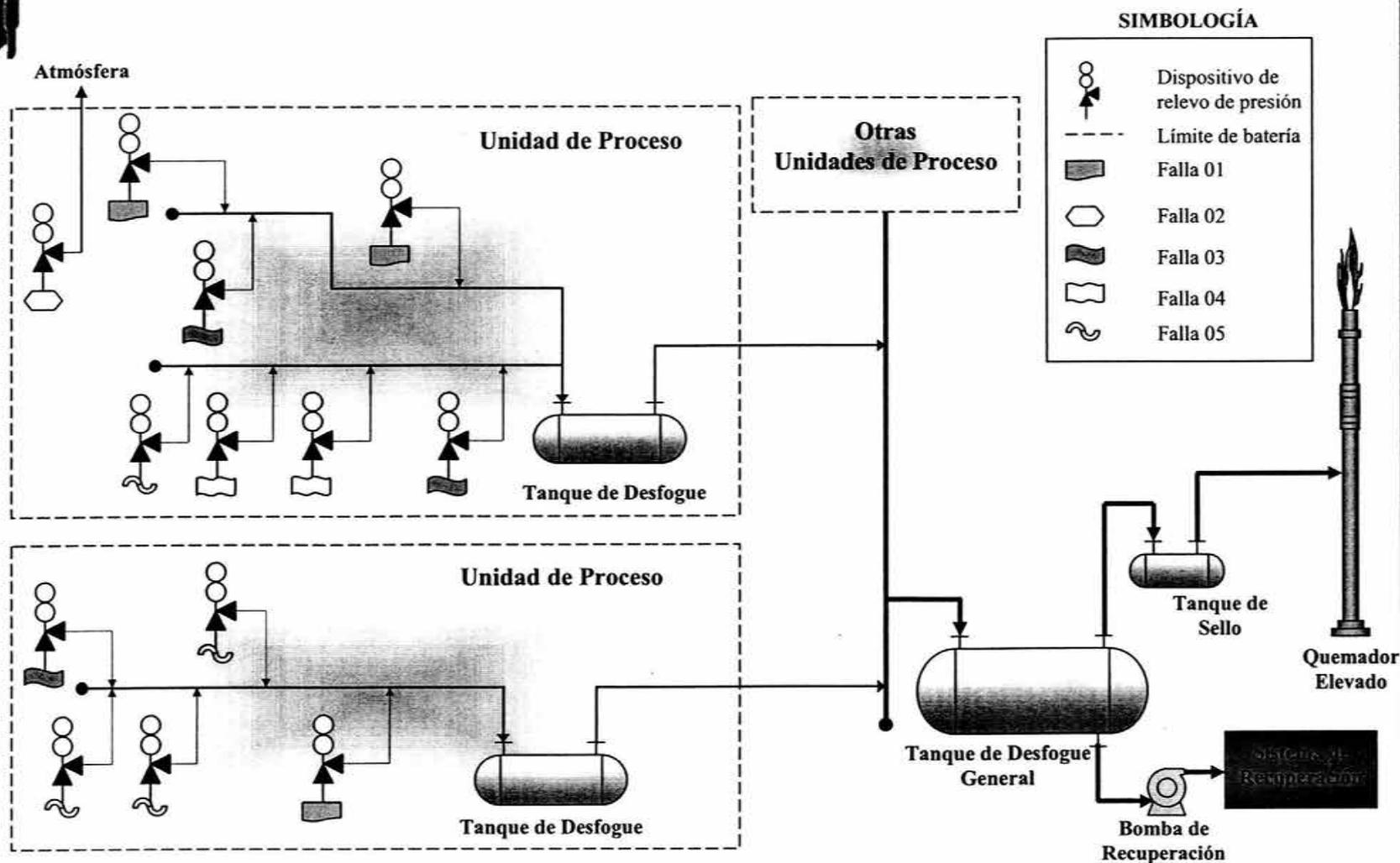
Es importante diseñar de forma correcta el sistema de relevo de presión, que si bien no funciona regularmente, cobra importancia durante una situación de sobrepresión, ahorrando una gran cantidad de dinero.

Los sistemas de relevo de presión se deben diseñar de tal forma que cumplan con los siguientes objetivos:

- Cumplimiento con reglamentos locales, estatales y nacionales incluso protección ambiental.
- Proteger al personal contra los riesgos de sobrepresión en los equipos.
- Minimizar las pérdidas materiales durante y después de una alteración en la operación que haya ocasionado sobrepresión durante un tiempo corto.
- Reducir las pérdidas de tiempo debidas a sobrepresión en la planta.
- Evitar daños al equipo y edificios.
- Evitar daños a construcciones colindantes.
- Reducir primas de seguros sobre la inversión de capital.^[2]



Figura 1.1 Sistema de Relievo de Presión. Se muestra de forma esquemática un sistema típico de relieves de presión y quemador.



En la industria del petróleo es frecuente encontrar sistemas que involucran válvulas de relieves de presión y/o discos de ruptura, un tanque de sello, un tanque de recuperación, un separador y un quemador, ya sea elevado o de fosa.



1.1.2 Clasificación de sistemas de relevo de presión.

De acuerdo a la disposición de la masa relevada, los sistemas de relevo de presión se clasifican en:

- a) Sistemas abiertos.
- b) Sistemas cerrados.
- c) Sistemas de recuperación.

Las sustancias relevadas tendrán un destino de acuerdo a su estado físico, en el caso de líquidos se mandan a un sistema de recuperación o a un quemador de fosa, el vapor o gas se envía comúnmente a un quemador elevado. En la figura 1.1 se muestra el esquema típico de un quemador y un sistema de relevo de presión en una instalación industrial.

Sistema abierto: La masa relevada entra en contacto directo con la atmósfera al ocurrir el desfogue; los fluidos desalojados por este sistema no reaccionan químicamente con el aire o forman mezclas explosivas o inflamables como es el caso de agua, aire comprimido, vapor de agua y algunos gases de bajo peso molecular.^[35]

Sistema cerrado: La masa relevada se dispone mediante un arreglo de tuberías llamado ramal y cabezal de desfogue hasta un lugar adecuado evitando que cualquier descarga de los distintos dispositivos entre en contacto con la atmósfera y forme mezclas explosivas o inflamables. Debido a la naturaleza de los fluidos relevados, los cabezales conducen el desfogue a tanques de separación para posteriormente enviar la corriente gaseosa a un quemador elevado y los líquidos a un quemador de fosa; si el material es de alto valor comercial se reincorpora nuevamente al sistema.

Sistema de recuperación: Esta formado por un cabezal, ramales y equipos que en conjunto ofrecen la posibilidad de recuperar el producto, o su neutralización o conversión hacia productos menos riesgosos para ser liberados hacia la atmósfera. Comúnmente los desfogues líquidos van a sistemas de recuperación, sin embargo cuando el costo asociado a los equipos de recuperación es elevado son mandados a un quemador.



1.1.3 Funcionamiento básico del sistema de relevo.

La masa relevada proveniente de diferentes puntos de proceso son enviados a través de un sistema de tuberías secundarias llamadas ramales hasta un cabezal principal que se encarga de recolectar la descarga de cualquier punto de la planta y conducirla a un tanque de separación, el cual remueve los líquidos de la corriente gaseosa, evitando que las gotas de líquido sean arrastradas por la fase vapor al quemador y sean arrojados como gotas encendidas, que pueden ocasionar una lluvia de fuego.

Los gases fluyen hacia el quemador donde son mezclados con aire y posteriormente quemados para ser emitido a la atmósfera. El líquido desprendido de la corriente relevada es recolectado en el tanque de separación y bombeado a instalaciones de disposición o reincorporado a un punto del sistema. Entre el quemador y el tanque de separación se instala un tanque de sello de agua, el cual tiene como función mantener una presión positiva en el cabezal y prevenir el retroceso de la flama y corrientes gaseosas de desecho al sistema de descarga.

1.2 Condiciones que pueden causar presiones excesivas.

Sobrepresión es el resultado de un desequilibrio o interrupción de los flujos normales de material y energía que causan que el material o energía, o ambos, se acumulen en alguna parte del sistema ocasionando un incremento de presión excesiva. El análisis de las causas y magnitudes de la sobrepresión es un estudio especial y complejo de balances de materia y energía en un sistema del proceso. ^[29]

Los recipientes a presión, cambiadores de calor, equipos operados y los sistemas de tuberías son diseñados para contener la presión del sistema. El diseño es basado en:

- a) La presión normal de operación a temperatura de operación.
- b) El efecto de cualquier combinación de cargas mecánicas que comúnmente ocurran y
- c) La diferencial entre la presión de operación y la presión de ajuste del dispositivo de relevo de presión.



El diseñador de sistemas de proceso debe definir el requerimiento mínimo de relevo para impedir que la presión en cualquier pieza del equipo exceda la máxima presión acumulado permisible.

Cada emergencia se presenta de una causa o contingencia específica. Las causas de sobrepresión, incluyendo fuego externo, se consideran sin relación cuando no existen conexiones de proceso, mecánicas o eléctricas entre ellos, o si el lapso de tiempo que transcurre entre las posibles causas sucesivas es suficientemente prolongado para considerar que existe relación entre si. La ocurrencia simultánea de dos o más contingencias es improbable y no es considerada por el código API para el diseño del sistema de relevo de presión. ^[41]

Aunque instituciones como el American Petroleum Institute han hecho esfuerzos para cubrir en sus códigos todas las circunstancias posibles que ocasionen sobrepresión, el ingeniero de proceso debe considerar todas aquellas condiciones o fallas que puedan causar sobrepresión en las instalaciones y que no se encuentren descritas a continuación.

1.2.1 Falla de Servicios auxiliares.

Las consecuencias que se pueden desarrollar debido a la pérdida de cualquier servicio auxiliar, para la planta entera o una sección de ella, deben evaluarse cuidadosamente. Los servicios normales susceptibles de falla así como una lista parcial de equipos afectados por sobrepresionamiento son mostrados en la siguiente tabla.

1.2.2 Falla eléctrica o mecánica.

En muchas plantas, ciertos equipos y controles son operados por corriente eléctrica, y si esta falla, dichos controles quedar inutilizados. La falla de equipos mecánicos o eléctricos que proporcionan enfriamiento o condensación en corrientes de proceso pueden causar sobrepresión en recipientes de proceso. Los ventiladores en los enfriadores con aire o en las torres de enfriamiento ocasionalmente llegan a fallar debido a una pérdida de corriente eléctrica o una avería mecánica.



1.2.3 Falla de agua de enfriamiento.

Cuando falla el agua de enfriamiento en un condensador, aumenta el volumen del vapor debido a que no hay una condensación adecuada. Esto provoca que haya en los equipos un aumento de presión que debe ser aliviado.

1.2.4 Falla de controles o de aire de instrumentos.

En este caso se trata de la falla de las válvulas de control ya sea por falla del aire de instrumentos, por falla de energía eléctrica, por congelamiento, etc.

Tabla 1.1 Posibles fallas de servicio y equipos afectados.

Falla de servicio	Equipo afectado
Electricidad	Bombas para recirculación de agua de enfriamiento, carga a calentadores, de quench o de reflujo. Ventiladores para aeroenfriadores, torres de enfriamiento, o aire de combustión Compresores para vapor de proceso, aire de instrumentos, vacío o refrigeración. Instrumentación. Válvulas operadas por motor.
Agua de enfriamiento	Condensadores para servicios de proceso o auxiliares. Enfriadores para fluidos de proceso, aceite de lubricamiento. Chaquetas en equipos rotatorios o reciprocantes.
Aire de instrumentos	Transmisores y controles. Válvulas de reguladoras de presión. Sistemas de alarma y de cierre.
Vapor	Turbinas accionadas de bombas, compresores, sopladores, ventiladores de aire de combustión, o generadores eléctricos. Rehervidores Bombas reciprocantes Equipos que utilicen diferentes inyecciones de vapor
Combustible	Calentadores Rehervidores Compresores Turbinas de gas Generadores eléctricos
Gases inertes	Sellos Reactores catalíticos Purgas para instrumentos y equipos.



Una evaluación del efecto de la sobrepresión que es atribuible a las pérdidas de algún servicio auxiliar en particular debe incluir la cadena de acontecimientos que podrían ocurrir y el tiempo involucrado. En situaciones en las cuales el equipo falla pero opera en paralelo con un equipo auxiliar que tiene una fuente de energía diferente, la contribución en la operación puede ser tomada por la no afectada y el equipo sigue funcionando para que el servicio se mantenga.

Un ejemplo podría ser un sistema de agua de enfriamiento que consiste en dos bombas en servicio paralelo y en funcionamiento continuo cuyos accionadores tienen fuentes de energía sin relación. Si una de las dos fuentes de energía falla, la contribución parcial puede tomarse por la otra fuente de poder que continúa funcionando. La cantidad del exceso de vapor generada entonces debido al fallo de energía depende solamente de la cantidad de agua de enfriamiento perdida.^[3]

Otro ejemplo sería dos bombas de agua de enfriamiento en servicio en paralelo, donde una bomba proporciona el flujo total de agua de enfriamiento y la segunda en estado de espera para el servicio. La segunda bomba tiene una fuente de energía separada y está provisto con controles de encendido automático si la primera bomba falla. No se debe considerar para protección ninguna contribución para la bomba de reserva porque el dispositivo de reserva puede proporcionar todo el servicio.

1.2.5 Fuego.

Cuando se produce un incendio, cualquier recipiente que cuente con un inventario constante de líquido puede estar expuesto al fuego. El calor suministrado por las llamas ocasiona que una parte del líquido se vaporice y la masa resultante provoque un aumento de presión en el domo.



1.2.6 Errores operacionales.

El cierre inadvertido de una válvula de bloqueo a la salida de un recipiente a presión mientras la planta está en operación continua o la obstrucción por cualquier motivo, puede exponerlo a una presión que exceda la máxima presión de trabajo permisible. Todas las válvulas de control deben ser consideradas como expuestas a funcionamiento inadvertido. La apertura inadvertida de cualquier válvula de una fuente de alta presión, como vapor de alta presión o fluidos del proceso, debe ser considerada.

1.2.7 Expansión térmica.

Cuando un recipiente o cambiador de calor puede de alguna manera bloquearse por un líquido, y existe alguna fuente de calor que pueda calentar ese líquido, este tiende a expandirse en mayor o en menor grado, de acuerdo al líquido de que se trate. Si el líquido llena por completo el recipiente o el cambiador de calor, la tendencia a expandirse se traduce en un enorme aumento de presión, ya que el volumen es constante.

1.2.8 Ruptura de tubos en equipos de intercambio de calor.

En este caso se protegen la envolvente o los tubos de un intercambiador de calor. Los tubos están expuestos a fallas debidas a choques térmicos, vibraciones y corrosión, dando como resultado la fractura de los tubos. En el caso de la ruptura de un tubo, el líquido de alta presión invade el espacio del recurso con menor presión, por lo que es necesaria la instalación de un dispositivo de relevo de presión del lado de menor presión.

1.2.9 Falla de reflujo en columnas de destilación.

La pérdida de reflujo como resultado de la falla de una bomba o instrumento puede causar el sobrepresionamiento en una columna debido a que el condensador se inunda o la pérdida de refrigerante en el proceso del fraccionamiento. En una columna, el vapor que asciende del segundo plato, produce la ebullición del líquido del primer plato. Cuando falla el reflujo, sea parcial o totalmente, el vapor ascendente evapora en mayor cantidad el resto del líquido del plato superior, y lo mismo sucede en todos los platos, produciéndose una gran cantidad de vapor que probablemente ocasione un aumento de presión en el domo.



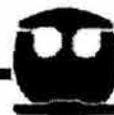
1.2.10 Falla de una válvula de control.

La complejidad de automatización de los instrumentos en las unidades del proceso requiere el suministro de fuentes fiables y continuas de aire o energía eléctrica, o ambos, para el funcionamiento adecuado. Cuando un solo compresor de aire de instrumentos es instalado, un receptor de aire puede bastar si este es suplementado por una estación reductora de presión de emergencia. Deben interconectarse los instrumentos electrónicos o eléctricos clave con una fuente de emergencia eléctrica de voltaje apropiado, ya sea corriente directa o indirecta. La condición de falla-segura de cada válvula de control debe evaluarse.

La falla-segura se refiere a la acción de la válvula de control (falla abre o falla cierra, o permanece en su posición) durante la pérdida de aire de operación o de energía eléctrica. Para minimizar la probabilidad de sobrepresión, cada válvula de control debe tener su característica de falla-segura apropiadamente establecida como una parte integral del diseño de la planta.

1.2.11 Falla de una válvula de retención.

La falla de una válvula retención o check al cierre también debe ser considerado. Por ejemplo, Cuando un fluido es bombeado a un sistema de proceso que contiene gas o vapor a presiones significativamente más altas que las de diseño de equipo corriente arriba de la bomba, la interrupción del flujo acompañada por la falla de la válvula check en la línea de la descarga producirá flujo inverso del líquido. Cuando el líquido ha sido desplazado dentro del sistema de succión, la alta presión del fluido puede ocasionar serios problemas de sobrepresión. Una sola válvula check normalmente es considerada aceptable a menos que exista un potencial de flujo de regreso de alta presión capaz de crear una presión que exceden la presión de la prueba del equipo. En estos casos, uno debe considerar proporcionar un dispositivo secundario para minimizar el potencial para una inversión de flujo



1.2.12 Pérdida de calor en una serie de sistemas de fraccionamiento.

En series de fraccionamiento (esto es, donde los fondos de la primera columna alimentan a una segunda columna y los fondos de la segunda alimentan a una tercera), la pérdida de calor a la entrada de la columna puede ocasionar sobrepresión en la siguiente columna. El resultado de las pérdidas de calor provoca que algunos ligeros se mezclen con los fondos y sean transferidos a la alimentación de la siguiente torre. Bajo estas circunstancias, la carga de domos de la segunda columna puede consistir de su carga de vapor normal más los ligeros de la segunda columna. Si la segunda columna no tiene la capacidad de condensar la carga adicional de vapor, ocurrirá un exceso de presión.

1.2.13 Entrada de calor anormal.

Los rehervidores u otros equipos de proceso pueden generar entradas de calor adicional al proceso. Durante una falla de control de temperatura la generación de vapor puede exceder la capacidad de condensar el sistema o para absorber el incremento de presión.

1.2.14 Retroceso de flujo.

Cuando un fluido es bombeado o comprimido a un sistema de proceso de alta presión esta propenso a que durante una falla mecánica eléctrica, un cierre inadvertido de una válvula o una descarga bloqueada provoque que una línea asociada se quede momentáneamente sin flujo, ocasionando que el fluido con mayor presión invada la tubería y (flujo inverso). Cuando los fluidos han sido desplazados dentro del sistema de succión, la alta presión del fluido puede ocasionar serios problemas de sobrepresión y la destrucción de los equipos.

1.3 Generalidades del diseño de un sistema de relevo de presión.

El diseño de un sistema de relevo de presión involucra el uso de diferentes herramientas como las buenas prácticas de ingeniería y los criterios provenientes de la experiencia, así como del buen juicio del ingeniero ya que cada elemento de éste tiene sus propias consideraciones. En el caso de los dispositivos de relevo de presión la guía más



empleada para su dimensionamiento la encontramos en las prácticas recomendadas API 520.^[36] La selección de estos dispositivos dependen del tipo de fluido a relevar, sus propiedades termodinámicas y termofísicas. La masa se determina de acuerdo al tipo de falla y tomando algunas consideraciones propias del proceso. Existen empresas especialistas en el diseño de estos dispositivos, como es el caso de Crosby®, que proporcionan de forma gratuita una guía en su dirección electrónica para el dimensionamiento, sin embargo no especifican como determinar los requerimientos de relevo (masa a desalojar).^[28]

El sistema de tuberías es un caso de diseño de flujo compresible en el cual la densidad y la velocidad del gas relevado cambia rápidamente. Dentro de la tubería existe una presión positiva que afecta la operación de los dispositivos de relevo llamada contrapresión. La contrapresión puede ser una presión continua a la salida del dispositivo llamada súper impuesta; y desarrollada, cuando el fluido relevado ocasiona en la boquilla de salida un aumento de presión durante toda la operación. En tales sistemas es necesario determinar si la contrapresión desarrollada a la salida del dispositivo afectará el funcionamiento del mismo.

La presión creada por la descarga del fluido afecta la capacidad de descarga de cualquiera de los dos tipos de las válvulas, aunque en una relación diferente ya que en las válvulas convencionales, a partir de que la contrapresión alcanza un 10% de la presión de relevo, la válvula es marcadamente afectada, mientras que las balanceadas pueden mantener sus capacidades de descarga hasta que la contrapresión alcance un valor entre el 30 al 50% de la presión de relevo.^[41]

Además es necesario conocer la velocidad que se producirá debido a la expansión del fluido a través de la válvulas y a medida que recorra el cabezal y los ramales. Algunos métodos para flujo incompresible isotérmico han sido propuestos en las prácticas recomendadas API 521^[41], además existen diferentes libros y artículos en los que se



proponen métodos para el diseño, entre los más empleados se encuentran los de Conison y Misen.^[34]

El ingeniero de procesos puede realizar un dimensionamiento preliminar para el quemador, y los dispositivos de relevo, pero el diseño mecánico detallado de estos dispositivos es normalmente realizado por los proveedores. Es responsabilidad de los ingenieros de proceso el dimensionamiento del tanque de sello de agua, el cabezal de descarga y el tanque de separación.

Se puede decir que el diseño de los sistemas de relevo de presión es usualmente realizado en 3 partes:

- a) Cálculo de los requerimientos de relevo de los dispositivos individuales de relevo de acuerdo a la condición que ocasiona la sobrepresión.
- b) Diseño del cabezal de distribución hasta el quemador.
- c) Diseño de los recipientes, el separador y el quemador.

1.3.1 Definiciones básicas.^[37]

La presión de operación es la presión de manométrica a la cual el equipo se sujeta normalmente en servicio. Un recipiente de proceso se diseña generalmente para una presión que proporcione un margen conveniente sobre la presión de operación. La máxima presión de operación es la máxima presión esperada durante la operación normal del sistema.

La **máxima presión de trabajo permisible** (MAWP por sus siglas en inglés Maximum Allowable Working Pressure) es la máxima presión manométrica permisible en el domo de un recipiente completo en su posición de operación normal en la temperatura indicada para esta presión; el recipiente no debe ser operado por encima de esta presión. Esta máxima presión de trabajo permisible es la base para la presión de ajuste del dispositivo de relevo de presión que protege el recipiente. La MAWP es normalmente mayor que la presión de diseño pero puede ser igual a la presión de diseño cuando los



principios de diseño son usados solo para el mínimo espesor para cada elemento y los cálculos no son hechos para determinar el valor de la MAWP.

Presión de diseño es la presión usada como base para determinar el grueso mínimo del metal de un recipiente o de un equipo. La presión de diseño del recipiente junto con la temperatura de diseño es usada para determinar el espesor mínimo permisible o las características físicas de cada componente del recipiente. Esta presión de diseño es seleccionada por el usuario para proveer un apropiado margen sobre las presiones más severas esperadas durante la operación normal a una temperatura indicada. Esta presión puede ser usada en lugar de la presión máxima de trabajo permisible en todos los casos donde la MAWP no ha sido establecida. La presión de diseño nunca es mayor, es igual o menor que la MAWP.

La acumulación es el incremento de presión sobre la máxima presión de trabajo permisible que el recipiente permite durante la descarga a través del dispositivo de relevo de presión, expresada en unidades de presión o como porcentaje de la MAWP o presión de diseño. La máxima acumulación permisible esta establecida por códigos aplicables para operación de emergencia y contingencia de fuego.

La sobrepresión es el incremento de presión sobre la presión de ajuste permitido por dispositivo de relevo para alcanzar un flujo total. La sobrepresión se expresa en unidades de presión o como un porcentaje de la presión de ajuste. La sobrepresión puede ser igual a la acumulación, cuando el dispositivo de relevo es ajustado para abrir a la máxima presión de trabajo permisible del recipiente.

La presión de ajuste o de calibración, expresada en unidades de presión, es el valor de presión estática creciente a la entrada de la válvula, y a la cual ha sido preparada para abrir bajo las condiciones de servicio. En servicio de líquidos, la presión de ajuste se define como la presión a la entrada de la válvula a la cual ésta comienza a tener una



descarga continua de líquido. En servicios de gases y vapores, la presión de ajuste se define como la presión a la entrada de la válvula a la cual dispara bajo las condiciones de servicio.

La **contrapresión** es la presión que existe en la salida de un dispositivo de relevo de presión como el resultado de la presión en el sistema de descarga. Es la suma de la presión superpuesta y la contra presión desarrollada. La contrapresión desarrollada es la presión que se desarrolla en la salida de la válvula como resultado del flujo que existe después de que la válvula ha abierto. La contrapresión sobrepuesta es la presión estática que existe en el lado de la descarga de un dispositivo de relevo de presión en el momento que el dispositivo es requerido para operar.

La **presión de apertura** es el valor del incremento en la presión estática en la entrada en la cual hay una elevación medida en el disco o en la cual la descarga del fluido llega a ser continua, se determina por observación, experiencia o por el ruido que genere.

La **presión de cierre** es el valor de caída de presión estática en la entrada en la cual el disco de la válvula restablece contacto con el asiento o en la cual la elevación es cero, esto se determina por observación, experiencia o por el ruido que genere.

El **siseo** aplica a válvulas de seguridad o seguridad-alivio en fluidos compresibles únicamente. El siseo es el indicador audible o visible de escape del fluido de entre los asientos de la válvula, a una presión estática ligeramente por debajo de la presión de disparo (apertura súbita) de la misma. Se expresa en porcentaje de la presión de ajuste o en unidades de presión.

Castañeo son los movimientos rápidos oscilatorios sin control del disco durante la descarga de una válvula de relevo de presión, caracterizada por el sonido violento que produce el disco al hacer contacto con el asiento de la tobera. Dichos movimientos se consideran anormales.



La **presión de disparo o detonación** aplicable únicamente a válvulas de seguridad o seguridad-alivio que manejan fluidos compresibles. Es el valor de presión estática **ascendente** y a la cual el disco se mueve en dirección de apertura a una velocidad muy superior comparada con la correspondiente velocidad a la que lo hará a presiones inferiores o superiores. Se presenta después del siseo, a la presión de calibración de la válvula, de manera audible en forma de súbito y violento disparo o detonación. Dicho disparo constituye una característica de las válvulas de seguridad y seguridad-alivio.

Presión diferencial de cierre o purga o caída de presión de recierre (blowdown) es la diferencia entre la presión de ajuste y la presión de cierre de la válvula de relevo, después de que ésta ha estado en operación. Se expresa como un porcentaje de la presión de ajuste o en unidades de presión.

Presión de relevo es la suma de la presión de ajuste más la sobrepresión. A este valor, los dispositivos de relevo se encuentran en apertura total.

El termino **condiciones de relevo** es usado para indicar la presión y temperatura de entrada en un dispositivo de relevo de presión durante una condición de sobrepresión. La presión de relevo es igual a la presión de ajuste de la válvula (o presión de estallido del disco de ruptura) más la sobrepresión. La temperatura del fluido a condiciones de relevo pueden ser más altas o más bajas que la temperatura de operación.

1.4 Dispositivos de relevo de presión.

La protección de las instalaciones industriales se lleva acabo mediante dispositivos de relevo de presión, los cuales actúan debido a la presión estática de entrada y están diseñados para abrir durante una emergencia o condición anormal previniendo el incremento de presión dentro del recipiente o tubería con respecto a un valor predeterminado.



Estos dispositivos también pueden ser diseñados para prevenir condiciones excesivas de vacío en recipientes.^[37] Los dispositivos de relevo de presión se clasifican en:

- Válvulas de relevo de presión (dispositivos que cierran por si solos después de operar).
- Accesorios de relevo de presión de no recierre (permanecen abiertos hasta cerrarse manualmente, repararse o substituirse)
- Válvulas de relevo de vacío

Para realizar el diseño y la selección de los dispositivos de relevo de presión adecuados, se deben analizar las posibles causas del relevo dependiendo del tipo de proceso y las características de los fluidos a desalojar.

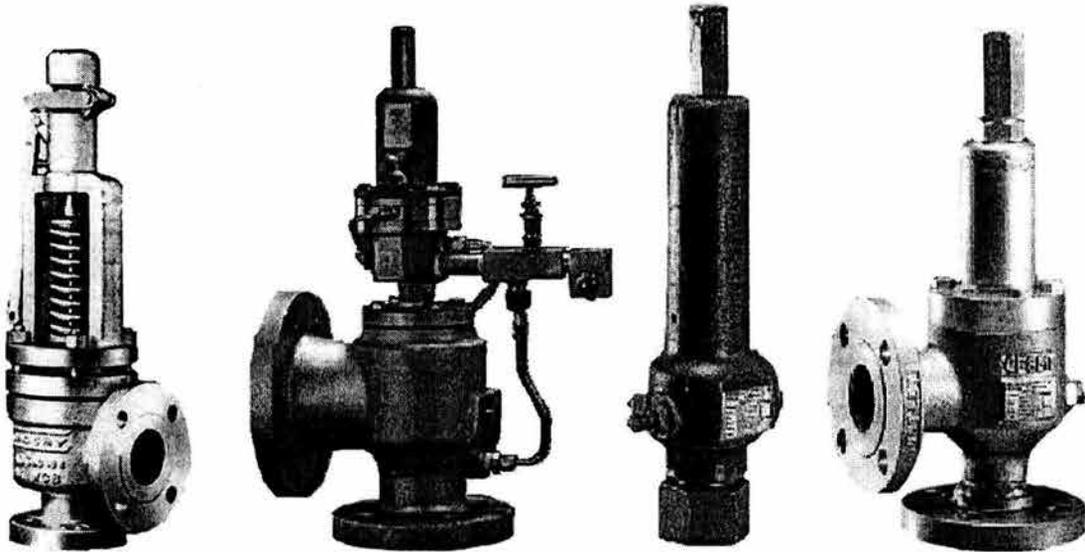
1.4.1 Válvulas de relevo de presión.

El término válvula de relevo de presión se utiliza para denominar indistintamente y en forma general a una válvula de seguridad, válvula de relevo, válvula de relevo-seguridad o a una válvula operada por piloto (ver figura 1.2). Son dispositivos de re-cierre automático, diseñados para abrir y relevar el exceso de presión y cerrar después de haber regresado a la condición normal, evitando la pérdida de material y la salida excesiva de flujo. Estos dispositivos son calibrados para entrar en acción de acuerdo a las necesidades de cada caso mediante el ajuste de la fuerza de un resorte, el cual proporciona una fuerza de presión sobre el disco de la válvula. En las figura 1.3 y 1.4 se ilustran válvulas de relevo con sus partes detalladas.

Bajo condiciones normales de operación del sistema, la presión en la entrada es menor que la presión de ajuste y el disco se encuentra asentado en la boquilla previniendo el flujo a través de ésta. Cuando la presión de entrada es mayor a la presión de ajuste, la fuerza de presión en el disco vence la fuerza de presión o carga del resorte y la válvula abre. Cuando la presión se reduce a un nivel menor a la presión de ajuste la válvula cierra nuevamente. Estas válvulas no suelen ser adecuadas para servicios de relevo de polímeros porque tienden a sedimentarse y a obstruir o pegar la válvula.



Figura 1.2 Válvulas de Relevo de Presión. Se puede apreciar de derecha a izquierda una válvula de seguridad, una válvula operada por piloto, una válvula de expansión térmica y una API.



De acuerdo a su comportamiento operacional se dividen en:

- a) Válvulas de relevo de presión convencionales: debido a sus características de operación (presión de apertura, presión de cierre y la capacidad de relevo) se ve afectado directamente por cambios en la contrapresión ejercida sobre la válvula.
- b) Válvulas de relevo de presión balanceadas: incorpora un fuelle u otro medio para balancear el disco de la válvula minimizando los efectos de la contrapresión en las características de operación de la válvula.^[47]

En las válvulas convencionales la presión de apertura o presión de ajuste se encuentra influenciada directamente por la contrapresión, (presión de lado de la descarga de la válvula) que adiciona o resta una fuerza de presión al disco. Si el espacio que se encuentra encima del disco se encuentra conectado al cabezal de descarga, se producirá un aumento en la presión de ajuste, debido a que en los cabezales se mantiene una presión positiva.



Si la válvula descarga directamente a la atmósfera, la presión de ajuste se reducirá. Si la válvula es localizada donde el venteo atmosférico presentaría riesgos o no es permitido por la regulación ambiental, el venteo debe ser conducido por un sistema de tuberías hasta un lugar seguro que este libre de contrapresión que pueda afectar el funcionamiento de la válvula.^[10]

Generalmente los fluidos dentro de una instalación industrial se conducen a través de tuberías por lo que se requiere tener una contrapresión constante en el cabezal para poder ajustar correctamente la carga del resorte y compensar la fuerza adicional para asegurar que la válvula abra a la presión previamente establecida; sin embargo, es fácil encontrar contrapresiones variables en los cabezales por lo cual ajustar el resorte no es la solución adecuada, se requiere adicionar un mecanismo a la válvula para que compense las variaciones de presión. En una válvula de relevo de presión balanceada se incorpora un fuelle; con la adición del fuelle la presión de ajuste de la válvula de relevo de presión permanecerá constante sin problemas de variaciones en la contrapresión.

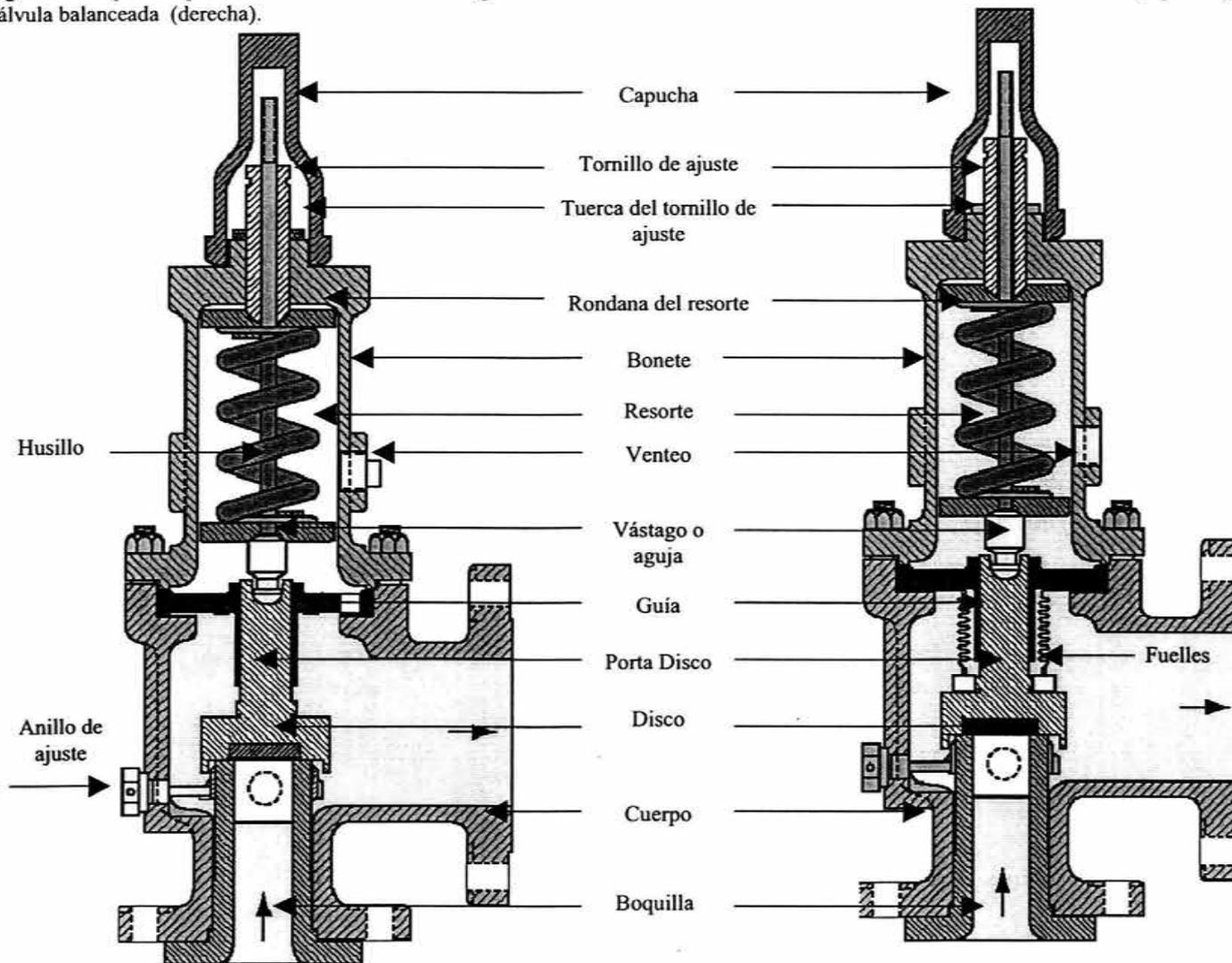
Este tipo de válvula se considera cuando la contrapresión desarrollada (la contrapresión causada por el flujo a través de la tubería corriente abajo después de que la válvula relevo completamente) es demasiado alta para una válvula convencional de relevo de presión. Puede también ser usada como una medida de aislamiento para la guía, el resorte, la cubierta y otras partes de trabajo al alcance del fluido cuando la válvula relevo, si hay preocupación de que el fluido cause corrosión a estas partes. Estas válvulas pueden tolerar un aumento en la contrapresión de hasta 30% a 50% de la presión de ajuste, sin reducir la capacidad para relevar, mientras que las convencionales únicamente toleran el 10% de la presión de relevo.^[41]

De acuerdo al fluido que relevan las válvulas se clasifican en:

- Válvula de relevo (servicios de desalojo de líquidos)
- Válvula de seguridad (servicios de gases y vapor)
- Válvula de relevo – seguridad (ambos)



Figura 1.3 Esquema típico de una válvula de relevo-seguridad. Se muestra los elementos internos de una válvula convencional (izquierda) y de una válvula balanceada (derecha).



Los elementos básicos de una válvula de relevo de presión convencional incluyen una boquilla de entrada conectada al recipiente o sistema que va a ser protegido, un disco móvil el cual controla el flujo a través de la boquilla, y un resorte el cual es ajustado (comprime el disco a la carga correcta) mediante una tuerca para controlar la presión de apertura o presión de ajuste del dispositivo.



El funcionamiento de la válvula de relevo y de la válvula de seguridad es el mismo, la forma de calcularlas y seleccionarlás es similar, sin embargo existen diferencias notables.

1.4.2 Válvulas de relevo.

Se caracteriza porque abre en proporción al incremento de presión arriba de la presión de ajuste. En un principio ocurre una ligera apertura, originada por el líquido que escapa muy lentamente (solo con la fuerza de presión a la entrada de la válvula que vence la fuerza del resorte) formando una pequeña lamina de fluido, la válvula empieza a abrir gradualmente en proporción al incremento de presión, típicamente la válvula se levanta rápidamente de 50% - 90% de elevación entre un 2% - 6% de sobrepresión y esta totalmente abierta en el instante en que la sobrepresión alcanza 10%. Dado que un líquido no se expande cuando su presión se reduce, no existen fuerzas adicionales dinámicas que provoquen el estallido típico del servicio vapor.^[37]

1.4.3 Válvula de seguridad.

Se caracteriza por abrir completamente en forma rápida. Cuando la presión a la entrada excede la presión de ajuste, la fuerza de presión en el disco supera la fuerza ejercida por el resorte y la válvula abre, la expansión provocada al descender la presión, permite que una cantidad adicional de fuerza dinámica se ejerza sobre el disco de la válvula de modo que esta abra repentinamente mediante un estallido o acción pop (audible).

1.4.4 Válvula de relevo – seguridad.

Puede ser empleada como válvulas de seguridad o como válvulas de relevo, dependiendo de la aplicación. Para mantener la válvula abierta en servicios líquidos se necesita como mínimo de 25 a 30% del máximo flujo de la válvula para lograr un levantamiento completo y el funcionamiento estable, debido a que los líquidos no proporcionan las fuerzas expansivas de los vapores. Un flujo menor que el indicado, dará como resultado que la válvula abre y cierra rápidamente, con un efecto de castaño que durara hasta que la presión del sistema protegido baje o se destruya los internos de la válvula.^[37]



1.4.5 Válvula de relevo de presión operada por piloto.

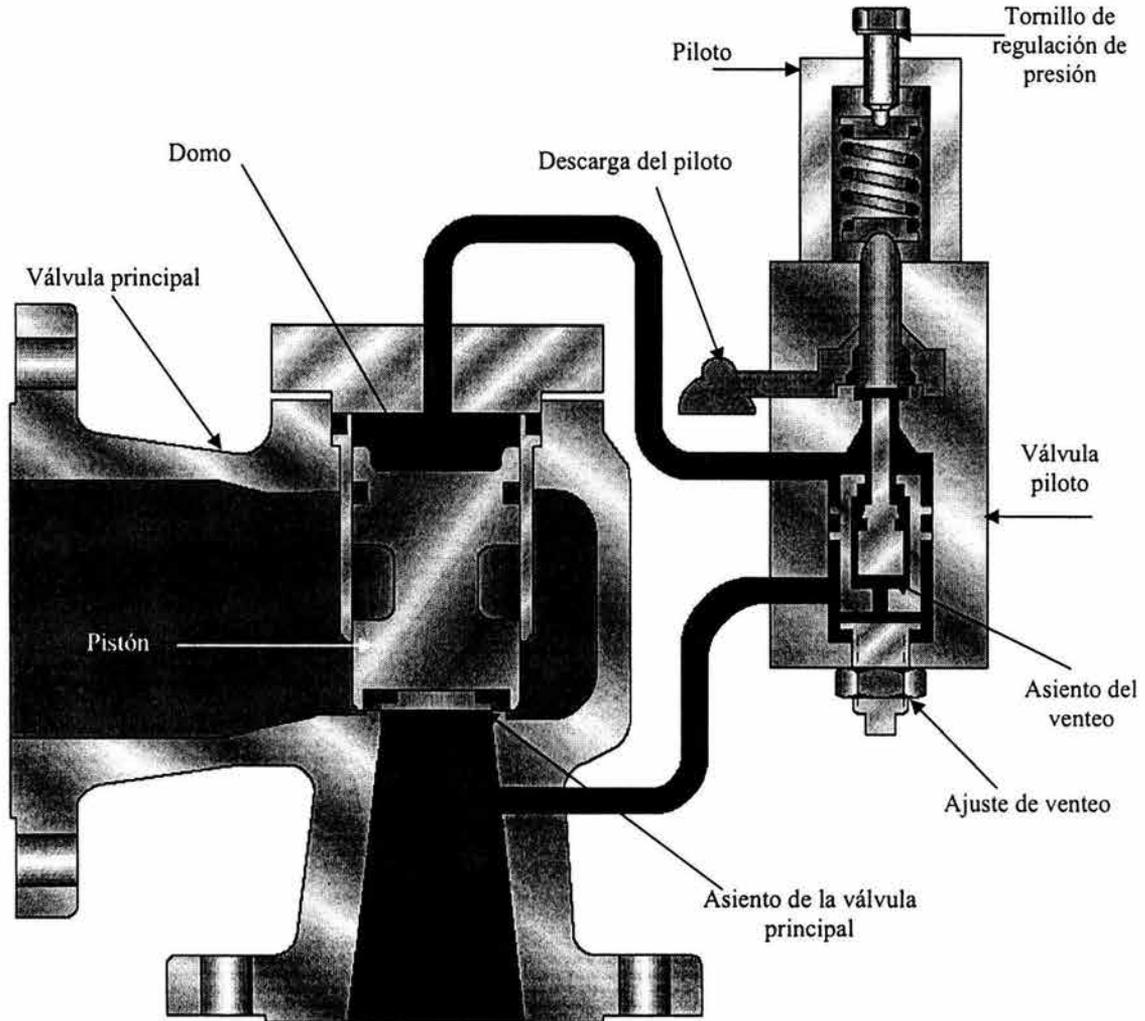
Es una válvula de relevo de presión en cuya válvula principal el miembro obturador no balanceado es un pistón, está combinada y controlada por una válvula de relevo de presión auxiliar (piloto) que es una válvula operada por resorte. Estas dos unidades que forman la válvula de piloto pueden estar montadas en forma conjunta o separada, pero conectadas entre sí.^[37] (figura 1.4)

La **válvula principal** tiene un pistón con superficie transversal más grande en el lado de descarga (superior) que en lado de entrada. La válvula de piloto bajo carga de resorte, que se abre a la presión de relevo, aplica la fuerza de un gas o un líquido a la misma presión que la del proceso. Por tanto, este pistón tiene la misma presión en la parte superior e inferior y la superficie más grande en la parte superior produce mayor fuerza para empujar al pistón hacia abajo contra su asiento. Entonces, la válvula asienta con más fuerza conforma aumenta la presión de funcionamiento; la válvula se puede graduar a presiones ligeramente más altas que la de operación y no oscilará.

El **pistón** es diseñado para tener un área más grande en el domo que en el fondo. Arriba de la presión de ajuste, el área del domo como el fondo son expuestas a la misma presión de operación de la entrada. Por la mayor área en el domo del pistón, la fuerza a la que esta sujeta el pistón lo mantiene hermético contra la boquilla de la válvula principal. Como la presión de operación se incrementa, la fuerza neta en el asiento aumenta y tiende a hacer que la válvula se selle. Este rasgo permite que sea usada donde la máxima presión de operación esperada sea mayor que el porcentaje presentado. En la presión de ajuste, el piloto ventea la presión de el domo de el pistón; la fuerza neta resultante es ahora hacia arriba haciendo que el pistón se eleve, y el flujo es establecido a través de la válvula principal. Después que la sobrepresión incide, el piloto cerrara el venteo del domo del pistón por lo cual la presión se restablecerá, y la fuerza neta generara que el pistón se siente.



Figura 1.4 Esquema de una válvula de relevo de presión operada por piloto.



Las válvulas operadas por piloto operan con gran precisión, pues el piloto es el censor que detecta en todo momento la presión del sistema, y al llegar al punto de calibración, induce la descarga de la presión que existe en una cámara llamada "domo" localizada en la válvula principal, permitiendo con ello el movimiento del "pistón" (elemento obturador de la válvula principal) que hará que se descargue el exceso de presión del sistema.

Existen diferentes tipos de pilotos que, dependiendo de las condiciones del servicio, pueden ser "con flujo" o "sin flujo", y tanto de acción de "disparo y/o modulante". Son excelentes para servicio con gas a alta presión a temperaturas menores de 300 °F y no deben emplearse a temperaturas más altas, porque los sellos tienen dicha temperatura como límite.



Las válvulas operadas por piloto tienen por lo menos 3 ventajas:

- Si la tubería lo permite, se puede controlar a control remoto para la purga manual del sistema.
- Si se monta la válvula piloto cerca del recipiente protegido, la válvula principal puede estar a una distancia considerable y no se moverá porque la válvula piloto no está expuesta a los efectos de las pérdidas por fricción en la tubería.
- Las válvulas con piloto pueden soportar contrapresiones muy altas, hasta del 90% de la presión graduada. Tienen bridas de salida modificadas, lo cual las hace ideales para la protección de compresores alternativos de etapas múltiples.

1.4.6 Válvula de relevo de expansión térmica.

Una válvula de alivio "de expansión térmica" se utiliza cuando se necesita descargar una pequeña cantidad de líquido. Este caso se presenta cuando una sección de tubería llena de líquido se encuentra expuesta al calentamiento debido al medio ambiente (al sol), la temperatura se incrementa y el líquido se expande, creando un aumento sustancial en la presión interna. Una válvula de alivio de expansión térmica es generalmente pequeña (de conexiones roscadas) y por lo general su descarga nominal es suficiente para aliviar el incremento de presión.^[47]

1.4.7 Dispositivos de relevo de presión de no re-cierre.

Dispositivos de relevo de presión que permanecen abiertos después de su operación. Están diseñados para estallar y dejar pasar el flujo a relevar ante la fuerza de presión ocasionada por el fluido durante una contingencia. El disco de ruptura de este dispositivo debe ser remplazado una vez que ha cumplido su función.^[37]

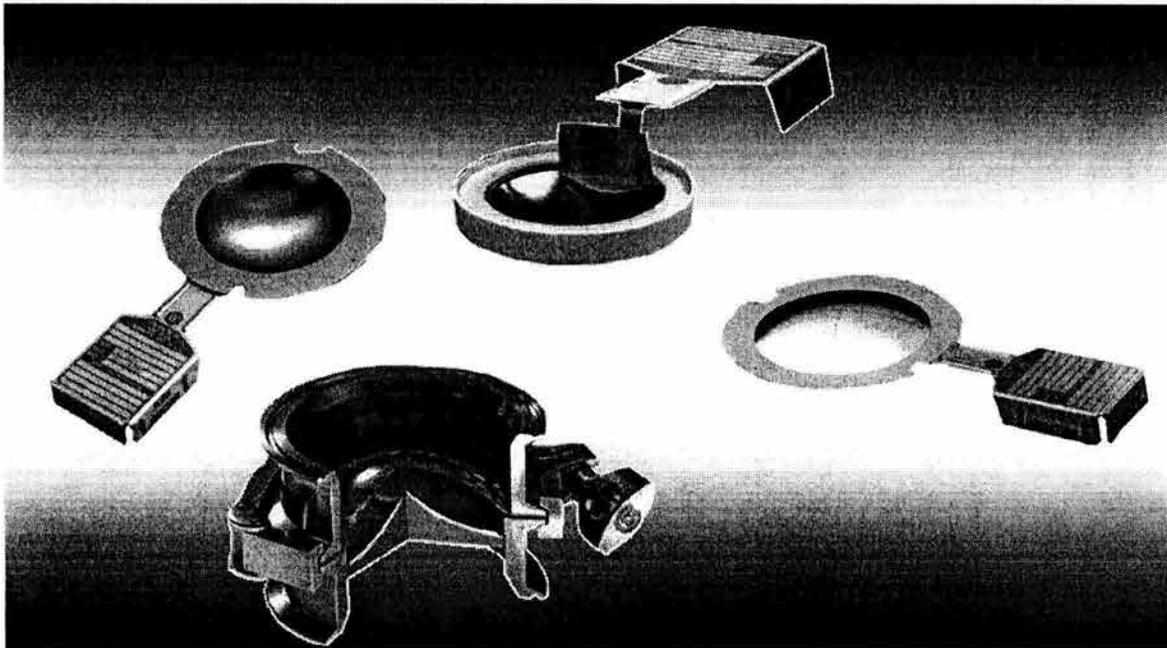
1.4.8 Dispositivo de disco de ruptura.

Es un dispositivo de relevo de presión de no re-cierre accionado por una diferencial de presión estática entre la entrada y salida del dispositivo y diseñada para funcionar mediante el estallido del disco de ruptura al ceder ante el empuje que ocasiona la sobrepresión. El disco de ruptura debe ser substituido una vez que ha realizado su función.



Este dispositivo esta conformado por un sujetador o soporte y un disco metálico destinado a romperse o fracturarse a la presión de relevo. Los discos se pueden utilizar para proteger recipientes con presiones de diseño muy altas que exceden mucho las capacidades de las válvulas de relevo. La desventaja es que no pueden volver a asentar. La ruptura hace que se pierda la presión del sistema protegido y hay que parar la unidad de proceso para remplazar el disco. Por tanto, no resultan seguros para fluidos tóxicos y se debe pensar en utilizar válvulas en serie después de un disco de ruptura.

Figura 1.5 Discos de ruptura convencionales.



El principal uso de un disco de ruptura esta en la prevención de daños por explosiones internas en los equipos, ya que su respuesta al aumento de presión es inmediata. Además puede funcionar en presiones de relevo muy altas y en gastos que sobrepasen la posibilidad de una válvula de seguridad.

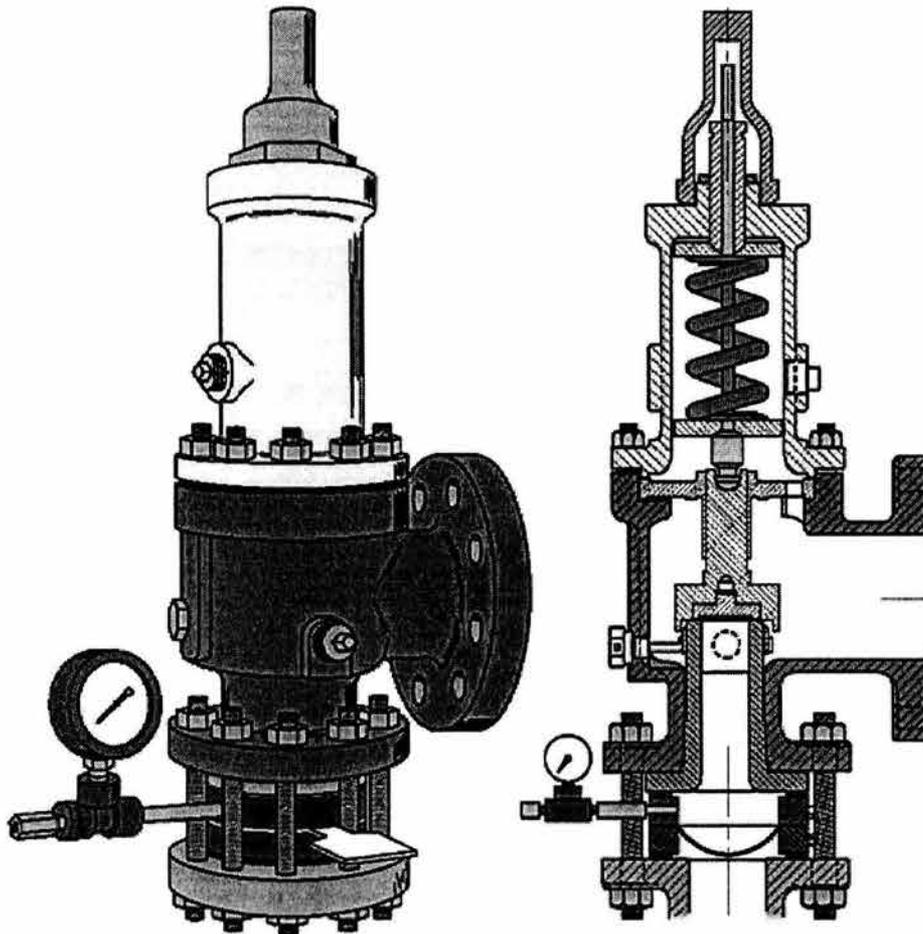
Los discos de ruptura se pueden utilizar como protección contra la corrosión cuando se instalan entre el recipiente y la válvula de relevo de presión. Cuando esto ocurre se requiere instalar un manómetro y un indicador de ruptura. La conexión debe ser tan grande como la zona de desahogo del disco de la válvula. Los discos tienen una presión real de



reventamiento de $\pm 5\%$ de la presión de relevo. Después de la ruptura deben de estar diseñadas de tal forma que a válvula funcione sin interferencia.^[3]

La vida útil de un disco de ruptura es difícil de predecir, ya que la corrosión, los cambios de presión y de temperatura así como otras condiciones de proceso pueden afectar su duración y causar falla prematura. Es más recomendable elaborar un programa de cambios cuando se ha logrado conocer el factor de vida útil, ya que un paro programado es definitivamente menos caro que un paro de emergencia. Por otro lado, el disco de ruptura es muy barato, y se le obtiene en casi todos los metales y en materiales no metálicos, o combinación de metal y no metal.

Figura 1.6 Válvula de relevo en combinación con un disco de ruptura. Se muestra la instalación del disco como medio de protección contra la corrosión.





1.5 Cabezal de desfogue.

El fluido que se evacua a través de los dispositivos se transporta a través de una red de tuberías y se recolecta de forma segura hasta un tanque que tiene la finalidad de proporcionar el tratamiento adecuado, ya sea recuperando los materiales de alto valor económico, neutralizándolos para reducir su riesgo o para enviarlos al quemador

1.6 Recipientes para disposición de fluidos relevados.

1.6.1 Tanque de sello.

El tanque de sello que se utiliza en sistemas de desfogue, es un recipiente que contiene un nivel de agua cuyo objeto es producir una presión del gas de purga suministrado al sistema, mayor que la presión atmosférica, así como extinguir una flama que haya retrocedido desde la boquilla del quemador. El sello en el tanque está determinado por la presión de descarga en la boquilla del quemador. La selección de materiales para tuberías y recipientes, deben considerar la presión y temperatura a las que están sometidos, así como las características de los fluidos a manejar.^[18]

1.6.2 Tanque separador de líquidos.

Es un recipiente cilíndrico que se instala en un sistema de desfogue con el fin de eliminar el líquido arrastrado por la corriente, para evitar su presencia en los quemadores. La selección de materiales y el cálculo de los espesores de pared para tuberías, tanques de sello y tanques de desfogue, deben considerar las condiciones más severas de presión y temperatura conforme al Código ASME B31.3, ASME Sección II, parte D y ASME Sección VIII o API RP 521.^[33]

1.7 Criterios de diseño para Sistemas de Relevo de Presión.

En el diseño de un sistema de relevo de presión (SRP) se consideran las condiciones más severas alcanzadas durante un evento de sobrepresión; de manera general se expresan los criterios más importantes para el diseño de un SRP durante la etapa de ingeniería básica.^[20]

- Presión de ajuste de acuerdo al código ASME.



- Características operacionales y capacidades de descarga de los dispositivos de relevo.
- Presión de diseño de los equipos a proteger o bien la máxima presión de trabajo para recipientes construidos.
- Longitud y capacidad para desalojar de las líneas dispuestas para funcionar como cabezal y ramales.
- Propiedades termodinámicas de los fluidos a condiciones de relevo y después de la descarga de la válvula.
- Localización de los equipos.

1.7.1 Presión de ajuste de acuerdo al código ASME.

El código ASME es una guía de seguridad para la industria. Establece y regula las prácticas seguras aplicables durante el diseño, construcción inspección y reparación de recipientes sujetos a presión especialmente a los que manejan productos del petróleo y líquidos y vapores peligrosos.

De acuerdo al código ASME, todos los recipientes sujetos a presiones excesivas durante una contingencia excepto fuego deben protegerse con un dispositivo de relevo de presión ajustado al 10% de la presión de diseño del recipiente o a la máxima presión permisible de trabajo; en caso de fuego el dispositivo se ajustara a 21%.^[48]

Se exigen que las válvulas de servicio líquidas, capacidad certificada por ASME, alcancen su capacidad total al alcanzarse el 10% de sobrepresión.^[48]

1.7.2 Características operacionales y capacidades de descarga de los dispositivos de relevo.

La contra presión generada durante un evento afecta en forma importante al tipo de válvula a emplear en el sistema de relevo. Una válvula de relevo convencional tolera únicamente una contrapresión del 10% de la presión de relevo, mientras que la válvula balanceada tolera del 30 al 50% de la presión de relevo sin ver afectada significativamente



sus características de operación. Consecuentemente se recomienda el uso de válvulas balanceadas para los sistemas de relevo de presión que involucren un sistema de tuberías para la disposición del material, las cuales permiten tolerar contrapresiones mayores y por ende caídas de presión mayores en las tuberías de descarga. Esto se ve reflejado en un cabezal de menor diámetro que el obtenido utilizando válvulas de relevo convencionales, así como una reducción en el costo de materiales.^[26]

La contrapresión alta, además de reducir la capacidad de la válvula, y de aumentar la presión de apertura inicial, también provocan un movimiento intermitente que es sumamente dañino para los internos de las válvulas, por lo que se recomienda diseñar el sistema de tuberías previendo solamente un 30% de contrapresión desarrollada a la salida de los dispositivos.^[35]

1.7.3 características e instalación de válvulas de relevo de presión.

Las válvulas balanceadas pueden ser de disco balanceado y de fuelles balanceados. Las más usadas son las de fuelles balanceados, los fuelles cubren el área del disco disminuyendo así el efecto de la contrapresión.

En la práctica, las válvulas convencionales se utilizan para descargar directamente a la atmósfera, (contrapresión constante).

Los dispositivos de falla-seguridad, equipos de arranque automático, y otros instrumentos del control convencionales no deben reemplazar a los dispositivos de relevo de presión como forma individual de protección para los equipos.

La válvula de relevo puede ser de boquilla modificada o semiboquilla y de boquilla completa. Se emplean válvulas de relevo de presión de semiboquilla de $\frac{3}{4}$ " X 1", en servicios de agua de enfriamiento para proteger por expansión térmica.^[30] La boquilla completa es común en las válvulas de acero y es la parte en contacto con el proceso; en una boquilla completa, el asiento, el orificio, y el realzado de la brida son una sola pieza. La



boquilla completa puede tener un área de descarga u orificio más pequeño que el área de entrada de la brida, lo cual resulta en mayor velocidad y mayor energía cinética para conseguir la apertura total.

Cuando se requiere evitar el congelamiento del asiento y cuando es necesario efectuar pruebas periódicas, las válvulas de seguridad se deben especificar con palanca, ya sea plana (se utiliza en sistemas abiertos) o empacada (sistemas cerrados).^[47]

La válvula de relevo operada por piloto se utiliza cuando la presión de ajuste se quiere mantener cerca de la presión de operación del equipo o línea protegida. Esta característica permite ahorros en los sistemas de alta presión, por ejemplo en grandes gasoductos. No deben usarse en fluidos muy viscosos como lodos o polímeros, que tienden a tapar el piloto. No deben usarse en servicios de alta temperatura ya que su construcción tiene limitación de 350 °F.^[29]

Las válvulas operadas por piloto están diseñadas para soportar contrapresiones tan altas como 90% cuando se suministran con la conexión de salida adecuada, lo cual las hace ideales para protección de descarga de compresores recíprocos multipasos.^[41]

Cuando la elevación de presión en el sistema es gradual y su naturaleza no es explosiva, el aditamento o dispositivo de relevo adecuado es la válvula de seguridad-relevo, pero cuando es imperativo depresionar completamente el sistema o la velocidad con que se espera la elevación de presión es grande, como el caso de una explosión, entonces es el disco de ruptura el dispositivo de protección más adecuado.

Se debe usar un disco de ruptura antes de la válvula de relevo de presión para prevenir que el material corrosivo o el aglutinante pudiera dañar la boquilla de la válvula, además de seleccionar el material adecuado que al romperse no se desintegren en pedazos, sino que solamente el disco se desgaje. Se debe comprobarse que la caída de presión provocada por el disco roto y su soporte no excedan los límites permitidos por los códigos



Las válvulas de relevo previstas por expansión térmica deberán de colocarse a la salida de los intercambiadores de calor excepto en el caso de agua de enfriamiento que deberán colocarse a la entrada.^[29]

Cuando se tenga una válvula de seguridad que pueda relevar por dos o mas causas y una de ellas difiere en 75% o mas de la capacidad de la causa de diseño, deber n considerarse dos o mas válvulas ajustando la primera a la presión de diseño y las otras 5% mas arriba, pero sin sobrepasar 16% de sobrepresión total (considerando la presión de ajuste mas la sobrepresión) para casos distintos de fuego y 21% en caso de fuego.^[37]

La válvula de relevo destinada a relevar vapores debe colocarse por arriba del espacio vapor del recipiente. Cuando la línea de salida de vapores del recipiente sea mayor que la capacidad necesaria para la válvula, deber colocarse esta en la línea y, solamente, en el caso de que esta no tenga la capacidad, se colocara sobre el recipiente.^[35]

Los instrumentos de control, como válvulas no se deben considerar como suficientes para evitar una sobrepresión, la válvula de seguridad asociada deber tener la capacidad total del sistema dependiendo de la falla de que se trate.^[37]

No se poner bloqueos en la línea de entrada de la válvula de seguridad excepto que se encuentre con una válvula extra que tenga la capacidad de relevo del sistema.^[29]

1.7.3 Longitud y capacidad para desalojar de las líneas dispuestas para funcionar como cabezal y ramales.

El tamaño de la tubería a salida de los dispositivos debe ser seleccionado para que ninguna presión existente o desarrollada en el cabezal y ramales reduzca la capacidad de descarga de los dispositivos de relevo.^[12]

Durante un evento de fuego u otra contingencia que ocasione que un dispositivo de relevo se accione, la masa desalojada inunda el sistema de tuberías; si la tubería es muy



corta o el diámetro de la tubería es pequeño la presión a la salida del dispositivo no disminuirá rápidamente y ocasionara una contrapresión desarrollada muy grande que afectara a la presión de ajuste de otras válvulas conectadas al mismo ramal.^[8]

Para evitar lo anterior se utiliza una tubería con un diámetro igual a la salida del dispositivo de relevo seguido de una expansión súbita que lleve al ramal por lo menos al siguiente diámetro comercial.

La máxima contrapresión esperada en un cabezal no debe exceder el 50% de la presión de ajuste para el dispositivo de menor presión de diseño.^[37]

1.7.4 Propiedades termodinámicas de los fluidos a condiciones de relevo y a la descarga de la válvula.

La temperatura del fluido a lo largo del cabezal va disminuyendo debido a la perdida de calor durante las expansiones, sin embargo durante el diseño del cabezal se recomienda utilizar la temperatura a la salida del dispositivo de relevo como constante en los modelos de caída de presión para sistemas de relevo (modelo de Conison), esto proveerá de un factor de seguridad en el diseño.^[10]

1.7.5 Localización de los equipos.

Todos los equipos y recipientes que se encuentren cerca de equipos mecánicos capaces de producir chispa y que manejen hidrocarburos deberán de contar con una válvula de relevo de presión diseñada para el relevo del material debido a fuego externo. Para este caso es necesario considerar que la máxima altura esperada por las llamas será de 25 ft y solamente los líquidos expuestos a esta altura se verán afectados. Si los equipos se encuentran instalados por arriba de 25 ft o en estructuras en las que no se pueda sostener una llama (distintos niveles de tipo rejilla), no serán incluidas en las evaluaciones.^[41]

Todos los equipos que tengan inventarios de líquidos que se encuentra expuesto a fuego dentro de un área de 2500 ft² se consideraran bajo una misma falla y deberán de



contar con los dispositivos necesarios. En el caso de equipos cuyo gran volumen o con inventarios de naturaleza volátil o flamable, como es el caso de las desaladoras de crudo, deberán ser considerados bajo un área de 5000 ft², así si existe algún otro recipiente o equipo de proceso dentro de esta área se contemplara bajo la misma falla de fuego externo. Durante la etapa de diseño se recomienda, si existe terreno suficiente, seguir con la guía de espaciamiento propuesta en la norma NRF-31-PEMEX-2003.^[46]

1.8 Normatividad vigente para diseño del Sistema de Relevo de Presión.

La normatividad vigente que rige el dimensionamiento del sistema de relevo de presión esta conformado por prácticas recomendadas internacionales, normas y reglamentos locales, los cuales se muestran de forma esquemática en la figura siguiente, en donde además se describe el alcance de cada uno de ellos de acuerdo al elemento del sistema que aplica:

1.8.1 Código ASME.

En el código **ASME Sección VIII, División I**, dentro de los párrafos UG-125 a UG-136, se presentan los criterios para la instalación de dispositivos de relevo en recipientes a presiones superiores de 15 psig, así como los valores de ajuste para los dispositivos de relevo. De acuerdo con ASME, se garantiza el funcionamiento adecuado de las válvulas que cumplan con las especificaciones de capacidad, localización y ajuste plasmados en estos párrafos.

En el código **ASME B 31.8** “Gas Transmisión and Distribution Piping Systems”, se encuentra dentro del Capítulo IV “Compresor Station” los límites de presión recomendados en las estaciones de compresión, los lineamientos para la instalación de los dispositivos de seguridad, la presión de operación máxima permisible en las tuberías y la sobrepresión para el ajuste de los dispositivos (10%).

El código **ASME B 31.3** “Process Piping”, presenta los criterios de diseño para tuberías que manejan fluidos en refinerías y plantas químicas. Se presenta los materiales,



requerimientos de ensamblaje y la presión máxima para tuberías así como las pruebas e inspecciones a realizar después de la instalación. Este código aplica tanto para líneas de proceso, ramales y cabezales de desfogue, líneas de venteo, líneas de servicio auxiliar. Dentro del capítulo II se presentan los criterios de diseño para sistemas de relevo de presión. Plantea el fenómeno de expansión térmica en tuberías y los límites de temperatura para cada material.

El código ASME B16.5 “Pipe flanges and flanged fittings” cubre lo referente a especificación de bridas para tuberías y accesorios bridados en diámetros menores de 24”. Especifica las máximas presiones a las cuales se pueden someter y determina la presión máxima para los sistemas de tubería, considerando que son los elementos más débiles ante los esfuerzos por presión.

MSS SP 44 “Steel Pipelines Flanges” cubre lo referente a especificación de bridas para tuberías y accesorios bridados en diámetros superiores a 24”. API Standard 610 “Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy duty Chemical and Gas Industry Services” cubre lo relacionado a la especificación de bombas centrifugas para servicios de hidrocarburos, productos químicos y la industria del gas.

1.8.2 Código API.

En el API Recommended Practice 520 Part I, “Sizing, Selection, and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries”, se describen todos los lineamientos para el dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión de acuerdo al tipo de fluido a relevar y el tipo de falla a cubrir dentro de instalaciones que manejen hidrocarburos. Se presenta la teoría básica de sobrepresionamiento en equipos y se describen las fallas más comunes y se presentan los valores recomendados para el ajuste de los dispositivos y la sobrepresión permisible de acuerdo al tipo de falla (contingencia operacional o fuego). Al igual que el código ASME especifica que la protección se realizara a equipos sometidos a presiones superiores a 15 psig.



Figura 1.7 Normatividad vigente. Se esquematiza los códigos y normas aplicables en el diseño e instalación del sistema de relevo de presión.

Dispositivos de relevo

- ASME Sección VIII, División I
- ASME B 31.8
- API RP 520, Parte I y II
- API STD 526
- API STD 527
- API RP 576
- NRF 031 PEMEX 2003

Sistemas de venteo y depresurización

- API RP 521
- ASME B 31.3

Tanque de sello

- API RP 521
- ASME Sección VIII, División I
- NRF 031 PEMEX 2003

Quemador elevado y de sello de gas

- API RP 521
- NOM 093 SCFI 1994
- NRF 031 PEMEX 2003

Sistemas de tubería (Cabezales y ramales)

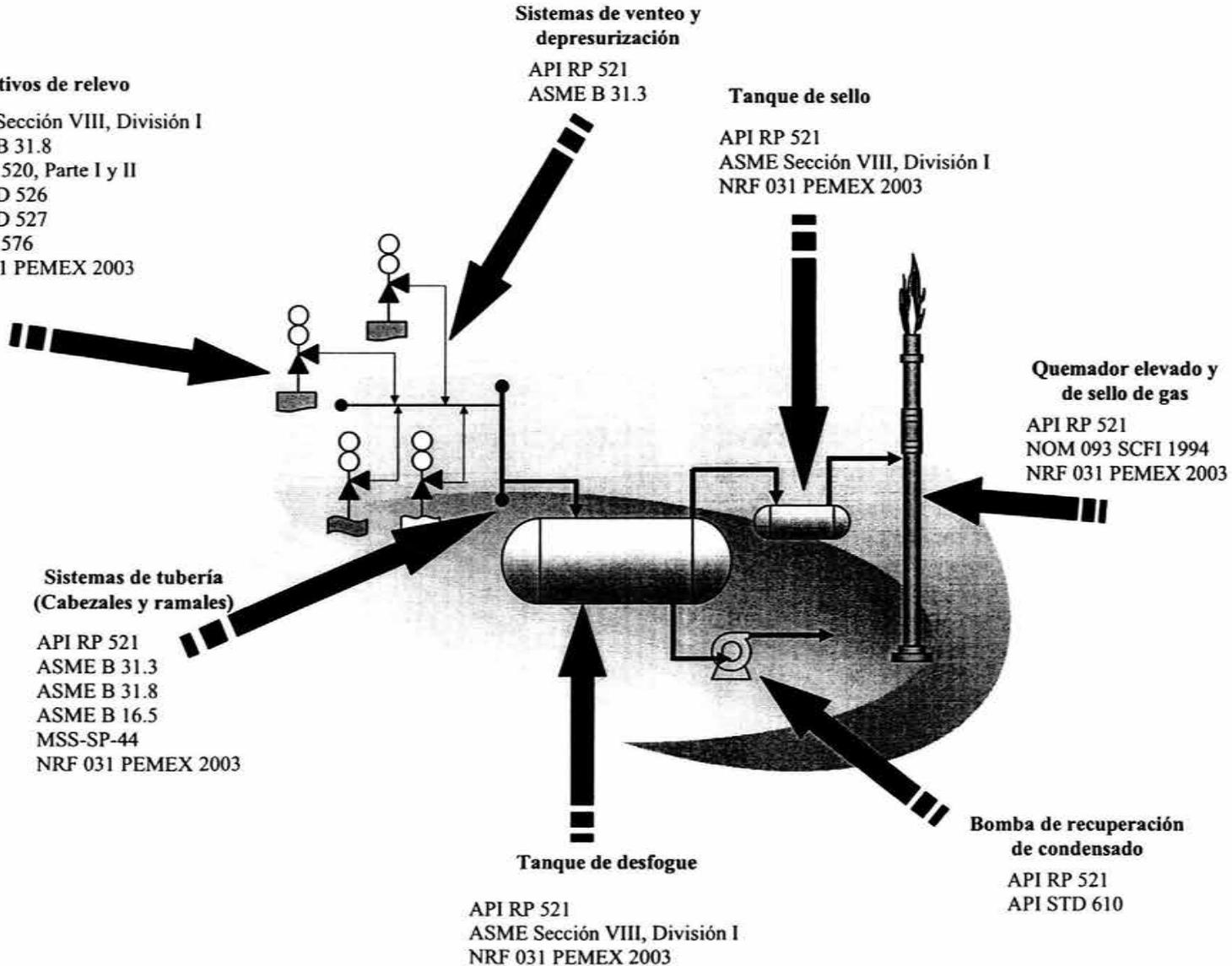
- API RP 521
- ASME B 31.3
- ASME B 31.8
- ASME B 16.5
- MSS-SP-44
- NRF 031 PEMEX 2003

Tanque de desfogue

- API RP 521
- ASME Sección VIII, División I
- NRF 031 PEMEX 2003

Bomba de recuperación de condensado

- API RP 521
- API STD 610





En el **API Recommended Practice 520 Part II** “Sizing, Selection, and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries”, se establecen criterios de instalación en campo de los dispositivos de relevo.

La selección final de las válvulas de relevo se realiza consultando el **API Standard 526** “Flanged Steel Pressure Relief Valves”, en el cual se incluyen de forma tabulada y ordenadas por orificios comerciales, las dimensiones físicas de entrada y salida de la válvula, el material y el libraje que soportan las bridas de acuerdo a la temperatura y presión de relevo. Es prudente comentar que la mayoría de los fabricantes han adoptado este tamaño de orificios en sus válvulas comerciales, sin embargo existen algunas que se apegan a los orificios establecidos por ASME, especialmente en servicios líquidos y para fluidos diferentes a hidrocarburos.

El **API Standard 527** “Seat Tightness of Pressure Relief Valves” presenta los métodos para determinar hermetismo entre el asiento blando y el metálico de las válvulas de relevo convencionales, balanceadas y operadas por piloto.

API Recommended Practice 576 “Inspection Pressure Relief Devices” es una guía de procedimientos para la inspección y control del funcionamiento de los dispositivos de relevo. Se describen planes de mantenimiento, pruebas para monitorear el control y el manejo de la documentación para estas actividades.

API Recommended Practice 521 “Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems” presenta los lineamientos para determinar la masa a relevar en contingencias de fuego y los criterios de diseño para los sistemas de relevo de presión y depresurización de gas. Proporciona los criterios para determinar la capacidad de disposición del cabezal, el diseño del tanque separador y el tanque de sello, así como la selección del quemador y de la chimenea de venteo.



1.8.3 Norma Oficial Mexicana.

En la Norma Oficial Mexicana, NOM-085-ECOL-1994, se establecen los niveles máximos permisibles para emisiones a la atmósfera de partículas por combustión en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles, sólidos, líquidos gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

Las prácticas recomendadas no tienen carácter de definitivas y no son restrictivas para el diseño. Los estándares son especificaciones o lineamientos aplicables en el diseño y fabricación de equipos con ciertas características específicas que aseguren su correcto funcionamiento cumpliendo con una calidad determinada.

Cuando no se cuenten con normas oficiales mexicanas (NOM) para regular a los sistemas de relevo, los códigos, prácticas y estándares no son mandatorios o amparan a los ingenieros de proceso ante la ley general en cuanto a emisiones, seguridad y funcionamiento.

1.8.4 PEMEX.

La norma NRF-031-PEMEX-2003 va dirigida a los contratistas de PEMEX y se basa directamente en el código ASME y el Código API RP 521, 520 y 526. Cubre lo relacionado al diseño del sistema de relevo de presión, tanques de desfogue, válvulas de relevo de presión. Se establecen los criterios a seguir para el diseño de las instalaciones con factores de seguridad mayores a los previstos en los códigos americanos; esto debido a que se considera que los equipos mexicanos sufren un mayor deterioro por el tipo de carga y que los sistemas y personal previsto para responder a una emergencia tardan más en controlar los incendios.

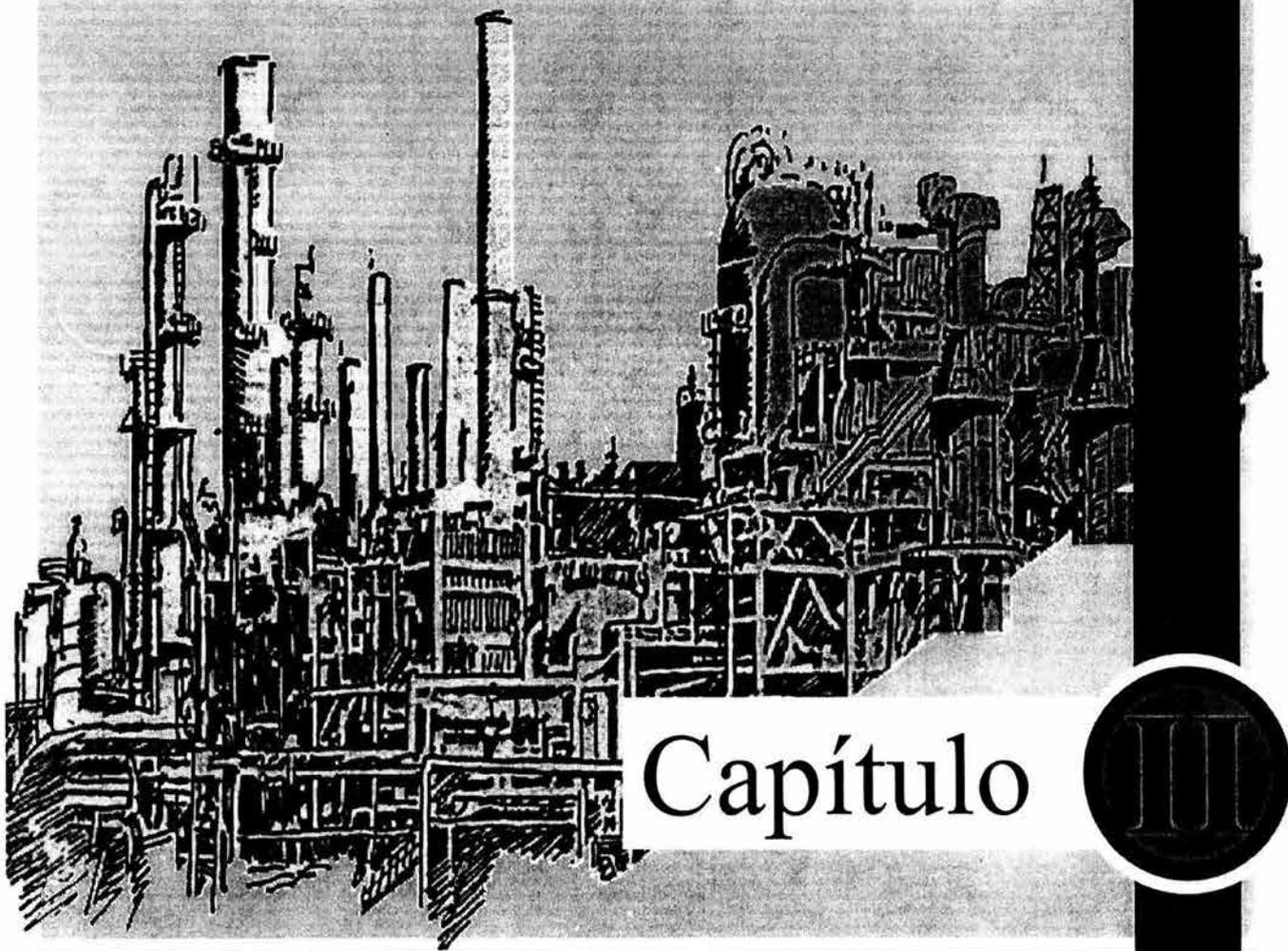
1.8.5 SCFI.

Establece los lineamientos para la verificación en campo de los dispositivos de relevo de presión, la cual se debe realizar en la placa de datos de la válvula, la placa del recipiente y con la hoja de especificaciones de la válvula. Establece que todo recipiente a presión independientemente del tamaño o presión, deben estar provistos con dispositivos de protección contra una sobrepresión indeseada. Establece los requerimientos de sellado y



materiales para los fabricantes de las válvulas, así como las pruebas en laboratorio para verificar que se cumpla con la norma. Además establece las áreas nominales de orificios para válvulas bridadas de acero (designan por medio de letras y similares a las marcadas por el ASME):

Modelado matemático para la
determinación de flujos a relevar
en eventos de fuego.



Capítulo

III



Modelado matemático para la determinación de flujos a relevar en eventos de fuego externo.

2.1 Sobrepresión permisible.

Cuando la sobrepresión en un equipo o recipiente alcanza el valor de ajuste de la válvula, esta comienza a abrir hasta que el sistema regresa a su presión de operación normal, desalojando una cierta cantidad de masa. El dispositivo de relevo debe ser diseñado para dejar pasar la cantidad de masa necesaria para el desfogue, y que no sea mayor de lo realmente requerido pues se elevaría su costo en forma innecesaria.

Para efectuar el dimensionamiento de las válvulas de relevo de presión se requiere conocer el proceso, el tipo de control, determinar las causas que originan sobrepresión en los equipos y el tipo de falla, determinar la máxima masa a aliviar, las condiciones de temperatura y presión de relevo, la máxima contrapresión esperada a la salida del dispositivo, el tipo de válvula y establecer los criterios de diseño para la selección de la presión de ajuste y la acumulación permisible de acuerdo a API 520.^[13]

La sobrepresión permisible es establecida por la acumulación y puede variar para diferentes aplicaciones dependiendo de la relación de la presión de ajuste a la máxima presión de trabajo permitida del recipiente o del sistema que se protege. La sobrepresión permisible es igual a la acumulación permisible solamente cuando la presión de ajuste es igual a la máxima presión de trabajo permitida (MAWP por sus siglas en inglés).

La presión de relevo es la presión de entrada del dispositivo de relevo de presión en condiciones de alivio. La presión de relevo es el total de la suma de la presión de ajuste (presión a la cual se calibra una válvula para comenzar a abrir) y la sobrepresión. La presión de relevo para las válvulas de relevo de presión en servicio líquido se determina de una manera similar a la usada para el servicio vapor. La tabla 2.1 muestra un resumen de la máxima acumulación y la presión de ajuste para las válvulas de relevo de presión especificadas de acuerdo con el código de ASME.^[41]



Pueden existir diferentes eventos que ocasionen sobrepresión en el mismo equipo, sin embargo se debe considerar que cada una de ellas ocurrirá de forma independiente y que el orificio de la válvula necesaria para relevar presión será diferente. Dentro del código API 521^[41] no se considera la simultaneidad de fallas para el dimensionamiento, por lo que cuando existan varias causas posibles, el dispositivo de relevo se diseñara para que sea capaz de manejar la mayor masa posible de generarse, y así asegurar que cubra de forma adecuada los requerimientos de las otras causas.

Tabla 2.1 Presiones de ajuste y límites de acumulación permitidos para válvulas de relevo de presión.

contingencia	Instalación de una sola válvula		Instalación de válvulas múltiples	
	Máxima presión de ajuste (%)	Máxima presión acumulada (%)	Máxima presión de ajuste (%)	Máxima presión acumulada (%)
Fallas operacionales				
Primera válvula	100	100	100	116
Válvula adicional	---	---	105	116
Casos de fuego				
Primera válvula	100	121	100	121
Válvula adicional	---	---	105	121
Válvula suplementaria	---	---	110	121

Nota: Todos los valores son porcentajes de la máxima presión de trabajo permisible

2.2 Contingencias de operación.

De acuerdo con los requerimientos del código de ASME, sección VIII, división 1, la presión acumulada será limitada a 110% de la máxima presión de trabajo permisible, MAWP, en los recipientes que son protegidos por un solo dispositivo de relevo de presión dimensionado para contingencias de operación excepto por fuego. Esta presión de ajuste del dispositivo no excederá el MAWP. De acuerdo con el código de ASME^[48], la acumulación permisible será de 3 psi cuando la MAWP se encuentra entre 15 y 30 psig.

Una instalación de dispositivos múltiples requiere la combinación de la capacidad de dos o más dispositivos de relevo de presión para aliviar la presión en una contingencia dada. De acuerdo con los requerimientos del código ASME, sección VIII, división 1, la presión acumulada estará limitada a 116% de la máxima presión de operación permisible, en recipientes protegidos para operar durante una contingencia excepto fuego. La presión



de ajuste del primer dispositivo no debe exceder la MAWP. La presión de ajuste del dispositivo o dispositivos adicionales no excederá el 105% de la MAWP. La acumulación permisible será de 4 psi cuando la MAWP se encuentra entre 15 y 30 psig.^[48]

2.3 Contingencia de fuego.

De acuerdo con los requerimientos del Código ASME, sección VIII, división 1, la presión acumulada estará limitada a 121% de la MAWP, en recipientes que sean protegidos por dispositivos de relevo de presión por contingencias de fuego. Esto aplica para la instalación de dispositivos simples, múltiples e instalaciones suplementarias. Donde un recipiente es protegido por un solo dispositivo dimensionado para fuego, la presión de ajuste no excederá la máxima presión de trabajo permisible (MAWP). La tabla 2.2 muestra un ejemplo para determinar la presión de relevo para un solo dispositivo cuya presión de ajuste es menor o iguala que la MAWP del recipiente.^[41]

Tabla 2.2 Presión de relevo para la instalación de una sola válvula (operando en una contingencia de fuego).

Características	Presión de ajuste menor a la MAWP	Presión de ajuste igual a la MAWP
MAWP del recipiente protegido, psig	100.0	100.0
Máxima presión acumulada, psig	121.0	121.0
Presión de ajuste de la válvula, psig	90.0	100.0
Sobrepresión permisible, psi	31.0	21.0
Presión de relevo, p_1 , psia	135.7	135.7

Para la instalación múltiple de dispositivos, la presión de ajuste del primer dispositivo no excederá la MAWP; la presión de ajuste de los siguientes dispositivos no excederá el 105% de la MAWP. La tabla 2.3 muestra un ejemplo para determinar la presión de relevo para una instalación múltiple de dispositivos en la cual la presión de ajuste del primer dispositivo será igual a la MAWP del recipiente y la presión de ajuste de los dispositivos adicionales será de 105% de la MAWP.

Una instalación de dispositivos suplementarios proporciona una capacidad de relevo adicional por el riesgo debido a la exposición del recipiente al fuego u otra fuente de calor externo. La presión de ajuste de un dispositivo suplementario que provea capacidad de



relevo en caso de fuego o calor externo no excederá el 110% de la MAWP.^[41]

Tabla 2.3 Presión de relevo para la instalación múltiple de válvulas (operando en contingencia de fuego).

Características	Primer válvula (Presión de ajuste igual a la MAWP)	Válvula adicional Presión de ajuste igual al 105% de la MAWP
MAWP del recipiente protegido, psig	100.0	100.0
Máxima presión acumulada, psig	121.0	121.0
Presión de ajuste de la válvula, psig	100.0	105.0
Sobrepresión permisible, psi	21.0	16.0
Presión de relevo, p_1 , psia	135.7	135.7

Los dispositivos suplementarios son usados únicamente en adición a dispositivos dimensionados para contingencias de operación (no fuego). La tabla 2.4 muestra un ejemplo para determinar la presión de relevo para una instalación de un dispositivo suplementario en la cual la presión de ajuste del primer dispositivo (no fuego) no excede el MAWP del recipiente.

Tabla 2.4 Ejemplo: Determinación de la presión de relevo para la instalación de una válvula suplementaria (operando en contingencia de fuego).

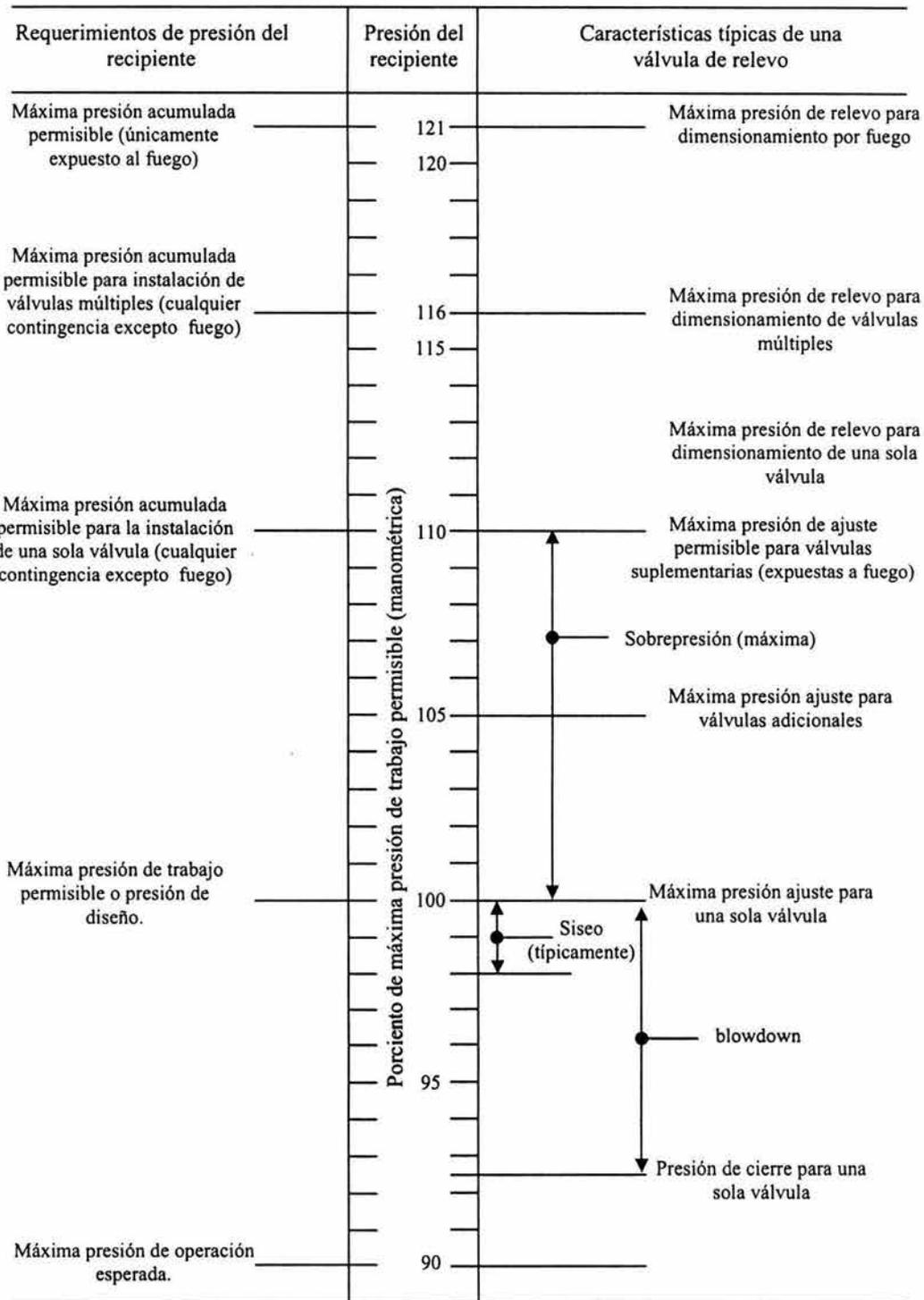
Características	Primer válvula (Presión de ajuste igual a la MAWP)	Válvula adicional Presión de ajuste igual al 110% de la MAWP
MAWP del recipiente protegido, psig	100.0	100
Máxima presión acumulada, psig	121.0	121.0
Presión de ajuste de la válvula, psig	100.0	110.0
Sobrepresión permisible, psi	21.0	11.0
Presión de relevo, p_1 , psia	135.7	135.7

Cuando se requiera conectar dos o más dispositivos de relevo de presión en una conexión, el área interna a la entrada de la conexión debe estar dimensionada para evitar restricción en el flujo hacia los dispositivos de relevo de presión o tener un área igual a la combinación de las áreas de los dispositivos de seguridad de relevo de presión que se encuentren conectados al recipiente.

Los recipientes que deban operar completamente llenos de líquido, deben estar equipados con dispositivos de relevo de presión diseñados para dar servicio con líquidos, a



Figura 2.1 Niveles de presión. Se presentan de forma esquemática los valores de sobrepresión permitida y las presiones de trabajo para recipientes extraídos del código API 521.^[41]





menos que la protección contra la sobrepresión sea otra. Los dispositivos de relevo de presión para servicio de líquido, deben estar conectados por debajo del nivel normal de líquido del recipiente.

2.4 Dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión.

2.4.1 Dimensionamiento para alivio de gas o vapor.

Las ecuaciones para el dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión en el servicio vapor o gas se dividen en dos categorías generales dependiendo si el flujo es crítico o subcrítico.

2.4.1.1 Comportamiento de flujo crítico.

Cuando el gas se expande a través de la boquilla de la válvula su velocidad y volumen específico aumenta con el decremento de presión. El flujo que pasa a través de la boquilla incrementa su velocidad hasta un límite que corresponde a la velocidad del sonido del fluido. El flujo total que corresponde a la velocidad límite es conocido como flujo crítico. Bajo condiciones de flujo crítico, la presión actual en la salida de la boquilla del dispositivo de relevo de presión no puede caer por debajo de la presión de flujo crítico aun cuando exista una presión muy alta corriente abajo.

La relación de presión a la salida de la boquilla a velocidad sónica o presión sónica (P_{CF}) sobre la presión de entrada (P_1) es llamada relación de presión crítica.

$$\frac{P_{CF}}{P_1} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (2.1)$$

Donde:

- P_{CF} : Presión sónica, [=] psia
- P_1 : Presión de relevo corriente arriba, [=] psia
- k : Relación de calores específicos para gas ideal

Si la presión corriente abajo de la boquilla es menor o iguala a la presión de flujo crítico, P_{CF} , se dice entonces que el flujo es crítico y deben aplicarse los procedimientos descritos para dicho flujo. Si la presión corriente abajo excede la presión de flujo crítico,



entonces se presentara un comportamiento subcrítico, y deben aplicarse los procedimientos descritos para flujo subcrítico. En la tabla 2.5 se presentan los valores típicos para relaciones de flujo crítico. Estos valores son aceptables para la mayoría de aplicaciones en la refinería, para mezclas de gases se recomienda el uso de un simulador de procesos para determinar de forma adecuada las propiedades.

Tabla 2.5 Propiedades de los gases. Se presentan distintos valores de propiedades termodinámicas y relaciones de presión para gases cuyo comportamiento obedece a la ley del gas ideal.^[37]

Tabla 2.5 Propiedades de Gases

Gas	Peso Molecular	Relación de Calores específicos (k=Cp/Cv) a 60°F y 1atm.	Relación de Presión a Flujo Crítico a 60°F y 1 atm.	Gravedad Específica a 60°F y 1 atm.	Constantes Críticas		Temperatura de Condensación a 1 atm. (°F)	Limite de flamabilidad (% de V. en la mezcla de Aire)
					Presión (psia)	Temp. (psia)		
Metano	16.04	1.31	0.54	0.554	673	-116	-259	5.0 - 15.0
Etano	30.07	1.19	0.57	1.058	718	90	-128	2.9 - 13.8
Etileno	28.03	1.24	0.57	0.969	742	50	-155	2.7 - 34.8
Propano	44.09	1.13	0.58	1.522	617	206	-44	2.1 - 9.5
Propileno	47.08	1.15	0.58	1.453	667	197	-54	2.8 - 10.8
Isobutano	58.12	1.18	0.59	2.007	529	273	11	1.8 - 8.4
n-Butano	58.12	1.19	0.59	2.007	551	304	31	1.9 - 8.4
1-Buteno	56.10	1.11	0.59	1.937	543	276	21	1.4 - 9.3
Isopentano	72.15	1.08	0.59	2.491	483	369	82	1.4 - 8.3
n-Pentano	72.15	1.08	0.59	2.491	490	386	97	1.4 - 7.8
1-Penteno	70.13	1.08	0.59	2.421	586	377	86	1.4 - 8.7
n-Hexano	86.18	1.06	0.59	2.973	437	454	156	1.2 - 7.7
Benceno	78.11	1.12	0.58	2.697	714	552	176	1.3 - 7.9
n-Heptano	100.2	1.05	0.60	3.459	397	513	209	1.0 - 7.0
Tolueno	92.13	1.09	0.59	3.181	590	604	231	1.2 - 7.1
n-Octano	114.22	1.05	0.60	3.944	362	564	258	0.96 -
n-Nonano	128.23	1.04	0.60	4.428	552	610	303	0.87 - 2.9
n-Decano	142.28	1.03	0.60	4.912	304	632	345	0.78 - 2.6
Aire	29.96	1.40	0.53	1.000	547	-221	-313	-
Amonio	17.03	1.30	0.53	0.588	1636	270	-28	15.5 - 27.0
Dióxido de Carbono	44.01	1.29	0.55	1.519	1071	88	-109	-
Hidrógeno	2.02	1.41	0.52	0.0696	188	-400	-423	4.0 - 74.2
Ácido Sulfhídrico	34.08	1.32	0.53	1.176	1306	213	-77	4.3 - 45.5
Dióxido de Azufre	64.04	1.27	0.55	2.212	1143	316	14	-
Vapor de Agua	18.01	1.33	0.54	0.622	3206	706	212	-



2.4.1.2 Dimensionamiento para flujo crítico.

Los dispositivos de relevo de presión de servicio gas o vapor que operan a condiciones de flujo crítico se dimensionan con las ecuaciones 2.2 a 2.4. Las ecuaciones se emplean para determinar el Área requerida de descarga del dispositivo (A), la cual garantiza el flujo necesario a desalojar a través del dispositivo para disminuir la presión. Una vez calculada el área requerida se selecciona del API Standard 526^[39] aquella cuyo valor de área sea igual o mayor que el valor calculado.

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \quad (2.2)$$

$$A = \frac{V \sqrt{TZM}}{6.32CK_d P_1 K_b K_c} \quad (2.2)$$

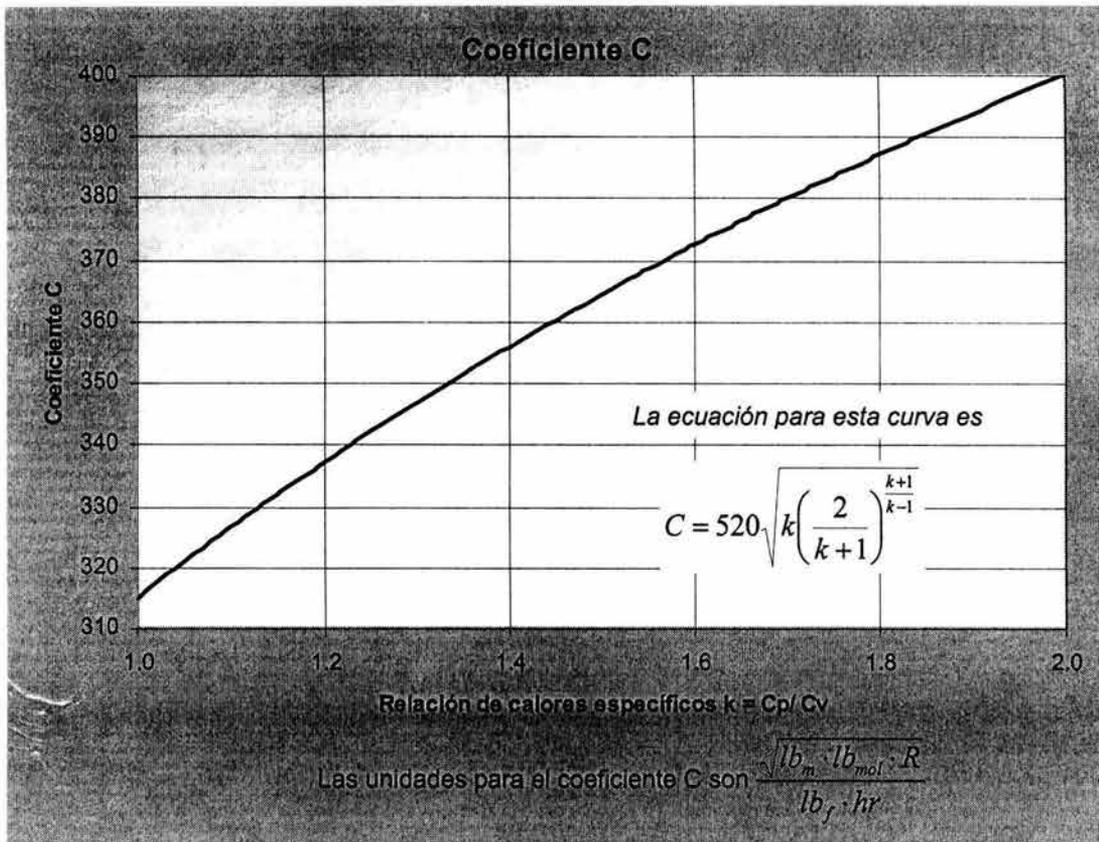
$$A = \frac{V \sqrt{TZG}}{1.175CK_d P_1 K_b K_c} \quad (2.4)$$

Donde:

- A : Área requerida de descarga del dispositivo, en in².
- W : Flujo requerido a través del dispositivo, en/h.
- C : Coeficiente determinado de una expresión de la relación de calores específicos ($k = CP/CV$) del gas o vapor a condiciones de relevo, en $(\text{lbm lbmol R})^{1/2}/(\text{lb f h})$. Este puede obtenerse de la Figura 2.2 o de la Tabla 2.6. Cuando no es posible determinar el valor de k se sugiere emplear el valor de 315.
- K_d : Coeficiente de descarga efectiva. Para dimensionamiento preliminar se usan los siguientes valores:
- = 0.975 Cuando la válvula de relevo de presión es instalada con o sin combinación de disco de ruptura.
 - = 0.620 Cuando la válvula de relevo de presión no es instalada y el dimensionamiento es para un disco de ruptura.
- P_1 : Presión de relevo corriente arriba. Esta es la presión de ajuste más la sobrepresión permisible mas la presión atmosférica, en psia.
- K_b : Factor de corrección de capacidad debido a la contra presión. Este puede obtenerse de la literatura del fabricante o puede estimarse para dimensionamientos preliminares mediante la Figura 2.3. El factor de corrección debido a la contra presión aplica para válvulas balanceadas por fuelles únicamente. Para válvulas convencionales y operadas por piloto se utiliza el valor de 1.0.
- K_c : Factor de corrección por combinación de un disco de ruptura instalado corriente arriba de la válvula de relevo de presión, se obtiene de la literatura del fabricante o se emplean los siguientes valores:
- = 1.0 cuando un disco de ruptura no esta instalado.
 - = 0.9 cuando un disco de ruptura es instalado en combinación con una válvula de relevo y cuando la combinación no tiene un valor reportado.
- T : Temperatura de relevo de entrada del gas o vapor, en R.
- Z : Factor de compresibilidad, evaluado a condiciones de relevo.
- M : Peso molecular del gas o vapor a condiciones de relevo. La tabla 2.5 muestra valores para algunos fluidos comunes, en lbm/lbmol.
- V : Flujo requerido a través del dispositivo a 14.7 psia y 60°F, en ft/min
- G : Gravedad específica del gas a condiciones estándar, referida al aire a 14.7 psia y 60°F



Figura 2.2 Coeficiente C. Determinado de una expresión de la relación de calores específicos ($k = CP/CV$).^[37]



2.4.1.3 Dimensionamiento para flujo subcrítico.

Se lleva a cabo mediante las ecuaciones:

$$A = \frac{W}{735 F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZT}{M P_1 (P_1 - P_2)}} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{V}{4645 F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZTM}{P_1 (P_1 - P_2)}} \quad (2.6)$$

$$A = \frac{V}{864 F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZTG}{P_1 (P_1 - P_2)}} \quad (2.7)$$

Donde:

A : Área requerida de descarga del dispositivo, en in².

W : Flujo requerido a través del dispositivo, en/h.

F₂ : Coeficiente de flujo subcrítico, se obtiene de la figura 2.4 o mediante la siguiente ecuación:



$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{k}{k-1}\right) \left(r\right)^{\frac{2}{k}} \left[\frac{1-r^{(k-1)/k}}{1-r}\right]} \quad (2.8)$$

donde $k = (C_p/C_v)$ relación de calores específicos.

- K_d : Coeficiente de descarga efectiva.
- K_c : Factor de corrección por combinación de un disco de ruptura instalado corriente arriba de la válvula.
- T : Temperatura de relevo de entrada del gas o vapor, en R
- Z : Factor de compresibilidad, evaluado a condiciones de relevo
- M : Peso molecular del gas o vapor a condiciones de relevo, en lb_m/lb_{mol} .
- V : Flujo requerido a través del dispositivo a 14.7 psia y 60°F, en ft/min
- G : Gravedad específica del gas a condiciones estándar, referida al aire a 14.7 psia y 60°F
- P_1 : Presión de relevo corriente arriba, en psia.
- P_2 : Contrapresión, en psia

Figura 2.3 Factor de corrección de capacidad debido a la contra presión. [37]

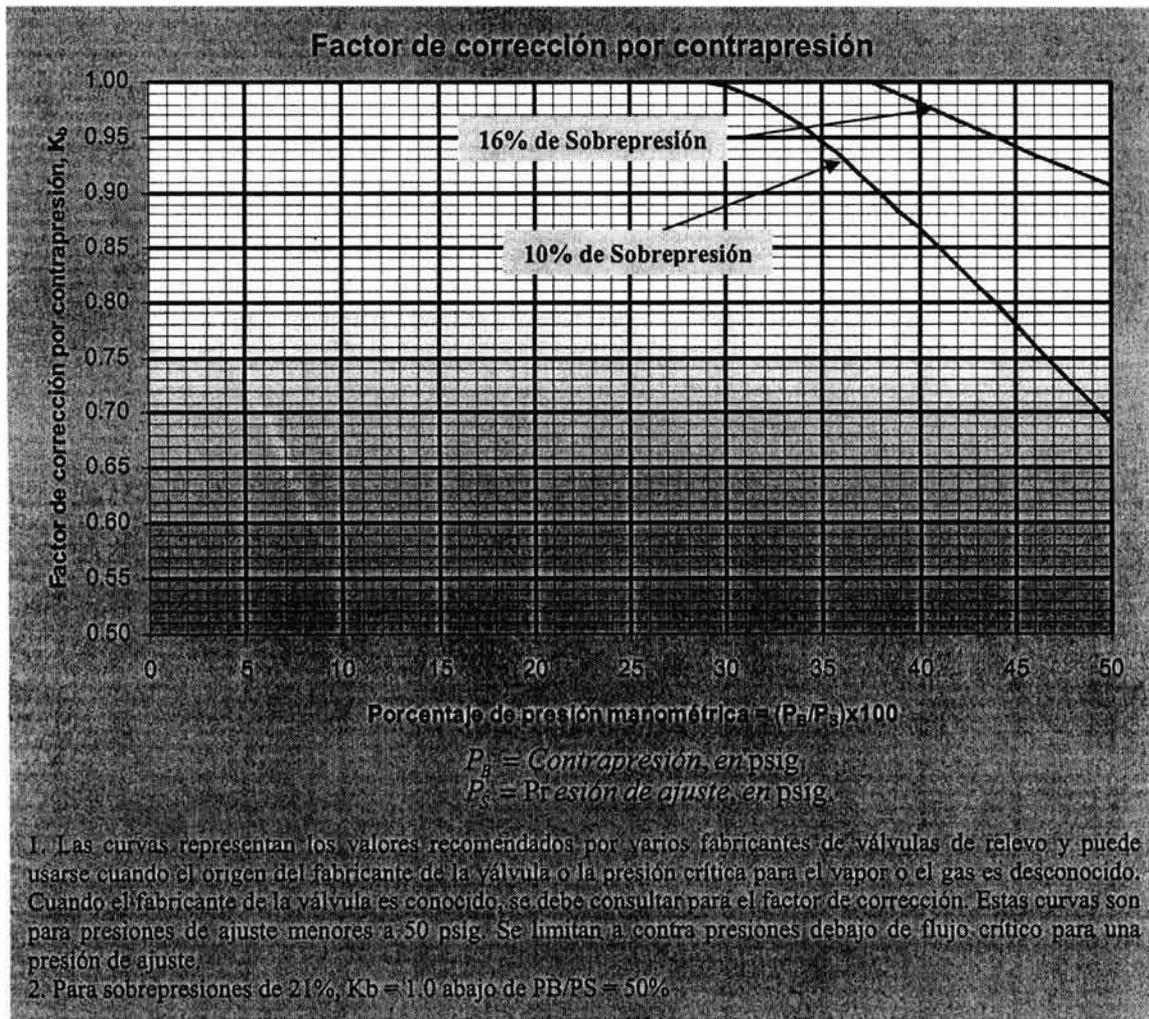




Tabla 2.6. Coeficiente determinado de una expresión de la relación de calores específicos ($k = CP/Cv$) para gases o vapores a condiciones de relevo.^[37]

Tabla 2.6
Valores del Coeficiente C

K	C	K	C	K	C	K	C
1.00 *	315.00	1.26	343.16	1.52	366.20	1.78	385.79
1.01	316.57	1.27	344.13	1.53	367.01	1.79	386.49
1.02	317.74	1.28	345.08	1.54	367.82	1.80	387.18
1.03	318.90	1.29	346.03	1.55	368.62	1.81	387.87
1.04	320.05	1.30	346.98	1.56	369.41	1.82	388.56
1.05	321.19	1.31	347.91	1.57	370.21	1.83	389.24
1.06	322.32	1.32	348.84	1.58	370.99	1.84	389.92
1.07	323.44	1.33	349.77	1.59	371.77	1.85	390.59
1.08	324.55	1.34	350.68	1.60	372.55	1.86	391.26
1.09	325.65	1.35	351.60	1.61	373.32	1.87	391.93
1.10	326.75	1.36	352.50	1.62	374.09	1.88	392.59
1.11	327.83	1.37	353.40	1.63	374.85	1.89	393.25
1.12	328.91	1.38	354.29	1.64	375.61	1.90	393.91
1.13	329.98	1.39	355.18	1.65	376.37	1.91	394.56
1.14	331.04	1.40	356.06	1.66	377.12	1.92	395.21
1.15	332.09	1.41	356.94	1.67	377.86	1.93	395.86
1.16	333.14	1.42	357.81	1.68	378.61	1.94	396.50
1.17	334.17	1.43	358.67	1.69	379.34	1.95	397.14
1.18	335.20	1.44	359.53	1.70	380.08	1.96	397.78
1.19	336.22	1.45	360.38	1.71	380.80	1.97	398.41
1.20	337.24	1.46	361.23	1.72	381.53	1.98	399.05
1.21	338.24	1.47	362.07	1.73	382.25	1.99	399.67
1.22	339.24	1.48	362.91	1.74	382.97	2.00	400.30
1.23	340.23	1.49	363.74	1.75	383.68	-	-
1.24	341.22	1.50	364.56	1.76	384.39	-	-
1.25	342.19	1.51	365.39	1.77	385.09	-	-

* El límite de C, cuando k se aproxima a 1.0, es 315.

2.4.1.3 Dimensionamiento para vapor de agua.

$$A = \frac{W}{51.5 P_1 K_d K_b K_c K_N K_{SH}} \tag{2.9}$$

Donde:

- A : Área requerida de descarga del dispositivo, en in².
- W : Flujo requerido a través del dispositivo, en/h.
- K_d : Coeficiente de descarga efectiva.
- K_c : Factor de corrección por combinación con un disco de ruptura instalado corriente arriba de la válvula.
- K_b : Factor de corrección de capacidad debido a la contra presión. Este puede obtenerse de la literatura del fabricante o puede estimarse para dimensionamientos preliminares mediante la Figura 2.3.
- K_N : Factor de corrección para la ecuación de Napier:



=1 Cuando $P_1 \leq 1500$ psia
 Cuando $P_1 > 1500$ psia y ≤ 3200 psia

$$K_N = \frac{0.1906P_1 - 1000}{0.2292P_1 - 1061} \quad (2.10)$$

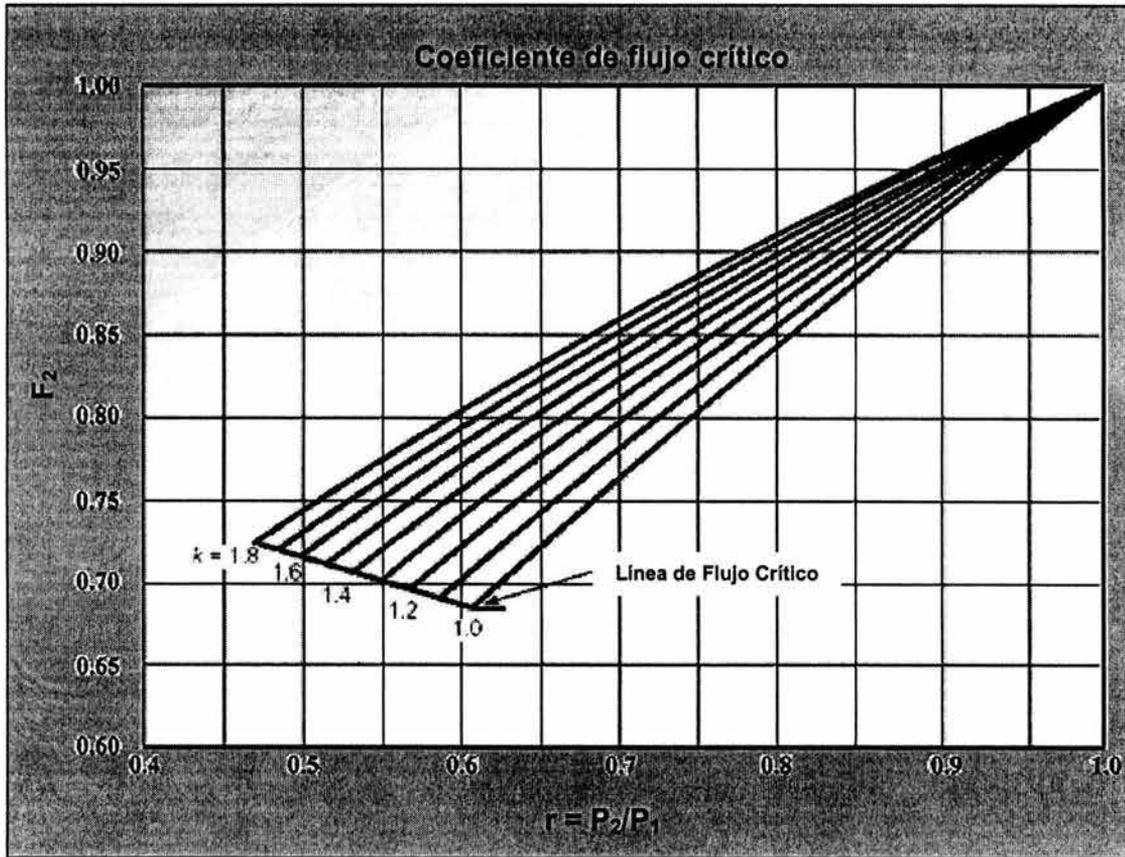
K_{SH} Factor de corrección de vapor sobrecalentado. Se obtiene de la tabla 2.7. Para vapor saturado a cualquier presión $K_{SH} = 1$

Tabla 2.7. Factor de corrección de vapor sobrecalentado.^[37]

Factor de corrección de vapor sobrecalentado (K_{SH})										
Presión de ajuste (psig)	Temperatura (°F)									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
15	1.00	0.98	0.93	0.88	0.84	0.8	0.77	0.74	0.72	0.70
20	1.00	0.98	0.93	0.88	0.84	0.8	0.77	0.74	0.72	0.70
40	1.00	0.99	0.93	0.88	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.70
60	1.00	0.99	0.93	0.88	0.84	0.81	0.77	0.75	0.72	0.70
80	1.00	0.99	0.93	0.88	0.84	0.81	0.77	0.75	0.72	0.70
100	1.00	0.99	0.94	0.89	0.84	0.81	0.77	0.75	0.72	0.70
120	1.00	0.99	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
140	1.00	0.99	0.94	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
160	1.00	0.99	0.94	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
180	1.00	0.99	0.94	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
200	1.00	0.99	0.95	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
220	1.00	0.99	0.95	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
240	-	1.00	0.95	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
260	-	1.00	0.95	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
280	-	1.00	0.96	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
300	-	1.00	0.96	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
350	-	1.00	0.96	0.90	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.70
400	-	1.00	0.96	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.70
500	-	1.00	0.96	0.92	0.86	0.82	0.78	0.75	0.73	0.70
600	-	1.00	0.97	0.92	0.87	0.82	0.79	0.75	0.73	0.70
800	-	-	1.00	0.95	0.88	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70
1000	-	-	1.00	0.96	0.89	0.84	0.78	0.76	0.73	0.71
1250	-	-	1.00	0.97	0.91	0.85	0.80	0.77	0.74	0.71
1500	-	-	-	1.00	0.93	0.86	0.81	0.77	0.74	0.71
1750	-	-	-	1.00	0.94	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70
2000	-	-	-	1.00	0.95	0.86	0.80	0.76	0.72	0.69
2500	-	-	-	1.00	0.95	0.85	0.78	0.73	0.69	0.66
3000	-	-	-	-	1.00	0.82	0.74	0.69	0.65	0.62



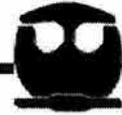
Figura 2.4 Coeficiente de flujo subcrítico.^[37]



2.4.2 Dimensionamiento para servicio líquido.

La sección VIII, división I del código ASME especifica que la capacidad de las válvulas que operan líquidas requiere certificación. Los procedimientos para obtener el certificado de capacidad incluyen pruebas para determinar el coeficiente de descarga efectivo para válvulas con un 10% de sobrepresión. Las válvulas de servicio líquido que son diseñadas de acuerdo con el código ASME y que requieren certificación de su capacidad, pueden ser dimensionadas de forma preliminar mediante las ecuaciones:

$$A = \frac{Q}{38K_d K_w K_c K_v} \sqrt{\frac{G}{p_1 - p_2}} \quad (2.11)$$



Donde:

- A : Área requerida de descarga del dispositivo, en in².
- Q : Flujo volumétrico requerido a través del dispositivo, en GPM
- Kd : Coeficiente de descarga efectiva, se obtiene de la literatura del fabricante Para dimensionamiento preliminar se usan los siguientes valores:
 - = 0.65 Cuando la válvula es instalada con o sin combinación de disco de ruptura.
 - = 0.62 Cuando la válvula no es instalada y el dimensionamiento es para un disco de ruptura.
- Kw : Factor de corrección debida a la contra presión. Si la presión es atmosférica Kw = 1.0. Se obtiene de la figura 2.5. Las válvulas convencionales y operadas por piloto no requieren corrección.
- Kc : Factor de corrección por combinación con un disco de ruptura instalado corriente arriba de la válvula.
- Kv : Factor de corrección debido a la viscosidad, determinado de la figura 2.6 o de la siguiente ecuación:

$$K_v = \left(0.9935 + \frac{2.878}{R^{0.5}} + \frac{342.75}{R^{1.5}} \right)^{-1.0} \quad (2.12)$$

Donde R es el número de Reynolds.

- G : Gravedad específica del líquido.
- p₁ : Presión de relevo en Psig
- p₂ : Contrapresión en Psig

Figura 2.5. Factor de corrección debida a la contrapresión.^[37]

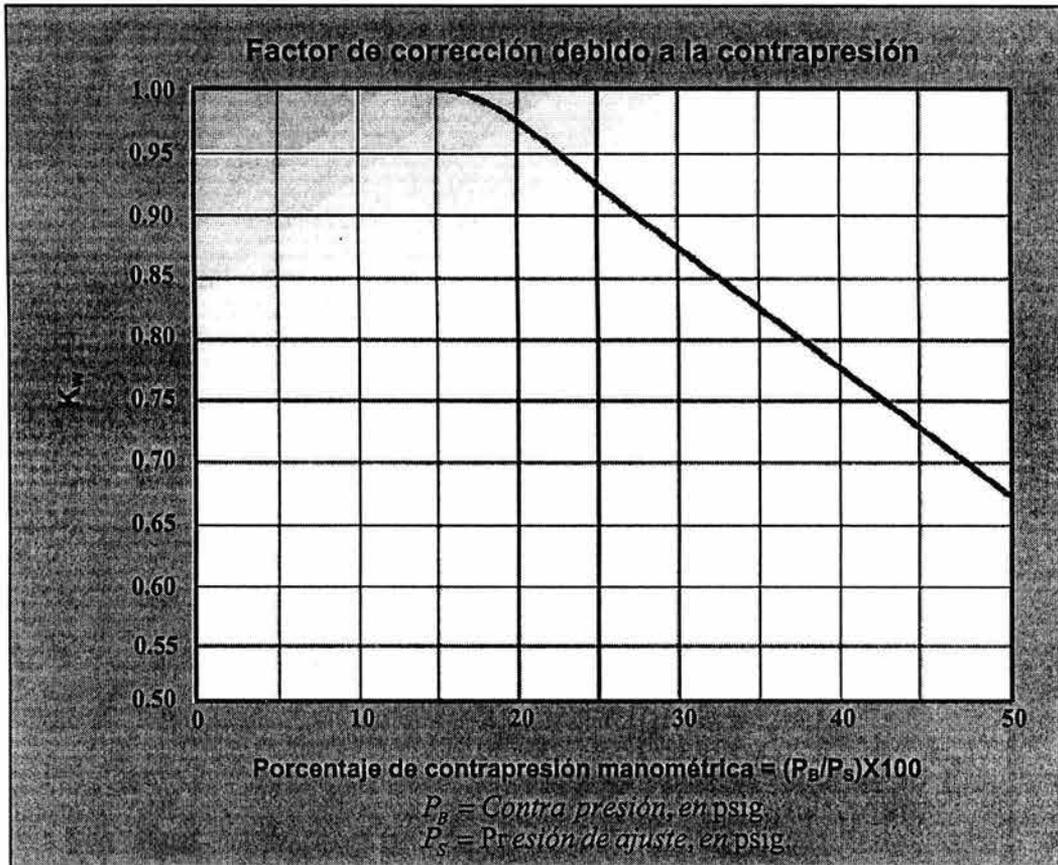
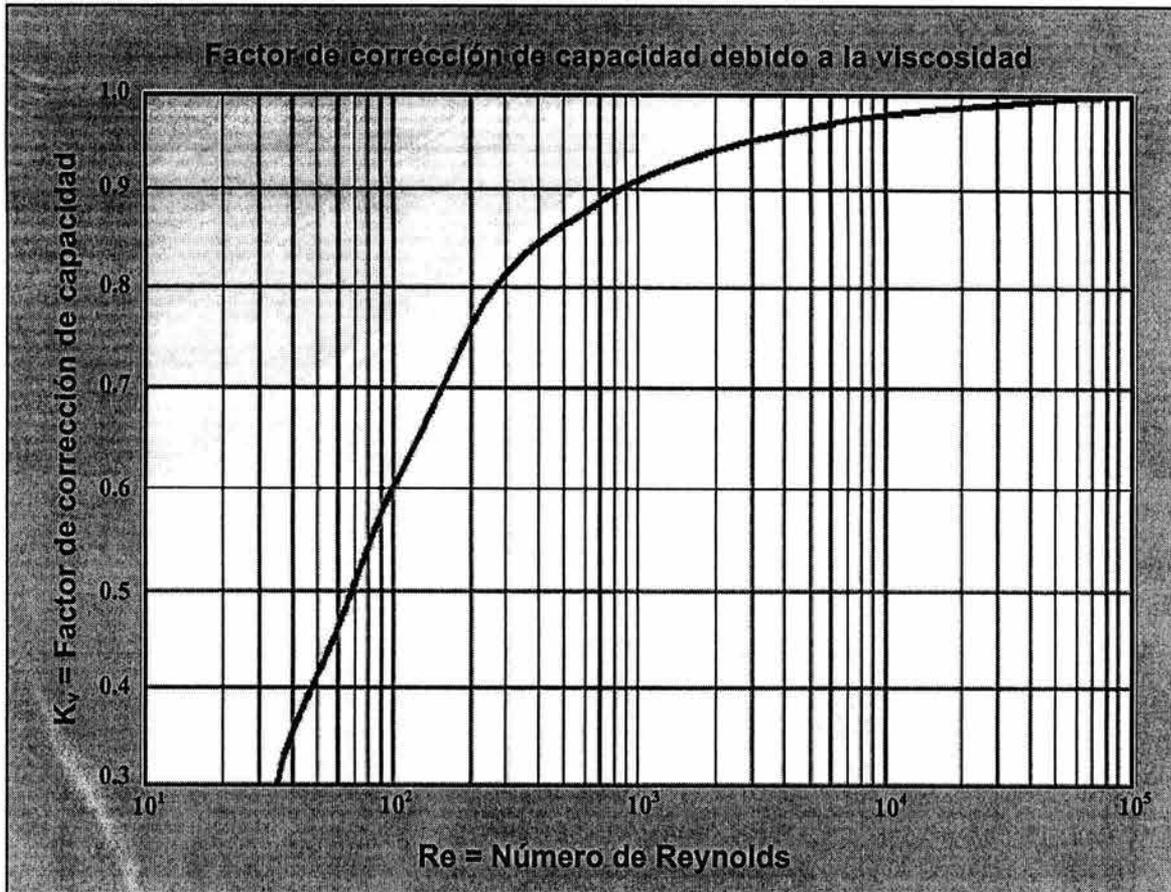


Figura 2.6. Factor de corrección de capacidad debido a la viscosidad.^[37]

Cuando la válvula de relevo se dimensiona para servicios viscosos, primero se debe determinar el área del orificio considerando un servicio no viscoso, es decir, el factor de corrección por viscosidad es 1; del API STD 526^[39] se selecciona el orificio inmediatamente superior que el calculado mediante la ecuación y se determina el número de Reynolds. Después de determinar el número de Reynolds, se determina el factor Kv de la figura 2.6 y se corrige el área preliminar de descarga. Si el área corregida excede el orificio seleccionado previamente, se debe seleccionar el inmediato superior y repetir los cálculos.

$$R = \frac{2800Q \cdot G}{\mu \sqrt{A}} \quad (2.13)$$



Donde:

- R : Número de Reynolds
- Q : Flujo volumétrico a condiciones de flujo en GPM
- G : Gravedad específica
- m : Viscosidad absoluta en cp
- A : Área de descarga efectiva en in², se obtiene del API Std 526

2.4.3 Recipientes que contienen gases o vapores en caso de fuego.

Las áreas de descarga para dispositivos de relevo de presión en los recipientes que contienen fluidos súper críticos, gases, o vapores expuestos a fuego pueden ser estimada usando la ecuación 2.14. En el uso de esta ecuación, no se ha considerado aportación por aislamiento.

$$A = \frac{F' A'}{\sqrt{P_1}} \quad (2.14)$$

Donde:

- A : Área efectiva de descarga de la válvula en in².
- A' : Área superficial expuesta del recipiente, ft².
- P₁ : Presión de relevo corriente arriba, en lb/in² absolutas.
- F' : Puede ser determinado de la siguiente relación. El valor mínimo recomendado para F' es 0.01; Cuando el valor mínimo es desconocido, se debe utilizar F' = 0.045.

$$F' = \frac{0.1406}{CK_d} \left(\frac{(T_w - T_1)^{1.25}}{T_1^{0.6506}} \right) \quad (2.15)$$

$$C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (2.16)$$

Donde:

- k : Cp/Cv, Relación de calores específicos del gas o vapor.
- K_d : Coeficiente de descarga (obtenida del fabricante de la válvula). K_d es igual a 0.975 para dimensionamiento preliminar de válvulas de relevo.
- T_w : Temperatura de pared del recipiente, en R. La máxima temperatura de pared de recipiente recomendada para materiales de acero al carbón es 1100 °F.
- T₁ : Temperatura del gas a condición de relevo, en R. Se puede obtener de la siguiente relación:

$$T_1 = \left(\frac{P_1}{P_n} \right) T_n \quad (2.17)$$

- P_n : Presión normal de operación del gas, en lb/in².
- T_n : Temperatura normal de operación del gas, en °F

La masa relevada puede ser calculada directamente, en lb/h, mediante la ecuación 2.17:

$$W = 0.1406 \sqrt{MP_1} \left(\frac{A' (T_w - T_1)^{1.25}}{T_1^{1.1506}} \right) \quad (2.18)$$



Donde:

M Peso molecular del gas

Z y Kb Se asume que es igual a 1.

2.5 Orificios nominales.

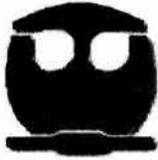
Una vez determinada el área de descarga se busca en el API STD 526^[39] el valor inmediato superior para seleccionar el orificio requerido, posteriormente se selecciona el material, el orificio de entrada y salida y el libraje de las bridas en función de la temperatura y presión de relevo.

El código API designa los tamaños de orificio mediante letras, bajo los cuales, los diseñadores se comprometen a basar sus dispositivos respetando las dimensiones.

Tabla 2.8. Orificios estándar de válvulas de relevo de presión extraído API STD 526.^[39]

Designación de orificio	Área efectiva	
	in ²	cm ²
D	0.11	0.71
E	0.196	1.26
F	0.307	1.98
G	0.503	3.25
H	0.785	5.06
J	1.287	8.30
K	1.838	11.86
L	2.853	18.41
M	3.6	23.23
N	4.34	28.00
P	6.38	41.16
Q	11.05	71.29
R	16	103.23

Finalmente, se llena la hoja de especificación de la válvula de relevo de presión. En la Figura 2.7 Se proporciona una hoja de especificación en blanco que cumple con los requerimientos establecidos en el código API RP 520^[37]; el documento de ingeniería básica es proporcionado por el departamento de sistemas hidráulicos del IMP con fines didácticos y no se autoriza el uso de este material con otro fin que el mencionado.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE VALVULA DE RELEVO-SEGURIDAD

IDENTIFICACION:		HOJA:		DE:	
CLIENTE:					
PLANTA:					
LOCALIZACION:					
PROYECTO:					
REVISIÓN:					
FECHA					
ELABORÓ					
REVISÓ:					
VERIFICÓ:					
VALIDÓ:					

GENERALIDADES			REV	BASES DE SELECCIÓN			REV
1	Número de identificación:			5	Código: ASME:	Estampado Requerido:	
2	Servicio, Línea o No. de Equipo:				Otro:	Especificar:	
3	Identificación del DTI:			6	API 526:		
4	Espec. de tubería: Ent./Sal.			7	Fuego:	Otro:	
	Cantidad requerida:			8	Disco de ruptura asociado:		

DISEÑO DE LA VALVULA				REV	MATERIALES				REV
9	Tipo de Diseño:				17	Cuerpo:			
	Convencional:	Fuelle:	Balanceda con pistón:		18	Bonete:			
					19	Asiento (Boquilla):	Disco:		
10	Tipo de Boquilla:	Completa:	Semi:		20	Asiento flexible:			
	Otro:	Especificar:			21	Guía:			
11	Tipo de Bonete:	Abierto:	Cerrado:		22	Anillo(s) Ajustable(s):			
12	Tipo de Asiento:	Metal-Metal	Elástico:		23	Resorte:	Lavador:		
13	Asiento Hermético: API-527				24	Fuelle:			
	Otro:	Especificar:			25	Pistón Balancedo:			

CONEXIONES				REV	ACCESORIOS				REV
14	Diámetro:	mm	Entrada	Salida	26	NACE MR0103:			
15	Libraje-ANSI o Roscado:				27	Otro:	Especificar:		
16	Tipo de Cara:								
	Otro:	Especificar:							

CONDICIONES DE SERVICIO				REV	ACCESORIOS				REV
33	Fluido	Fase			28	Capucha:	Roscada:	Atornillada:	
					29	Palanca de Levantamiento:			
		Gas o Vapor			30	Mordaza:			
34	Capacidad Req. por válvula:		Kg/Hr		31	Pantalla de fallas:			
35	Peso Molecular @ Cond. de relevo:				32	Otro:	Especificar:		
	SG(ref. aire)@ 14.7 psia/ 60°F:								
36	Z @ Cond. de relevo:								
37	Cp/Cv:								

				REV	DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN				REV
		Líquido			50	Área calculada del orificio:			
38	Capacidad Req. por válvula:		l.p.m.		51	Área seleccionada del orificio:			
39	SG(ref. agua)@ Cond. de relevo:				52	Designación del orificio:			
40	μ abs @ Cond. de relevo:	Cp			53	Fabricante:			
		Normal	Ajuste		54	Módulo del fabricante:			
41	Presión		Kg/cm ² m		55	Requerimiento de cálculos del fabricante:			

				REV	Notas y Observaciones				REV
			Relevo						
42	Temperatura								
43	ΔH@ Cond. de relevo:								
44	Purga:	Estándar:	Otra:						
45	Contrapresión desarrollada:								
46	Contrapresión constante:								
47	Presión de prueba diferencial fría:								
48	Sobrepresión permisible:								
49	Presión Atmosférica:								



2.6 Fuego en la planta.

Durante un evento de fuego el inventario de líquido absorbe calor a través de las paredes del recipiente, la temperatura del líquido comienza a incrementarse hasta su punto de ebullición, algunos componentes ligeros se vaporizan y aumentan la presión dentro del recipiente. Cuando la presión interna alcanza la presión de ajuste, la válvula asociada abre y protege al recipiente. Sin embargo cuando el recipiente tiene un inventario de líquido muy pequeño o esta lleno de gas, el calor no es disipado por la vaporización del líquido, la región de la pared del recipiente que esta en contacto directo con la flama se calienta; si el recipiente esta desnudo o si el aislamiento no es a prueba de fuego o se cuenta con un sistema de regaderas confiable puede calentarse en pocos minutos provocando que el material se fatigue y se colapse. La ruptura del recipiente ocurre, aun cuando la presión interna no alcance la presión de ajuste, en este caso la válvula de relevo no funciona y las consecuencias pueden ser desastrosas ya que la ruptura es acompañada de una explosión. En este caso el diseño de la PSV no es sencillo y se requiere utilizar otras consideraciones.

Para el diseño de los sistemas de protección se necesita considerar el volumen y el tipo de fluido:

1. Recipiente completamente lleno (superficie mojada)
2. Nivel de líquido adecuado (superficie mojada primaria)
3. Nivel inadecuado de líquido (superficie mojada y seca)
4. Lleno de gas o vapor (superficie seca)

Los casos 1 y 2 se dimensionan mediante las ecuaciones 2.2 a 2.7 anteriormente mostradas y los casos 3 y 4 se dimensionan utilizando las ecuaciones 2.14 a 2.18 mostradas anteriormente.

2.6.1 Superficies mojadas de recipientes.

Durante un caso de fuego no todo el recipiente se encuentra influenciado por las llamas, solamente el área superficial del recipiente cubierta por el líquido interno (superficie mojada del recipiente) estará expuesta directamente al calor. El API 521^[41] establece que solamente la porción del recipiente que es mojado por el líquido interno con



una altura igual o menor a 25ft a partir de una fuente de flama debe ser considerado para determinar la superficie mojada. El término fuente de flama se refiere a toda aquella superficie capaz de sostener una flama durante un lapso de tiempo considerable. En el caso de las esferas la superficie mojada incluye toda el área por debajo del diámetro máximo, aunque en ocasiones se agregar un porcentaje del área del recipiente para responder a la generación de vapor en las tuberías asociadas que cuenten con inventarios de hidrocarburos.^[1]

En recipientes con superficies mojadas las temperaturas de relevo alcanzadas durante el evento de fuego a menudo son menores a la temperatura de diseño del equipo protegido, sin embargo, es probable que el incremento de temperatura cause la ruptura del recipiente durante una reacción química, como en el caso del “cracking” térmico. Cuando se analizan las posibilidades de “cracking” en recipientes se enfatiza el uso de sistemas para mitigar fuego y se ajustan las válvulas con temperaturas inferiores a las de la reacción para asegurar que el material desalojado no alcance dichos valores.^[3]

Para un recipiente cilíndrico sencillo, la superficie mojada es función de la posición (horizontal o vertical), el tipo de tapas y del nivel del inventario de líquido.

2.6.1.1 Recipientes Horizontales.

La superficie mojada para un recipiente horizontal puede ser calculada mediante las siguientes ecuaciones:^[35]

$$\begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{expuesta a fuego} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{del cilindro} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{de las 2 tapas} \end{array} \quad (2.19)$$

Para la parte cilíndrica:

$$\begin{array}{l} \text{Área mojada del} \\ \text{cilindro} \end{array} = \text{(Perímetro mojado)(Longitud)} \quad (2.20)$$

$$\begin{array}{l} \text{Área mojada del} \\ \text{cilindro} \end{array} = \pi D F_{wp} L \quad (2.21)$$



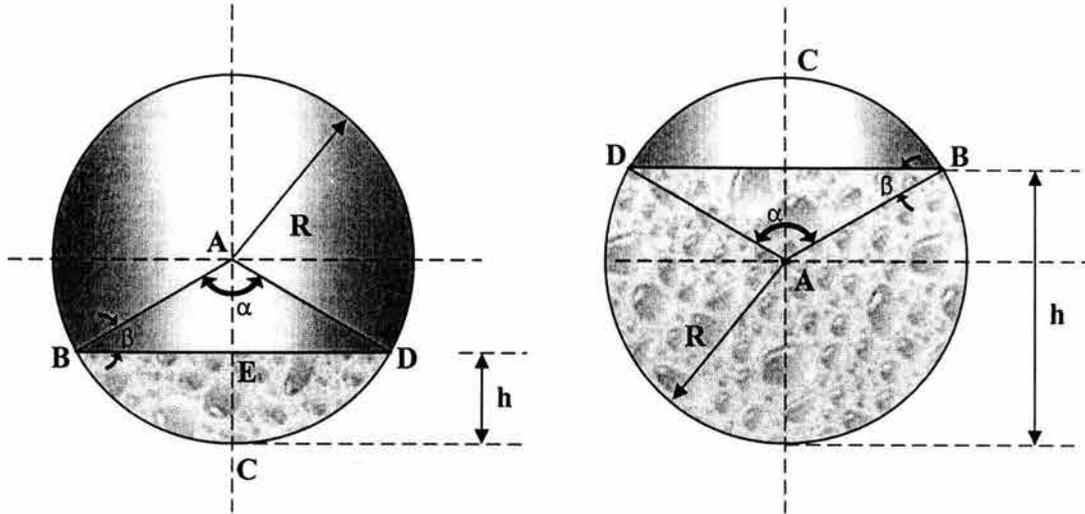
Donde:

L : Longitud tangente – tangente en ft

D : Diámetro del recipiente en ft

Fwp : Factor de perímetro mojado

Figura 2.8 Volumen de líquido. Vista transversal del líquido interno en el recipiente horizontal; este esquema es empleado para determinar las relaciones de FWP.



El valor de Fwp depende del porcentaje de volumen de líquido en el recipiente.^[6]

Cuando el nivel de líquido esta por debajo de la línea central.

$$S = D \cos^{-1} \left(\frac{h}{R} \right) \quad (2.22)$$

Cuando el nivel de líquido esta por encima de la mitad.

$$S = D \left[\pi - \cos^{-1} \left(R - \frac{h}{R} \right) \right] \quad (2.23)$$

$$Fwp = \left(\frac{S}{\pi D} \right) \quad (2.24)$$

Para las 2 tapas elípticas se utiliza la siguiente expresión empírica:

$$\text{Área mojada de las 2 tapas} = 2.178D^2(Fwp) \quad (2.25)$$



Por lo tanto el área superficial mojada expuesta al fuego para un recipiente horizontal es:

$$A = \left(2.178D^2 + \pi DL \right) \left(\frac{S}{\pi D} \right) \quad (2.26)$$

2.6.1.2 Recipientes verticales.

Para calcular el área mojada en cilindros verticales, el nivel del líquido considerado se determina mediante el criterio de 25 ft. Comúnmente la forma de la tapa es semielíptica por lo tanto:^[35]

$$\begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{expuesta a fuego} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{del cilindro} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Área mojada} \\ \text{de una tapa} \end{array} \quad (2.27)$$

$$A = (\pi Dh + 1.089D^2) \quad (2.28)$$

Donde:

- A : Área superficial mojada en ft².
- h : Altura del cilindro determinada por el criterio de 25 ft.
- D : Diámetro del recipiente en ft.
- L : Longitud tangente – tangente en ft.
- S : Superficie mojada del líquido.

2.6.2 Altura efectiva del fuego.

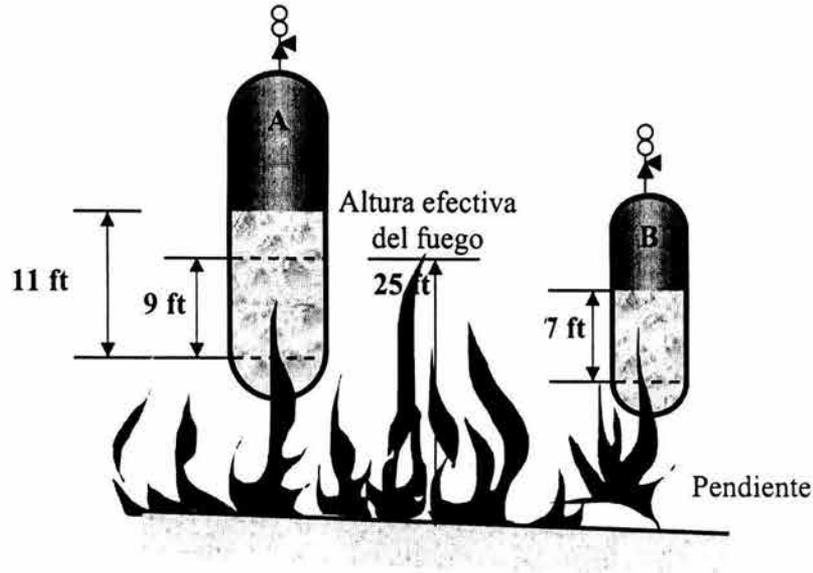
El código API 521^[41] establece que la mayor altura registrada para una flama durante un evento de fuego es 25 ft y se considera improbable que las llamas alcancen una altura superior. La mayor parte de los recipientes de proceso operan parcialmente llenos, en muchas ocasiones la altura de los líquidos sobrepasa los 25 ft, por lo que para determinar la cantidad de vapor generado durante el evento, únicamente se considera la superficie mojada del recipiente cuyo líquido interno tenga una altura igual o menor a 25 ft a partir de un recurso capaz de sostener una flama.

2.6.3 El área de una zona de fuego.

El ingeniero de procesos es el encargado de determinar la extensión en área que cubrirá el incendio, considerando que las zonas con equipos que manejen líquidos flamables son más probables de ser envueltos por las llamas cuando existen equipos mecánicos asociados capaces de producir chispas.



Figura 2.9 Altura efectiva del fuego. Se muestra esquemáticamente el inventario de líquido afectado por las llamas del fuego de acuerdo con API.^[41]



El API 521^[41] recomienda que la máxima extensión de fuego durante un incendio local prolongado esta limitado a un rango de área radial de 2500 a 5000ft², lo cual equivale a un circunferencia de 57 a 80 ft de radio. No es una regla que esta circunferencia localice como centro al recipiente de mayor volumen; la ubicación depende de la zona con mayor probabilidad de mantener el fuego, la circunferencia debe de abarcar el mayor número de equipos y tuberías asociadas a equipos mecánicos.

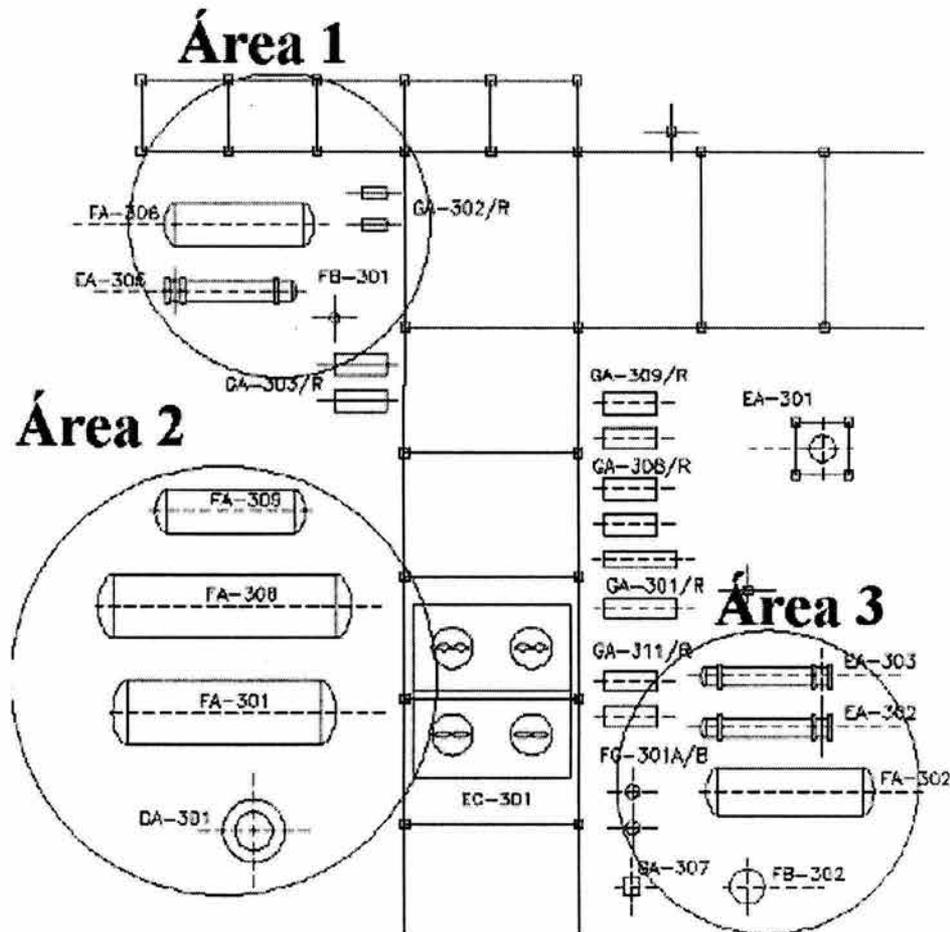
Quando existen recipientes con volúmenes pequeños o separados por una distancia considerable se emplea el área de 2500ft²; en el caso de las refinerías, existen densidades considerables de equipos y tuberías asociadas con inventarios flamables por lo que es común observar áreas de 5000ft².^{[41][8]} Los recipientes de proceso que no cuenten con inventarios flamables y se encuentren dentro de las zonas de fuego no serán tomados en cuenta para el análisis de los sistemas de relevo por esta causa. En la figura 2.10 se muestra un fragmento de un Plano de Localización General en el cual se han señalado las zonas con mayor potencial, en caso de incendio, para mantener el fuego por un tiempo considerable



2.6.4 Recipientes asociados.

Un recipiente puede considerarse asociado cuando se encuentra dentro del área de 5000 o 2500 ft² y esta conectado directamente a otro recipiente de mayor tamaño sin que exista una válvula o elemento de corte que impida el libre flujo. Cuando un recipiente se encuentra protegido por una válvula de relevo se recomienda que el recipiente asociado a este tenga una protección individual. Esto significa que a pesar de que exista una tubería capaz de desalojar el exceso de materia hacia el recipiente de mayor tamaño, durante un incendio el orificio de la válvula puede no ser adecuado para manejar la carga adicional, aumentando el tiempo de desalojo del recipiente asociado y presionándolo rápidamente.^[8]

Figura 2.10 Zonas de fuego. Se muestra esquemáticamente 3 zonas de fuego dentro de una instalación industrial de acuerdo a la densidad de equipos; el equipo EA - 301 no contiene líquidos inflamables.





2.6.5 Superficies secas de recipientes.

Las paredes secas de un recipiente son aquéllas en las que las paredes interiores del recipiente están expuestas a un gas, vapor, o un fluido súper-crítico, o se encuentran aislados internamente por deposición de un material capaz de aumentar la resistencia a la transferencia de calor, sin importar la naturaleza del fluido contenido. Éstos incluyen a los recipientes que contienen dos fases bajo condiciones de operación normal pero que durante el evento pueden llegar a la generación de vapores a condiciones súper críticas. Un recipiente puede ser considerado aislado internamente cuando la pared interna este cubierta por la deposición de coque u otros materiales como resultado de la acumulación de los fluidos contenidos. ^[41]

En un recipiente con paredes interiores secas el flujo de calor de la pared al fluido contenido es bajo como resultado de la resistencia del fluido contenido o cualquier material aislante interior. El calor proporcionado por el fuego sobre la superficie desnuda de un recipiente con superficie interior seca puede ser suficiente para calentar la pared del recipiente hasta la temperatura de fatiga y provocar la ruptura.

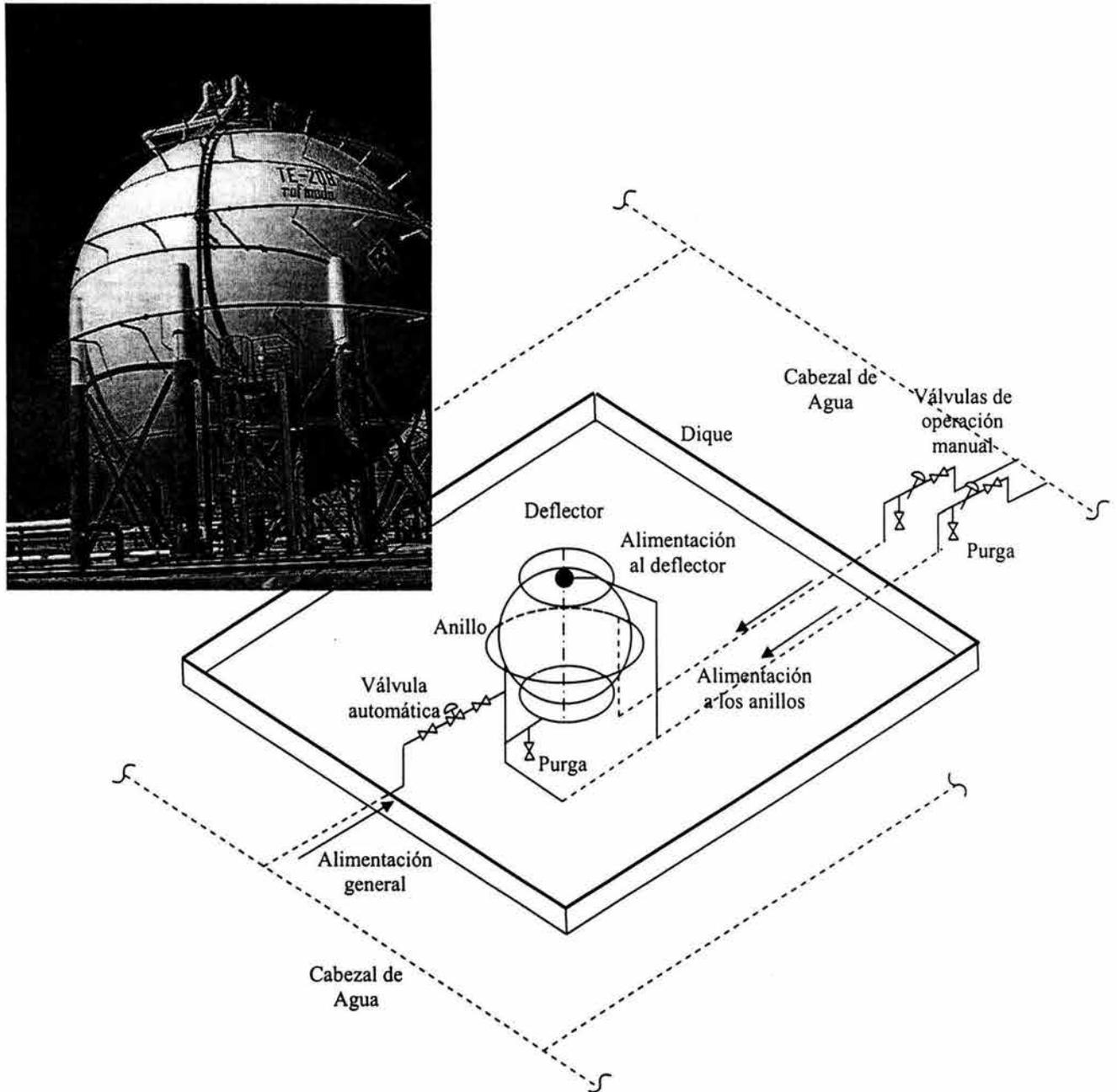
2.6.6 Sistemas de enfriamiento de tanques.

Su función es proteger a un recipiente durante un incendio de los efectos del fuego extinguiendo las llamas y abatiendo la temperatura interior, evitando que los vapores sobrepresión en el equipo. El agua es empleada como agente extintor, es suministrada mediante un anillo de enfriamiento dispuesto en forma circular o rectangular con niples y boquillas aspersoras u orificios y placas de choque que atomizan el agua para proporcionar una mayor superficie. Los chorros de aspersion contiguos generan zonas de traslape que producen una superficie mojada uniforme. Este anillo es alimentado por la red de agua contra incendio, la cual proporciona un flujo constante de agua a presión. En el caso de las esferas de almacenamiento, además de los anillos el sistema cuenta con un deflector encargado de distribuir un chorro de agua en forma de cortina desde la parte superior del equipo. El número de anillos, las boquillas aspersoras, el deflector y los criterios de diseño



para este tipo de sistemas se encuentran en la normatividad interna de PEMEX.^[32]

Figura 2.11 Sistema de enfriamiento de tanques. Lo conforman los anillos, el deflector, las válvulas de corte y el sistema de tuberías.





2.7 Cálculo de la masa a relevar en caso de fuego.

2.7.1 Estado estacionario.

La masa que se debe relevar está en función del calor absorbido por el recipiente y del calor latente de vaporización de líquido:^[37]

$$W = \frac{Q}{\lambda} \quad (2.28)$$

Donde:

- Q : Calor absorbido en Btu/h
 W : Masa a relevar en lb/h
 λ : Calor latente de vaporización en Btu/lb

La cantidad de calor que absorbe un recipiente expuesto a un fuego directo es marcadamente afectado por el tipo de combustible que alimenta al fuego, el grado al cual el recipiente es envuelto por las llamas (una función del tamaño y de la forma del recipiente), y las medidas contra incendio dispuestas alrededor del equipo. Las siguientes fórmulas son utilizadas para evaluar la cantidad de calor suministrado por las llamas en función del tipo de aislamiento del recipiente, la existencia de un sistema de enfriamiento adecuado y un sistema de drenajes aceitosos capaz de evacuar materiales flamables lejos de los recipientes.

$$Q = 21000FA^{0.82} \quad (2.29)$$

$$q = 21000FA^{-0.18} \quad (2.30)$$

Es necesario contar con un sistema de drenaje aceitoso cerca de tanques o equipos capaces de desalojar de forma rápida los líquidos para controlar la extensión del derrame y evitar que se salpiquen otras áreas y se extienda el fuego, además de disponer del agua amarga generada durante el evento. Esto se puede lograr con el uso estratégico de alcantarillas y de fosos con capacidades adecuadas y el uso de la pendiente natural de la tierra. Cuando no se cuente con un sistema de drenaje adecuado y no existan medidas para combatir fuego de forma eficaz se requiere utilizar la siguiente ecuación:^[41]

$$Q = 34500FA^{0.82} \quad (2.31)$$



Donde

- Q : Absorción de calor total en la superficie mojada, en Btu/h
- F : Factor ambiental o de aislamiento. (Los valores para varios tipos de instalaciones son mostrados en la tabla 9)
- A : Superficie mojada total, en ft². (la expresión $A^{-0.18}$ o $1/A^{0.18}$, es el factor o relación de área expuesta. Esta relación reconoce el hecho de que los recipientes grandes son menos probables que los pequeños a ser expuestos totalmente a las llamas del fuego).

Tabla 2.9 Factor ambiental. Valores recomendados para varios tipos de instalaciones.

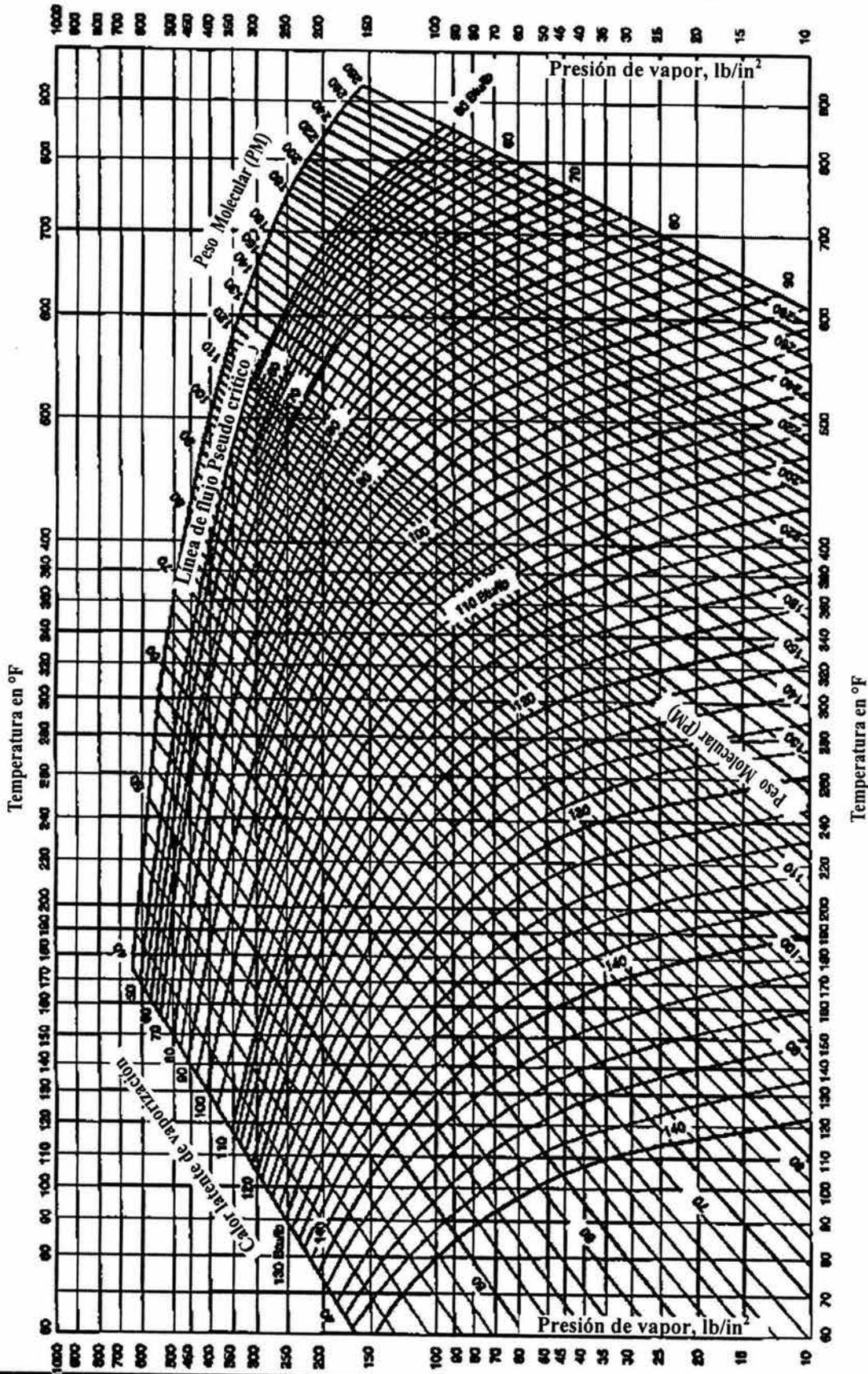
Factor Ambiental	
Tipo de equipo o instalación**	Factor F
Recipiente desnudo	1.00
Recipiente aislado* (valores de conductividad térmica del aislamiento para condiciones de exposición al fuego).	
a) 4.00 Btu/h ft2 °F	0.3
b) 2.00 Btu/h ft2 °F	0.15
c) 1.00 Btu/h ft2 °F	0.075
d) 0.67 Btu/h ft2 °F	0.05
e) 0.50 Btu/h ft2 °F	0.0376
f) 0.40 Btu/h ft2 °F	0.03
g) 0.33 Btu/h ft2 °F	0.026
Recipientes desnudos, con sistemas de regadera	1.00
Servicios de depresurización y vaciando	1.0
Recipientes enterrados	0.03
Recipientes sobre suelo cubiertos con tierra	0.0

*El aislamiento debe resistir la deformación ocasionada por las corrientes calientes. El valor del factor puede ser substituído por 1 cuando el incendio sea prolongado y el aislante pueda caer quemado o porque el soporte de retención ha sido dañado.
 **Cuando no existen estas condiciones, el ingeniero de procesos debe seleccionar un factor más alto o proveer de medios para proteger los recipientes contra la exposición al fuego.

Una vez que se ha calculado el calor absorbido por el recipiente, se procede a determinar el calor latente de vaporización del fluido a relevar. El calor latente del fluido se puede determinar a partir del diagrama de calor latente a condiciones de relevo de la figura 2.11 (es necesario conocer la Presión de relevo P_1 y El peso molecular del fluido). De esta figura también se puede obtener la temperatura de saturación del fluido, que es la temperatura de relevo. Cuando se cuente con un simulador de procesos se deben de calcular de forma adecuada estos valores.



Figura 2.12 Diagrama de calor latente y propiedades a condiciones de relevo.





El calor latente obtenido con la grafica es solamente una aproximación, se recomienda emplear un simulador de procesos para determinar el valor de la mezcla

Existen líquidos que antes de alcanzar su temperatura de ebullición sufren una degradación térmica conocida como “cracking”. Es muy difícil conocer con exactitud la masa a relevar, cuando no se conoce el modelo cinético y la composición final, por lo que se recomienda considerar al n-heptano como el producto del “cracking” y 750°F como temperatura de relevo.

2.7.2 Consideraciones en estado estacionario.

En ocasiones las consecuencias del fuego no son tan extremas debido a que durante un incendio los equipos destinados a mitigar el fuego comienzan a funcionar. Esto proporciona a los diseñadores un cierto colchón para poder acercarse al escenario dinámico real mediante consideraciones de estado estacionario.

Todos los cálculos de estado estacionario se basan en la selección de una válvula capaz de desalojar una cierta masa a una condición de temperatura extrema. Esta misma temperatura se utiliza para determinar la carga a relevar, por lo que se asegura que independientemente del tiempo el dispositivo resistirá las condiciones de Temperatura y Presión presentes durante el evento. Así, los cálculos determinan que el fuego alcanza su máxima temperatura y flujo desde el momento que abre y esta preparada para soportarlo, sin embargo durante la operación real la temperatura alcanzada por el fluido no alcanza la considerada para el cálculo y por lo tanto el flujo es mucho menor al esperado.

Las ecuaciones 2.29 a 2.31 nos permite conocer la masa a relevar durante el evento de fuego con las siguientes consideraciones de estado estacionario:^{[5][8][14]}

- Se asume que el flujo normal es bloqueado, la operación normal es interrumpida y no se bombean fluidos dentro o fuera del sistema.
- No se considera aportación alguna por descarga de venteos para minimizar el tamaño de los dispositivos de relevo, su contribución es despreciable.



- No se considera aportaciones por contar con acciones de instrumentos o sistemas de depresionamiento o por sistemas de agua contra incendios adicionales a las contempladas por las ecuaciones.
- Se utilizara el nivel máximo de operación de líquido para determinar el calor suministrado por el fuego al inventario del líquido.
- La capacidad de intervención del operador dentro del rango de 10 a 30 minutos no es considerada.
- Se considera que el inventario de líquido vaporiza alrededor de 20 minutos.

2.7.3 Simulación dinámica.

La implementación apropiada de simulación dinámica en proyectos de ingeniería puede proporcionar beneficios sustanciales que incluyen mejores diseños, reducción incertidumbre en entrega de proyectos y optimización de recursos. Pueden encontrarse aplicaciones para la simulación dinámica en virtualmente todas áreas de ingeniería de procesos.

Debido a la combinación única de modelos matemáticos, programación en FORTRAN, la integración de métodos numéricos y el modelado químico y termodinámico, la simulación dinámica ha permanecido durante mucho tiempo en manos de expertos. Adicionalmente, debido al número sumamente elevado de cálculos que las simulaciones dinámicas requieren anteriormente solo podían llevarse a cabo en estaciones de trabajo capaces de procesar dichos cálculos, solamente se justificaba el uso de simulación dinámica en proyectos muy grandes. Hoy sin embargo, gracias a los avances en el hardware y de la tecnología del software, como la programación orientada a objetos y el desarrollo de nuevas maneras de empaquetar los módulos de FORTRAN, esta tecnología a evolucionando rápidamente en una herramienta de uso cotidiano para muchos ingenieros.^[21]

Con el uso continuo de este tipo de herramientas desaparecerá la barrera que impide que la simulación dinámica sea popular y que la industria comience a utilizarla más. Las



aplicaciones actuales de la simulación dinámica son diversas; se emplea prácticamente en cualquier etapa industrial: investigación y desarrollo, diseño, operación y entrenamiento. Algunas de las actividades en donde la simulación dinámica es más utilizada por los ingenieros de procesos son:^[21]

- Diseño conceptual
- Procesos de diseño
- Desarrollo de estrategias de control
- Árboles de fallas y Evaluación y análisis de riesgo
- Chequeos de sistemas de control de planta
- Entrenamiento de operadores e ingenieros
- Mejoras en el proceso

2.7.4 Consideraciones dinámicas.

Durante el transcurso del evento de fuego la transferencia de calor a través de la pared del recipiente no es uniforme; la entrada en operación del sistema de aspersion de agua ocasiona gradientes de temperatura en el tanque y que la temperatura de relevo no llegue a ser tan extrema. El ingeniero de procesos debe determinar si el uso de medios de mitigación (agua y espumas) reduce considerablemente los tiempos de exposición o si la transferencia de calor disminuye rápidamente. Debido a lo anterior la cantidad de calor puede no ser modelada de forma adecuada con la ecuación propuesta por API^[41] (2.17).

En el código API 520^[37], considera que los recipientes aislados pueden retardar la transferencia de calor y que los sistemas de regaderas pueden disminuir las temperaturas alcanzadas por lo que incorpora factores de corrección a sus ecuaciones para disminuir el tamaño de las válvulas, sin embargo estos factores son muy generales y en ocasiones no suelen representar el crédito real que aportan estos dos parámetros; además el calor suministrado puede ocasionar que se desencadene una reacción química, en este caso el calor no puede ser modelado de forma correcta por las ecuaciones del anteriores.^[22]



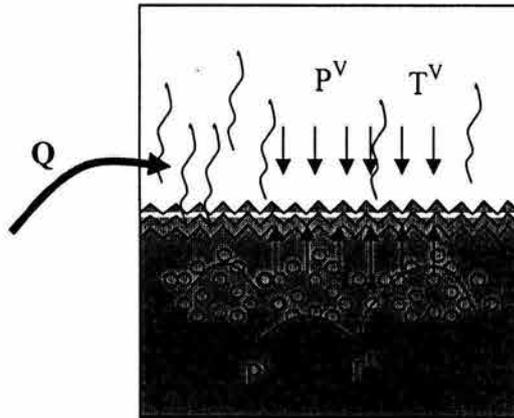
En los casos anteriores el comportamiento puede modelarse mediante una ecuación polinomial empírica que a diferencia de la empleada en estado estacionario considera otros factores a los antes mencionados para mejorar la estimación. Este tipo de modelos depende de la naturaleza de cada reacción en particular, de los fluidos y el tiempo de respuesta de la válvula de relevo.

2.7.5 Desarrollo del modelo de depresionamiento.

En el siguiente desarrollo del modelo se consideran los efectos de transferencia de calor de la pared del recipiente al fluido interno. También, se toma en cuenta la expansión del fluido que produce trabajo sobre las paredes del recipiente. Aunque generalmente se excluye el término de trabajo en las ecuaciones de equilibrio de energía, esto no puede hacerse aquí, debido a la necesidad de predecir la temperatura de pared exacta.

Para un sistema cerrado, se considera la primera ley de la termodinámica:

Figura 2.13 Sistema cerrado. Se plantea el modelo empleando un sistema cerrado que presentara una acumulación de energía hasta que la presión interna alcance la presión de relevo.



- La transferencia de energía de los alrededores al sistema es igual a la acumulación de energía en el sistema.
- El cambio en la energía interna del sistema cerrado se describe por la función de estado:



$$dU = dH + d(PV) \tag{2.32}$$

Donde:

U : Energía interior de un sistema.

H : Entalpía del sistema.

PV : Trabajo hecho por el sistema.

Balance de materia dentro del sistema:

$$M_T = M_V + M_L \tag{2.33}$$

Las paredes del recipiente envuelto por las llamas transfieren energía al líquido para que este aumente su temperatura y vaporice.

Balance de energía dentro del sistema:

$Q - \Delta H_{VAP} - Cp^V (M_T - M_L) dT_{Liquido} = Cp^L M^L \frac{dT_{Liquido}}{dt}$	(2.34)
$Q - \Delta H_{VAP} - Cp^V (M^{L_0} - M^L) \lambda = Cp^L M^L \frac{dT_{Liquido}}{dt}$	(2.35)

Para determinar las condiciones antes de la apertura de la válvula se requiere proponer una nueva temperatura después de un intervalo de tiempo y recalculer el equilibrio para conocer la nueva presión y el nuevo volumen de líquido. A medida en que el tiempo transcurra el inventario de líquido se reducirá y la fase vapor comenzara a incrementarse y presionar el domo hasta alcanzar la presión de ajuste del dispositivo. Esto indica que se deben determinar todos los equilibrios considerando la variación de volumen e incrementando la temperatura con respecto al tiempo.

Cuando se alcanza la apertura inicial se considera que el inventario inicialmente es un fluido a dos fases y que la alimentación es cortada, una válvula de bloqueo previene el retroceso de flujo de líquidos corriente abajo; al momento de la emergencia, el flujo de energía en el recipiente menos el flujo de energía fuera del recipiente es igual a razón de cambio de energía con respecto al tiempo dentro del recipiente:



$$F_S C p_S (T - T_{ref})_S - F_I C p_I (T - T_{ref})_I + Q = (M C p)^L_{acumulacion} \frac{dT_{Liquido}}{dt} \quad (2.36)$$

Donde:

- S : Se refiere a las condiciones a la salida del sistema.
- I : Se refiere a las condiciones dentro del recipiente.
- Q : Calor transferido por el fuego externo.

Necesitamos modificar la ecuación de equilibrio de energía debido a los efectos de transferencia en la pared y el trabajo realizado durante la expansión del fluido sobre las paredes. Entonces: el flujo de energía fuera del recipiente más los efectos de la pared más el trabajo realizado por el fluido al expandirse (PV) es igual a la razón de cambio de energía del fluido en el recipiente (se asume que existe equilibrio termodinámico en cada lapso de tiempo):

$$F_S C p_S (T - T_{ref})_S + UA(T_{Liquido} - T_{Pared}) + \frac{d(PV)}{dt} = (M C p)^L_{acumulacion} \frac{dT_{Liquido}}{dt} \quad (2.37)$$

Empleando la ley de gas ideal y el factor de compresibilidad, podemos escribir:

$$P = \rho z \frac{RT}{M} \quad (2.38)$$

$$\frac{d(PV)}{dt} = \left(\frac{VzR}{M} \right) \frac{d\rho T}{dt} \quad (2.39)$$

obteniéndose:

$$F_S C p_S (T - T_{ref})_S + UA(T_{Liquido} - T_{Pared}) + \left(\frac{VzR}{M} \right) \frac{d\rho T}{dt} = (M C p)^L_{acumulacion} \frac{dT_{Liquido}}{dt} \quad (2.40)$$

La transferencia de energía de la pared hacia el líquido es igual a la razón de cambio de la energía en la pared con respecto al tiempo.

$$UA(T_{Pared} - T_{Liquido}) = (M C p)^L_{metal} \frac{dT_{Pared}}{dt} \quad (2.41)$$

El flujo que pasa a través del dispositivo de relevo puede ser descrito por la ecuación de flujo crítico:



$$Q = C_1 \times (WettedArea_{time=t})^{C_2} \quad (2.42)$$

El área de la superficie mojada al tiempo t es definida por la siguiente ecuación:

$$WettedArea_{time=t} = WettedArea_{time=0} \times C_3 \times \left(1 - \frac{LiquidVolume_{time=t}}{LiquidVolume_{time=0}} \right) \quad (2.43)$$

Tanto la ecuación del balance de energía como el balance en la pared deben ser resueltas proponiendo una temperatura de pared y de líquido interno; con estos datos se calculan los equilibrios para determinar las propiedades termodinámicas y el volumen de líquido. El área mojada se vera afectada por el cambio de volumen y la presión dentro del recipiente se vera influenciada por el calor transferido a través de dicha área. Proponer una nueva temperatura implica determinar el equilibrio puntual y corregir el nuevo calor empleando la ecuación de balance de energía como parámetro de convergencia.

Sin embargo, emplear un método numérico para resolver estas ecuaciones generara una pequeña desviación del valor real conocido como error de truncamiento. Este error aparece generalmente cuando no se cuenta con un método apropiado para desplazar el valor de las variables propuestas, es decir, si el acercamiento empleado para calcular los nuevos equilibrios es muy grande las ecuaciones no tendrán solución. Se requiere definir un error adecuado para emplearlo como un segundo parámetro de convergencia:

$$Valor\ verdadero = Valor\ aproximado + Error \quad (2.44)$$

De esta definición se desprende el error relativo porcentual (denotado como E_v), al reordenar la ecuación y multiplicarla por 100:

$$E_v = Valor\ verdadero - Valor\ aproximado \quad (2.45)$$

$$Error\ relativo\ fraccional = \frac{Error}{Valor\ verdadero} \quad (2.46)$$

$$E_v = \frac{Error\ verdadero}{Valor\ verdadero} 100 \quad (2.47)$$



Para que este error se utilice como criterio de convergencia, para denotar la desviación del valor exacto, se requiere normalizar el error para mejorar la estimación:

$$E_a = \frac{\text{Error aproximado}}{\text{Valor aproximado}} 100 \quad (2.43)$$

Donde E_a denota que se trata de un error normalizado a un valor aproximado.

En cualquier método numérico empleado para determinar los resultados para los balances se hace una aproximación en base a la aproximación anterior, este proceso se repite varias veces o de forma iterativa, para calcular sucesivamente más y mejores aproximaciones. Debido a lo anterior el error se expresara como la diferencia entre la aproximación previa y la actual:

$$E_a = \frac{\text{aproximacion actual} - \text{aproximacion previa}}{\text{aproximacion actual}} 100 \quad (2.44)$$

El signo de la ecuación puede ser positivo o negativo dependiendo si la aproximación al valor verdadero es mayor (el error es negativo) o menor (el error es positivo). Como el signo del error no importa sino más bien que su valor absoluto sea menor al valor de error aceptable o tolerancia prefijada (E_s) se emplea el siguiente criterio:

$$|E_a| < |E_s| \quad (2.45)$$

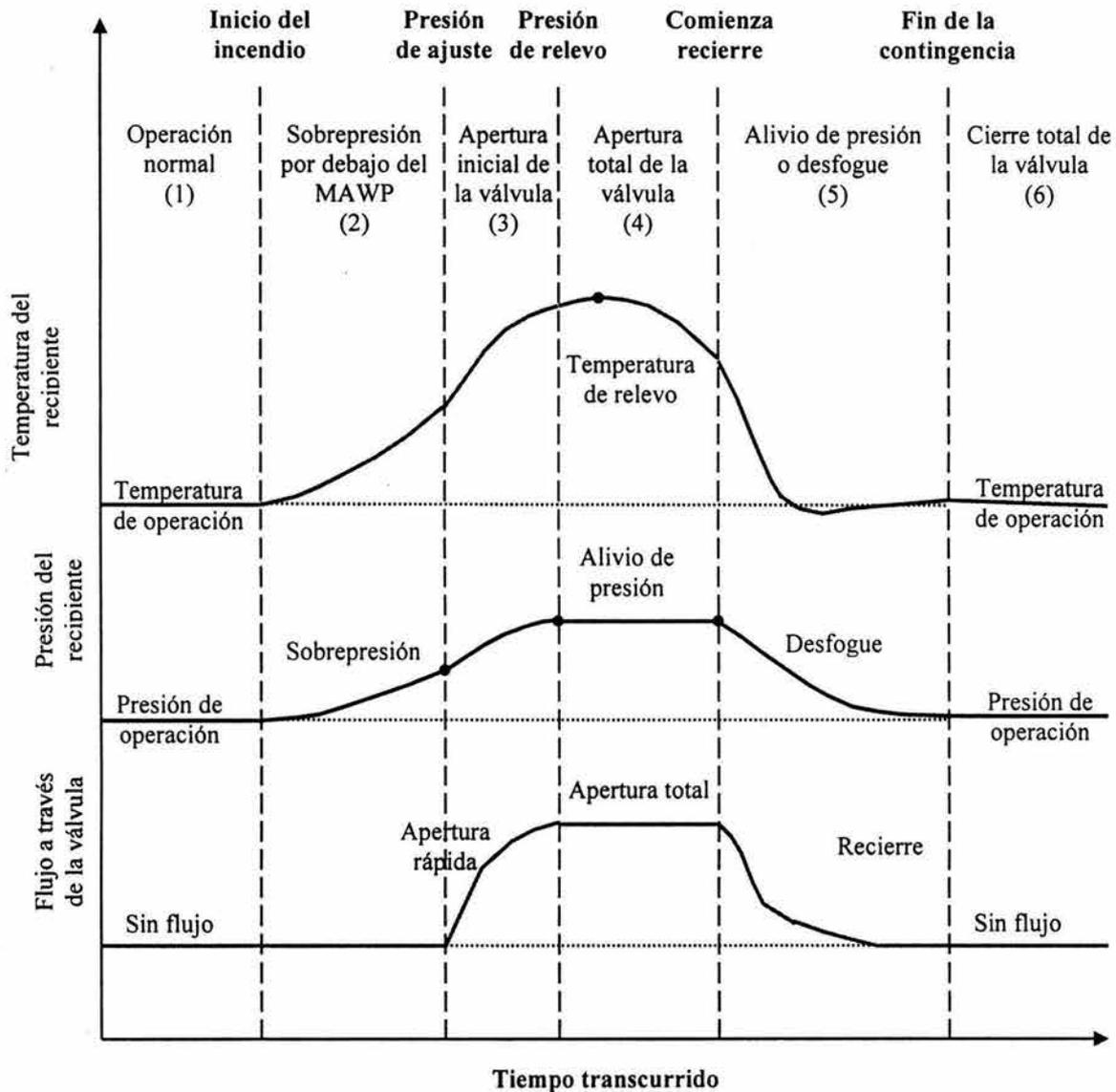
2.7.6 Comportamiento esperado por el fenómeno.

Durante la operación normal la temperatura y presión dentro del recipiente permanecen constantes(1); al comenzar el incendio las variables comienzan a incrementar su valor: la temperatura se ve marcadamente más afectada que la presión, la cual comienza a elevarse discretamente durante la formación de vapor ; aunque la presión es mayor a la de operación, el excedente de vapor formado no pasara a través del dispositivo hasta que la presión dentro del equipo alcance la presión de ajuste (2); al alcanzarse la presión de ajuste el dispositivo comienza a abrirse, dejando escapar una cantidad pequeña de masa, la temperatura sigue incrementándose rápidamente(3); la sobrepresión aumenta rápidamente y se logra la apertura total por algunos minutos, la temperatura alcanza su valor máximo y el



flujo a través de la válvula se vuelve constante (4); la presión se alivia rápidamente y la válvula cierra al alcanzarse un 10% por debajo de la presión de ajuste, la temperatura descende bruscamente hasta un valor inferior al de operación lo que ocasiona que la presión se restablezca aun cuando la válvula ya ha cerrado (5); la válvula esta cerrada por completo y el flujo de materia termina, la temperatura se estabiliza y la presión regresa al valor de operación.

La figura 2.13. Depresionamiento dinámico. Se muestra el comportamiento ideal que presentaría un recipiente expuesto al fuego: los perfiles de temperatura y presión esperados para las simulaciones dinámicas.





Se espera que los escenarios presentados en el capítulo IV para cada uno de los equipos en estudio presenten un comportamiento similar. En cuanto al perfil mostrado durante la sobrepresión se puede decir que su comportamiento obedece a la naturaleza del líquido, el espacio disponible dentro del recipiente para el vapor generado y la pérdida de calor del recipiente, por lo que puede presentarse un sobrepresionamiento muy rápido en algunos casos.



Análisis de las contingencias en planta y herramientas de simulación.

3.1 Justificación del análisis dentro del diseño.

El diseño del sistema de relevo de presión (SRP) se lleva a cabo normalmente en la etapa final del proyecto cuando las horas hombre de los especialistas se encuentran casi agotadas y el costo de un análisis riguroso no es justificable, por lo que comúnmente se recurre a métodos cortos resultando generalmente en sobre diseños. Por ejemplo, algunos diseñadores simplemente toman el total de la masa que se considera relevaren las válvulas debido a una misma falla para dimensionar los cabezales y seleccionar el quemador^[5], sin embargo durante la falla, difícilmente operaran todas las válvulas consideradas por la misma falla y la masa real será mucho menor al esperado en el diseño.

Algunos diseños pretenden reducir la cantidad de masa seleccionando los posibles escenarios en la planta, previendo cuales válvulas podrían abrir al mismo tiempo. Sin embargo la incertidumbre ocasionada durante una falla catastrófica impide que los ingenieros de proceso estén dispuestos a disminuir la cantidad de materia a considerar durante el fuego. Debido a que es prácticamente imposible controlar los flujos en los cabezales y por considerarlos el elemento estructuralmente más débil del sistema el sobrediseño se ve recargado a las tuberías y en la válvula.

Proponer un análisis riguroso asegura que los elementos finales para el SRP cumplan con los fines primarios de proveer un sistema de seguridad final de protección de personal y equipos empleando un mínimo costo de instalación mediante el ajuste de flujos a desalojar y reduciendo el diámetro de tuberías de descarga.

3.2 Planteamiento de los escenarios.

El aspecto más crítico del diseño del SRP es el desarrollo y definición de todas las posibles contingencias razonables o probables emergencias que puedan ocurrir en una instalación, basados en antecedentes históricos de plantas similares y de puntos de proceso



cuyo potencial de sobrepresionamiento demanden de un dispositivo de relevo. El diseñador del sistema debe tener la capacidad y experiencia necesaria para poder determinar cual de los eventos esperados es razonable para ocurrir y cual es virtualmente imposible de acuerdo a la arquitectura del proceso. Un escenario es la definición de un conjunto de acontecimientos, muy probables de ocurrir, que desemboquen en una situación de emergencia. Por ejemplo, un escenario sencillo contempla que los recipientes con un inventario considerable de líquidos inflamables son susceptibles a ser envueltos por las llamas y sobrepresionarse excesivamente. Para poder plantear un escenario se necesita recopilar información y ordenarla para tener los elementos necesarios para definir las situaciones probables.

3.2.1 Información básica de la planta.

Primero se debe reunir toda la información relacionada con los flujos normales y máximos esperados en cada parte del proceso así como las condiciones de temperatura y presión, la máxima presión de trabajo permisible de los equipos con potencial de presionamiento y sus características generales, la ubicación de tuberías relacionadas a los equipos y su localización dentro de la planta. Esta información se recopila de los siguientes documentos de ingeniería básica:

- Diagrama de flujo de proceso
- Balance de materia y energía
- Información complementaria
- Hojas de datos de equipos
- Diagramas de Tubería e Instrumentación
- Diagrama de Localización General de la planta
- Descripción del proceso^[5]

Estos documentos nos proporcionan la información básica necesaria para plantear los escenarios y dimensionar los dispositivos de relevo de presión. Se debe considerar de entrada que todos los recipientes sometidos a presiones superiores a 15 psig manométricas requieren un dispositivo de relevo de presión.



Tabla 3.1. Información básica. Información requerida para el dimensionamiento del sistema de relevo de presión.

Documento Ing. Básica	Información aportada	Indispensable para el SRP
Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)	Flujos normales. Equipos y sus dimensiones. Condiciones de Temperatura y Presión.	Antes de determinar el ajuste de la válvula es necesario conocer el flujo de materia en el proceso y las condiciones de operación normal del sistema: flujos, temperaturas, presiones, elementos de control, interconexión de equipos.
Descripción del Proceso	Flujo de material a través del proceso. Lazos de control. Equipos con potencial de sobrepresión.	Se requiere conocer a fondo el proceso, el control básico del proceso y los equipos con potencial de sobrepresión.
Balance de Materia y Energía (BME)	Flujos normales. Composición de las corrientes y Pesos moleculares. Condiciones de Temperatura y Presión.	Es necesario contar con la composición de cada punto de balance, su temperatura y presión, con el fin de reproducir las condiciones de los recipientes para posteriormente presionarlo.
Información Complementaria (IC)	Flujos máximos. Condiciones máximas de Temperatura y Presión.	En fallas como descarga bloqueada, falla de una válvula de control o reflujo es indispensable conocer el flujo máximo esperado en las líneas de transporte, mismo que corresponderá a la masa a relevar para el dimensionamiento de los dispositivos de relevo. La condición máxima de presión auxilia en la selección de la presión de ajuste.
Hojas de Datos de los Equipos	Temperatura y Presión de diseño. Dimensiones y niveles de líquido. Ubicación de Boquillas. Curvas de Operación de equipos neumáticos. Aislamiento.	En la etapa de diseño, la presión de diseño corresponde a la Máxima Presión Permissible de Trabajo (MAWP) que sirve para determinar la presión de ajuste. En el caso de fuego, se requiere conocer el nivel interno del líquido y la geometría del recipiente para determinar la superficie mojada. Para determinar la transferencia de calor durante un evento de fuego se necesita conocer el tipo de aislante o si el recipiente se encuentra desnudo.
Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI)	Altura de los recipientes al Nivel de Piso Terminado. Ubicación de boquillas. Niveles de líquido. Interconexión de equipos. Instrumentación y accesorios. Especificación de tuberías.	Establecer la ubicación del dispositivo de relevo de presión, ya sea en una boquilla del equipo o en una tubería asociada. En el caso de fuego se requiere conocer la altura de los recipientes y del líquido interno. Para el análisis de fallas por mal funcionamiento de una válvula de control y para escenarios de descarga bloqueada se requieren conocer los lazos de control, instrumentos y accesorios.
Plano de Localización General de Equipos (PLG)	Ubicación de los equipos. Interconexión de equipos. Densidad de equipos	Para determinar las zonas potenciales de fuego se requiere conocer la distribución de equipos, la densidad de equipos, así como la ubicación del rack de tuberías. Para determinar la apertura simultanea de las válvulas durante una emergencia se necesita conocer la distribución de las válvulas y la ubicación de los cabezales.



3.2.2 Lista de contingencias.

Como siguiente paso hay que desarrollar una lista de contingencias que muestren causas potenciales de sobrepresión en una unidad. Además de las emergencias comunes en la planta como falla de agua de enfriamiento o falla de energía uno debe considerar las contingencias especiales para cada unidad, como en el caso de reactores. La lista se divide en 2 categorías: la primera se refiere a emergencias generales que se pueden presentar en cualquier parte o en la totalidad de la planta y cuyos efectos pueden ocasionar la operación simultánea de las válvulas; la segunda se refiere a las emergencias simples o que comúnmente solo requieren de la operación de una válvula o serie de válvulas conectadas a un equipo para una sola falla.

3.2.3 Análisis individual de unidades.

El siguiente paso en el procedimiento de diseño es el análisis individual de unidades para determinar como reaccionara bajo condiciones de emergencia. Cualquier pieza anexa a los equipos que cuente con un inventario considerable de líquido durante una contingencia puede aportar una cantidad adicional de vapor durante un evento de fuego. En el caso de las tuberías que serán protegidas por expansión térmica no deben considerarse dentro de los escenarios a excepción de los tubos de los equipos de intercambio de calor.

Dentro del análisis individual existen 3 casos que se repiten comúnmente en recipientes de proceso, sin embargo se deben considerar todas las causas posibles que sean razonables de ocurrir.^{[2][13]}

- Desbalance en las entradas y salidas de calor: El caso clásico es la falla de agua de enfriamiento en los fraccionadores o separadores. Si el rehervidor continua operando durante la falla del condensador, la generación de vapor sobrepresiona el domo una torre rápidamente. Si los vapores del domo no se condensan, el acumulador recibirá un exceso de vapor que sobrepresionará sus paredes.
- Descarga bloqueada: El cierre o corte inadvertido en una línea del proceso siempre debe ser considerada. El caso más crítico ocurre cuando la salida de vapor de un separador es bloqueado, en este caso se debe proteger el domo y el compresor.



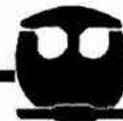
- Fuego: Las cargas de fuego son definidas por la acumulación de vapor generado por la aportación de calor al recipiente. Los cálculos son basados de acuerdo a la geometría y el aislamiento del recipiente. Regularmente se considera que el aislamiento no reduce la carga a relevar pero si logra retrasar el calentamiento. El diseñador puede aproximar la masa mediante los métodos API, sin embargo esta carga no debe considerarse como un valor absoluto, ya que durante el evento la transferencia no es uniforme y es muy difícil predecir exactamente como reaccionara el líquido dentro del recipiente durante la emergencia.

3.2.4 Selección del número de cabezales.

Una vez conocido los recipientes involucrados en el análisis hay que determinar el número de cabezales que transportaran y desalojaran los fluidos relevados. Generalmente se cuenta con tres tipos de cabezales para desalojar el material durante una emergencia, se trata de un cabezal de alta y uno de baja presión, además de uno para las descargas ácidas. Las presiones de las dos primeras son arbitrarias, no existe algún código o norma que dicte los niveles de presión para cada uno de estos; el ingeniero de proceso se encarga de determinar los valores de presión de acuerdo a las buenas prácticas de ingeniería, así como la elección de las válvulas que descargan a cada uno de estos. La máxima presión que soportan los equipos puede auxiliar al ingeniero en la selección de los niveles de presión para el cabezal de alta y baja presión.

3.2.5 Dispositivos de relevo.

Una vez conocido los requerimientos a relevar para cada unidad y para todas las contingencias posibles, así como el número de cabezales dispuestos en la planta, se deben seleccionar los dispositivos de relevo necesarios para cada unidad. En algunos casos se requiere la combinación de una válvula y un disco de ruptura para servicios ácidos. En el caso de seleccionar válvulas de relevo de presión se debe de escoger aquella que cumpla con el criterio de contrapresión en el cabezal; recordando que las válvulas convencionales



se seleccionan para soportar una contrapresión máxima de 10% de la presión de ajuste y las balanceadas un 30% (asegurándose así el buen funcionamiento del sistema).

3.2.6 Dimensionamiento de la válvula de relevo.

El mayor flujo esperado para un equipo, la contrapresión del cabezal y el valor de presión de ajuste determinaran el tamaño de la válvula. Comúnmente se emplea el método API descrito en el capítulo II de esta tesis, sin embargo existen proveedores que proporcionan catálogos para el dimensionamiento, en estos se encuentran reportados los factores de corrección por contrapresión, descarga y viscosidad específicamente para sus válvulas. En caso de un cálculo preliminar se requiere emplear el API 520^[37] y posteriormente recalcular el orificio incorporando los factores proporcionados por el catálogo del fabricante. Es importante mencionar que la introducción de estos valores no afectara significativamente el área determinada, por lo que el orificio seleccionado por este método es confiable.

Los valores para las propiedades termodinámicas deben determinarse a las condiciones de la presión de relevo considerando además el flujo máximo (de información complementaria) en los casos de descarga bloqueada. En algunos casos no es posible contar con un simulador de procesos para efectuar la simulación de estas propiedades, por lo que se pueden emplear los valores presentados en el balance tomando en cuenta que el valor de PM puede variar significativamente. El valor de temperatura puede ser determinado de forma conservadora con la ley del gas ideal, sin embargo no es adecuado en el caso fuego.

3.2.7 Riesgo mayor.

El riesgo mayor es el escenario que cuenta con los requerimientos de relevo mayores, por lo que demanda la mayor cantidad de recursos humanos y materiales en caso de siniestros. El dimensionamiento de cada uno de los cabezales y ramales es gobernado en gran medida por el riesgo mayor.^[3]



3.2.8 Apertura simultanea durante una falla.

Una vez dimensionadas las válvulas y determinados los requerimientos de relevo para todas las contingencias posibles se debe determinar el máximo flujo a desalojar por cada sistema de tuberías. Es importante considerar que durante una falla de aire de instrumentos, agua de enfriamiento, energía eléctrica o fuego algunas válvulas accionaran simultáneamente y es necesario diseñar el sistema de tuberías para desalojar de forma eficiente los fluidos y no contrapresionar el cabezal. Si el cabezal no considera la simultaneidad de descargas, el fluido con la mayor presión de ajuste presionara la descarga de las demás impidiendo la apertura. Con ayuda de la lista de contingencias y el Plano de Localización General de Equipos se pueden apreciar las válvulas que abrirán simultáneamente; en el caso de un incendio, se trazan las áreas de fuego de acuerdo al API 520^[37].

3.2.9 Zonas de fuego.

Con ayuda de la lista de contingencias y el PLG se puede apreciar el detalle de la descarga de las válvulas; se recomienda trazar con lápices de colores las posibles trayectorias de los cabezales de acuerdo al rack de tuberías y señalar los dispositivos de relevo de cada unidad. De esta forma al considerar las Zonas de fuego se apreciara con mayor detalle las válvulas que accionaran simultáneamente. Las zonas se determinan mediante los criterios descritos en el API 520 y de acuerdo a la densidad de equipo puede ser de 2500 o 5000 ft² radial. Los sardineles dispuestos en algunos equipos como tanques de almacenamiento controlan la extensión de esta zona, por lo que durante una contingencia no se requerirán considerar la apertura de otras. Los requerimientos de relevo serán iguales a la suma algebraica de las masas a relevar por las válvulas contenidas dentro de estas áreas.

3.2.10 Resumen de requerimientos de relevo.

Se genera una lista de todas las válvulas dimensionadas con sus condiciones de operación y dimensiones finales. De esta forma se visualizan todas las fallas, requerimientos de relevo y condiciones de forma fácil y rápida.



Tabla 3.1 Lista de contingencia. Se enlistan los requerimientos de relevo para cada unidad de acuerdo a emergencias individuales o generales para conocer el riesgo mayor.

Número de Válvula	Equipo o línea a proteger	Presión de ajuste	Máxima contra presión	Emergencias generales lb/h					Emergencias individuales lb/h				
		PSIG	PSIG	Energía Elec..	Agua de Enf.	Aire de Instr.	Fuego	Otra	Descarga bloqueada	Reflujo	Agua de Enf. local	Fuego local	Otra
Cabezal de alta presión.													
PSV-01													
Cabezal de baja presión.													
PSV-02													
Cabezal ácido.													
PSV-n													

Tabla 3.2 Resumen de válvulas de relevo. De forma práctica se enlistan los resultados en este tipo de tablas.

Clave	Equipo o línea a proteger	Dimensión de la válvula	Orificio	Operación Normal			Condiciones de Relevo			Contingencias								
		Entrada/Salida		Temperatura	Fase	Presión	Temperatura	PM ó Sg.	Presión	Descarga máxima	Fuego	Descarga bloqueada	Expansión Térmica	Falla de E. Eléctrica	Otros			
		in x in	in	°C	V/L	Kg/cm ²	°C		Kg/cm ²	Kg/h ó LPM								
Cabezal de alta presión.																		
PSV-01																		
Cabezal de baja presión.																		
PSV-02																		
Cabezal ácido.																		
PSV-n																		



3.2.11 Dimensionamiento de cabezal y quemador.

Una vez dimensionadas las válvulas y calculados los requerimientos para cada contingencia, el quemador y el sistema de tuberías es calculado mediante las prácticas API 521^[41] o por la NRF-032-PEMEX.^[46]

El cálculo se basa en las pérdidas de presión que sufre el fluido al pasar primero por la garganta de la válvula, posteriormente por las expansiones localizadas comúnmente a la descarga de la válvula, el ramal y finalmente el cabezal. Los recipientes están diseñados para evitar una caída excesiva de presión por lo que no se consideran aportaciones en las pérdidas de presión a lo largo del cabezal. El cabezal y ramales son dimensionados de acuerdo con las contrapresiones desarrolladas durante la descarga. Cuando una o más válvulas abren la contrapresión constante es afectada por el fluido y incrementando la presión del lado de la descarga. El diseño debe ser adecuado para que la expansión del fluido caiga por debajo de la máxima contrapresión esperada que es de 30% de la presión de ajuste para válvulas balanceadas y 10% de la presión de ajuste para las convencionales. Para este cálculo se requiere conocer las propiedades como temperatura, presión, peso molecular en cada punto de la tubería.

3.2.12 Tanque separador Knock Out y de Sello.

El tanque separador conocido comúnmente como Knock Out es requerido a la base del quemador para coleccionar cualquier cantidad de líquido arrastrado por los vapores que van al quemador. Comúnmente el líquido se inyecta nuevamente a un punto del proceso. El sello evita el retroceso de la flama o que el aire entre al sistema provocando una mezcla explosiva. El gas de barrido asegura que el sistema de tuberías siempre tendrá una presión suficiente para tener encendido el quemador.



3.3 Simulador dinámico.

Para determinar los equilibrios dentro de los escenarios desde la operación normal hasta el depresionamiento necesitamos emplear un simulador de procesos comercial, debido a que la cantidad de cálculos requeridos para resolver las ecuaciones planteadas en el capítulo II no nos permiten la flexibilidad de realizar los cálculos mediante una hoja de cálculo u otro método; además este tipo de programas especializados cuentan con módulos desatinados a estos estudios que nos permitirán seleccionar acercamientos muy pequeños para alcanzar la convergencia de los balances.

Simuladores de procesos como Aspen Plus y HYSYS cuentan con un módulo de depresurización dinámico, el cual efectúa un cálculo pseudodinámico basado en una serie de cálculos a régimen permanente. La librería de depresurización realiza cálculos dependientes del tiempo de manera apropiada evaluando un modelo empírico polinomial en intervalos muy pequeños. Para dicho fin describo a continuación el manejo del simulador HYSYS versión 3.1 como herramienta para el cálculo de los sistemas de relevo de presión.

Escogí dicho simulador por su facilidad de manejo, la disponibilidad de la licencia y su capacidad para simular la depresurización dinámica de un gas, de contenedores gas-líquido, de tuberías y de sistemas con varios contenedores conectados. Cabe mencionar que el módulo descrito a continuación no aparece explicado dentro de los manuales comerciales, solamente se presenta una breve introducción sin explicar a fondo las ecuaciones y las consideraciones tomadas como valores por defecto.

3.4 Módulo de depresurización en HYSYS.

La utilidad de depresurización puede ser agregada a cualquier corriente dentro de la simulación de forma directa mediante la opción "Utilities" dentro del menú "Tools"; el módulo llamado "Depressuring - Dynamics" es seleccionado y adherido a la simulación oprimiendo el botón "Add Utility".



3.4.1 Conexiones.

La pestaña “Design” contiene 7 páginas de información que deben ser llenadas para el análisis. En la primera, llamada “Connections”, se escoge la o las corrientes que representen el fluido que se desea usar como fuente para la depresurización. En el caso de recipientes la corriente será la de alimentación y no se emplearan las salidas. Adjuntar la corriente a la utilidad, se consigue seleccionando el número de corriente en el apartado de “Inlets”.

Figura 3.6 Parámetros del tanque. Se requiere conocer la geometría del tanque, el nivel del líquido y la posición para inicializar el módulo.

The screenshot shows the 'Design' tab in HYSYS. The 'Connections' section is active, displaying a list of 'Inlets' with a dropdown menu set to '1'. A callout bubble points to the dropdown with the text 'Oprime la flecha para seleccionar la corriente de entrada.' The 'Vessel Parameters' section is also visible, showing various geometric and volume parameters.

Vessel Parameters	
Flat End Vessel Volume [ft3]	5.521
Height [ft]	4.500
Diameter [ft]	1.250
Initial Liquid Volume [ft3]	1.450

Heat Transfer Areas	
Cylindrical Area [ft2]	17.67
Top Head Area [ft2]	1.227
Bottom Head Area [ft2]	1.227

Correction Factors	
Metal Mass in Contact with Vapour	<none>
Metal Mass in Contact with Liquid	<none>

3.4.1.1 Parámetros del tanque (Connections).

La geometría del tanque debe ser conocida e introducida dentro de los campos apropiados (“Height” y “Diameter”). Si el tamaño del tanque es desconocido, entonces la utilidad de dimensionamiento de tanques de HYSYS estimara los parámetros necesarios y llenara automáticamente los campos.

El volumen inicial de líquido (“Initial Liquid Volume”) es normalmente calculado como el nivel normal de líquido (N.N.). Las tapas del tanque no son tomadas en consideración,



únicamente el líquido en la porción cilíndrica se empleara para determinar el volumen del tanque. Con la finalidad de tomar en cuenta las contribuciones de volumen de las tapas o la tubería, una pequeña cantidad a la altura o la longitud del tanque debe ser agregada. Si la corriente de alimentación es a 2 fases, la composición de equilibrio del líquido será calculada. Si no se especifica un volumen inicial de líquido, HYSYS tomará un volumen igual al del flujo volumétrico de la corriente en una hora de alimentación (esto podría ser desproporcionado al volumen total del tanque).

Si las condiciones a la salida del sistema son tales que el vapor se encuentre sobrecalentado, HYSYS no permitirá líquido en el tanque. Las condiciones de salida y volúmenes para fuentes mixtas son calculadas en una base de entalpía, volumen y masa constantes. Los factores de corrección permiten ajustes a la cantidad de metal en contacto con el vapor sobrecalentado. Dichos factores pueden también ser empleados para tomar en cuenta boquillas adicionales o tuberías asociadas.

3.4.2 Configuración del informe de resultados (Config. Strip Charts).

Cuando la utilidad de depresurización finalmente procesa la información los resultados son guardados en las tablas definidas dentro de la página "Configure Strip Charts". Tres tablas por default son generadas para agrupar los perfiles de presión y temperatura, cada una de estas proporcionará el historial de los datos necesarios para obtener una gráfica de propiedad en función del tiempo.

Es posible remover las variables que no se deseen en cada una de las tablas, simplemente deseleccionándolas del cuadro de dialogo. También se pueden agregar otras tablas mediante el botón "Add Variable", posteriormente se selecciona la lista de variables con un clic en el cuadro de dialogo. Cualquier modificación a las tablas de información se deberá realizar antes de correr la utilidad, de otra manera cualquier variable nueva no será almacenada.



$$Q = C_1 + C_2 \times time + C_3(C_4 - T_{VESSEL}) + C_5 \times \frac{LiquidVolume_{time=t}}{LiquidVolume_{time=0}} \quad (3.1)$$

La ecuación anterior puede también ser empleada para simular la depresurización de tuberías submarinas donde la transferencia de calor ocurre entre el agua de mar y las líneas de transferencia. Puede modelarse la transferencia de calor mediante la ecuación tradicional de calor:

$$Q = UA(\Delta T) \quad (3.2)$$

Para esto, se necesita que el valor de la expresión UA se introduzca en el campo de C₃, T₁ en C₄, y C₁, C₂ y C₅ serán iguales a cero, de esta forma los usuarios expertos tendrán la oportunidad de introducir los valores más convenientes para aproximarse al calor real.

Figura 3.8 Parámetros de flujo de calor para fuego. Se modela el calor mediante una ecuación polinomial.

Heat Flux Parameters	
Operating Mode	Fire
C1	0.0000
C2	0.0000
C3	<empty>
C4	<empty>
C5	0.0000

Fire Equation:
 $Q = C1 + C2 \cdot Time + C3 \cdot (C4 - Vessel Temp) + C5 \cdot LiqVol(time=t) / LiqVol(time=0)$

Equation Units:

3.4.3.2 Fuego sobre superficies húmedas (Fire Wetted).

Usa parámetros de transferencia de calor similares a los usados en el modo “Fuego”. Se deben especificar tres coeficientes: C₁, C₂ y C₃. La ecuación usada en HYSYS es una extensión de la ecuación del estándar API para el flujo de calor de las paredes del recipiente al líquido contenido en un tanque. Para calcular la transferencia de calor se requiere especificar el área de la superficie húmeda como fue descrito en el capítulo II.

La cantidad de calor absorbida por un tanque expuesto a fuego abierto es afectada por:

- El tipo de combustible que alimenta el fuego.



- El grado al que el tanque se encuentra envuelto por la llamas (función de tamaño y forma).
- Cualquier inflamabilidad en el tanque.

Las siguientes ecuaciones se encuentran basadas en condiciones donde existe respuesta rápida al fuego (sistemas de mitigación) y drenado de materiales flamables a la lejanía del tanque.

$$Q = 21000FA^{0.82} \tag{3.3}$$

Donde:

- Q : Absorción de calor total en la superficie mojada, en Btu/h
- F : Factor ambiental. Tabla 2.9 Capítulo II.
- A : Superficie mojada total, en ft².

El área de la superficie mojada por el líquido interno determina la generación de vapor cuando el exterior del tanque se encuentra expuesto al fuego. Para determinar este valor se utilizan los procedimientos descritos en el capítulo II.

Figura 3.9 Parámetros de flujo de calor considerando el área mojada. Se modela el calor mediante una variante de la ecuación de transferencia propuesta por el API^[41].

Heat Flux Parameters	
Operating Mode	Fire Wetted
C1	2.100e+004
C2	0.8200
C3	1.000
Initial Wetted Area [ft2]	<empty>

Fire Wetted Equation:
 $Q = C1 * (Wetted Area (time=t))^{C2}$
 Wetted Area (time=t) = Wetted Area (time=0) *
 $(1 - C3 * (1 - LiqVol (time=t) / LiqVol (time=0)))$
 Equation Units: Btu/hr

La ecuación HYSYS es una extensión de la del API. Por tanto, en unidades de campo, C₁ será 21000 multiplicado por el factor ambiental F y C₂ será 0.82. (En la mayoría de los casos, C₁ será igual a 21000).

$$Q = C_1 \times (WettedArea_{time=t})^{C_2} \tag{3.4}$$

El área de la superficie mojada al tiempo t es definida por la siguiente ecuación:



$$WettedArea_{time=t} = WettedArea_{time=0} \times C_3 \times \left(1 - \frac{LiquidVolume_{time=t}}{LiquidVolume_{time=0}} \right) \quad (3.5)$$

Si un valor de C_3 igual a 0 es usado, el área mojada inicial es usada a lo largo de todos los cálculos, representando así el peor escenario. Alternativamente, si se emplea un valor para C_3 de 1, el área variaría proporcionalmente con el volumen de líquido, lo cual sería más conveniente para un tanque vertical.

La ecuación de depresurización para transferencia de calor tiene un error en este módulo cuando se utilizan unidades inglesas, en lugar de usar el coeficiente normal API de 21000 para C_1 deberá ser multiplicado por 7 para corregir el error. A causa de este defecto, las siguientes ecuaciones deben ser aplicadas:

Ecuación API	Unidades de Q	Área	
$Q = 147000FA^{0.82}$	BTU/h	ft ²	(3.6)

$Q = 155201FA^{0.82}$	KJ/h	m ²	(3.7)
-----------------------	------	----------------	-------

$Q = 43.116FA^{0.82}$	KJ/s	m ²	(3.8)
-----------------------	------	----------------	-------

3.4.3.3 Modo alternativo de fuego (Alternative Fire).

Usa la constante de boltzman para tomar en cuenta el calor por radiación, convección forzada, temperatura de flama y temperatura ambiente. El método puede ser considerado como una alternativa al método API estándar.

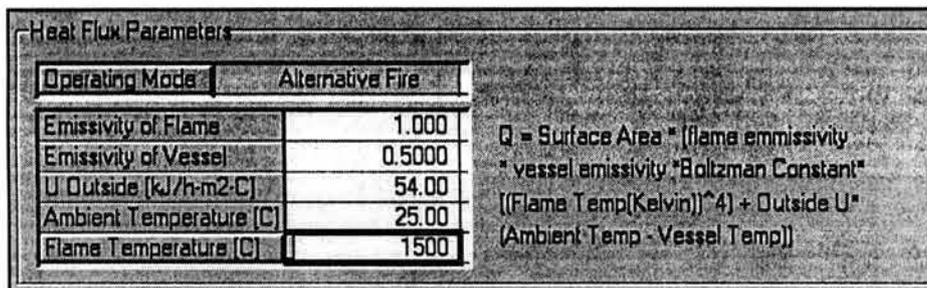
$$Q = A_{total} \times (\epsilon_f \times \epsilon_v \times k((T_f + 273.15)^4 - (T_v + 273.15)^4) + outsideU \times (T_{amb} - T_v))$$

Donde:

- A_{total} Área mojada total.
- ϵ_f Emisividad de flama. Generalmente varia de 0.2 a 0.5 para hidrocarburos pesados ardiendo.
- ϵ_v Emisividad del contenedor. Generalmente varia de 0.5 a 1 (para metal pulido).
- k Constante de Boltzman. Igual a $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.
- T_f Temperatura de flama. 1500 K y superiores.
- T_v Temperatura de tanque.
- outside U Transferencia de calor convectiva entre el tanque y el aire.
- T_{amb} Temperatura ambiente del aire.



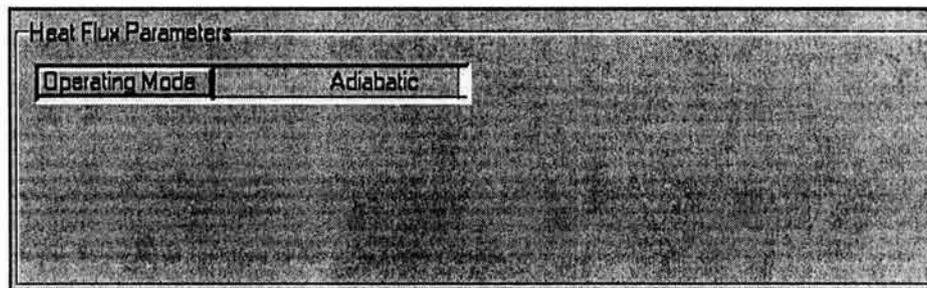
Figura 3.10 Parámetros de flujo de calor para una ecuación alternativa. Este modelo contempla la emisividad del líquido y el contenedor, la transferencia convectiva y las pérdidas de calor con el ambiente.



3.4.3.4 Modo adiabático (Adiabatic).

Es utilizado para simular el depresionamiento de tanques o tuberías en ausencia de una fuente de calor externo, por tanto, no se requiere introducir parámetros en esta sección. El flujo de calor entre la pared del taque y la caída de temperatura del fluido es modelado únicamente por efectos termodinámicos presentes en los vapores internos. Un uso típico de este modo es la depresurización de ciclos de compresores en paros de emergencia.

Figura 3.11 Parámetros de flujo de calor en modo Adiabático. No se requiere especificar ningún parámetro.

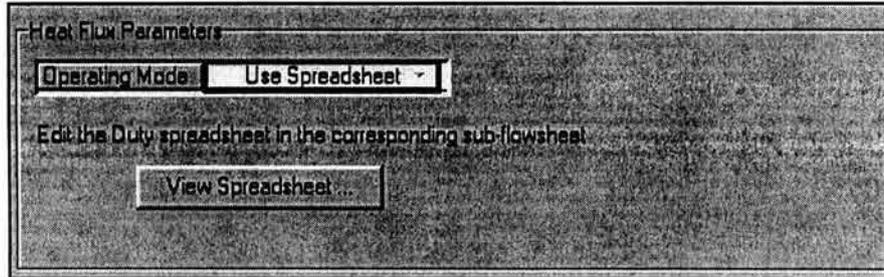


3.4.3.5 Usuario Avanzado (Spreadsheet).

Es una opción que permite al usuario acceder al motor interno de la utilidad (solo para usuarios avanzados). Los valores pueden ser alterados en esta hoja que utiliza el mismo lenguaje de programación que Excel, adicionalmente se pueden sustituir los modelos anteriormente seleccionados por otro tipo de expresiones que puedan representar la transferencia, como sería el caso del modelado de una reacción química.



Figura 3.12 Parámetros de flujo de calor modo avanzado. Se accede directamente a la hoja de cálculos interna del simulador para alimentar un modelo diferente a los anteriores.



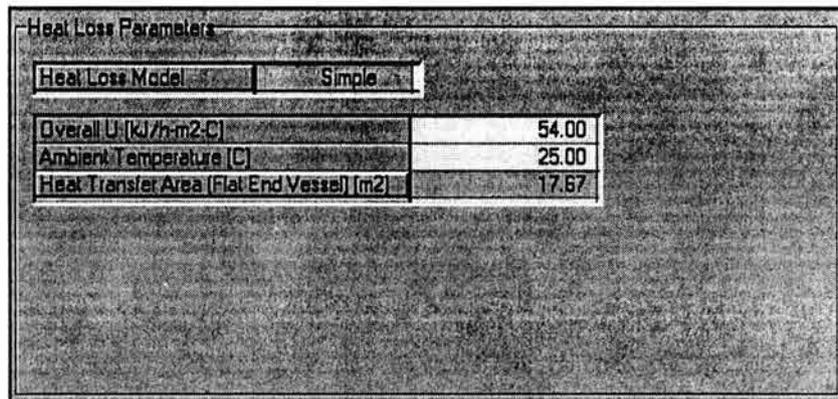
3.4.3.6 Parámetros de pérdida de calor (Heat Loss Model).

Para acercarse más al fenómeno real HYSYS incorpora tres tipos de modelos de pérdida de calor:

- **Ninguno:** no toma en cuenta pérdidas de calor.
- **Simple:** Permite al usuario especificar directamente la pérdida de calor o hacer que se calcule de valores específicos.
- **Detallada:** Permite al usuario especificar un más detallado arreglo de parámetros de pérdida de calor.
- **General:**

3.4.3.6.1 Modelo Simple.

Figura 3.13 Perdida de calor simple. Se requiere especificar un coeficiente de transferencia global para expresar la perdida y conocer la temperatura ambiente.





Se emplea un coeficiente global de transferencia “U” para modelar la pérdida de calor. El área de transferencia de calor corresponde al cilindro del recipiente y es calculado usando las dimensiones del tanque especificadas en la página "Conexiones". La pérdida de calor, es calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = UA(T_{fluid} - T_{ambient}) \quad (3.7)$$

3.4.3.6.2 Modelo Detallado.

La carga puede ser aplicada a la pared del tanque o directamente al fluido. La primera sería usada para modelar un incendio y la segunda para un calentador. Existen 4 secciones del modelo a ser ajustadas: general, conducción, convección y constantes de correlación.

Figura 3.13 Pérdida de calor detallada. Permite introducir los valores de conducción, convección y otros factores más específicos.

	Vapour	Liquid Phases	
Recycle Efficiency (%)	100.00	100.00	100.00
Ambient Temperature (C)	25.00		

3.4.3.6.3 Modelo General.

La sección general permite al usuario manipular las “eficiencias de reciclaje” para la fase vapor y dos fases líquidas, además de la temperatura ambiente. El valor por default para las tres eficiencias de reciclaje es 100%. Esto significa que todo el material ha sido vaporizado conjuntamente y se encuentra en equilibrio termodinámico. Si las eficiencias de reciclaje fueran reducidas, una porción del material no sería considerada para el cálculo de vaporización y el vapor y el líquido no alcanzarían instantáneamente el equilibrio. En este



caso, las fases podrían tener diferentes temperaturas. Desafortunadamente, no existe ningún número típico sugerido para estos parámetros. La mejor opción en tal caso sería calcular varios escenarios y observar sus resultados.

3.4.3.6.4 Parámetros de Conducción.

Los parámetros de conducción permiten al usuario manipular las propiedades de conducción de la pared y del aislante. El espesor de la pared de metal debe de tener siempre un valor finito. Para modelar un contenedor sin aislamiento, el valor de espesor del aislante debe ser cero. También se requiere que el usuario proporcione la capacidad calorífica, la densidad y la conductividad de los materiales

Figura 3.15 Parámetros de conducción. Considera el fenómeno de transferencia entre el líquido y las paredes del recipiente.

	Metal	Insulation
Thickness (mm)	10.00	30.00
Specific Heat Capacity (kJ/kg·C)	0.4730	0.8200
Density (kg/m ³)	7801	520.0
Conductivity (W/m·K)	45.00	0.1500

Tabla 3.3 Valores típicos de conductividad de materiales.

Metal	Densidad	Calor Específico	Conductividad Térmica
	kg/m ³	kJ/kg K	W/m K
Acero templado	7860	0.420	63
Acero inoxidable	7930	0.510	150
Aluminio	2710	0.913	201
Titanio	4540	0.523	23
Cobre	8930	0.385	385
Latón	8500	0.370	110



3.4.3.6.5 Parámetros de Convección.

La sección de convección permite a los usuarios manipular los coeficientes de transferencia de calor para el interior y el exterior del tanque así como entre el vapor y el líquido dentro del mismo.

Para emplear valores del coeficiente global de transferencia "U", la opción "Use Fixed U" debe ser seleccionada. Si los valores de U son desconocidos, el usuario puede presionar el botón "Estimate Coefficients Now" y hacer que HYSYS determine dichos valores. Para hacer que el simulador ajuste los valores de U a través del escenario de depresurización, seleccione el valor "Continually Update U".

Figura 3.15 Parámetros de convección. Considera el fenómeno de transferencia entre el recipiente y el ambiente.

Heat Loss Parameters	
Heat Loss Model	Detailed
<input type="checkbox"/> Apply Duty Stream to Outside Wall	
<input type="radio"/> General <input type="radio"/> Conduction <input checked="" type="radio"/> Convection <input type="radio"/> Correlation Constants	
Total Heat Transfer Area:	20.12 m ²
<input type="button" value="Estimate Coefficients Now"/>	
<input checked="" type="radio"/> Use Fixed U <input type="radio"/> Continually Update U	
Inside Vap Phase [kJ/h-m ² -C]	97.40
Inside Liq Phase [kJ/h-m ² -C]	125.2
Outside U [kJ/h-m ² -C]	4.264
Vapour to Liquid [kJ/h-m ² -C]	1.051e-076

3.4.3.6.6 Coeficientes de correlación.

Esta opción proporciona al usuario la oportunidad de manipular los coeficientes utilizados en la correlación de transferencia de calor. Seleccionando "Use Specified Constants", el usuario puede introducir manualmente las constantes utilizadas en dichas correlaciones. La ecuación que determina el coeficiente de calor externo para aire es:

$$h = C \times \left(\frac{\Delta T}{length} \right)^m \quad (3.7)$$

La ecuación usada para las otras tres correlaciones es:

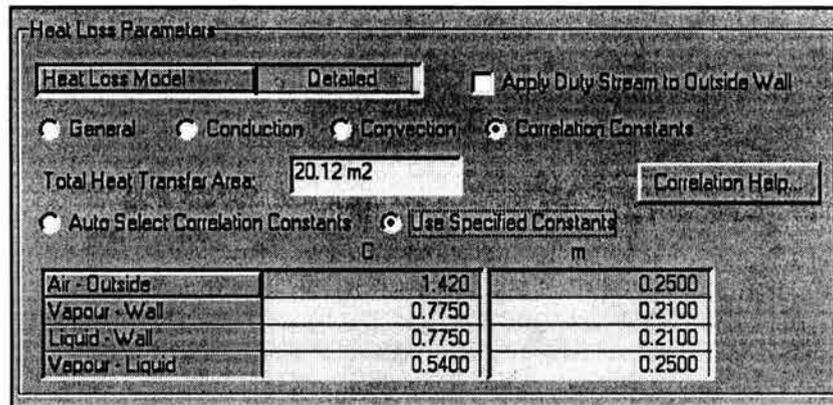
$$Nu = C \times (Gr \times Pr)^m \quad (3.8)$$



Donde:

- Nu : Número de Nusselt
- Gr : Número de Grashof
- Pr : Número de Prandtl

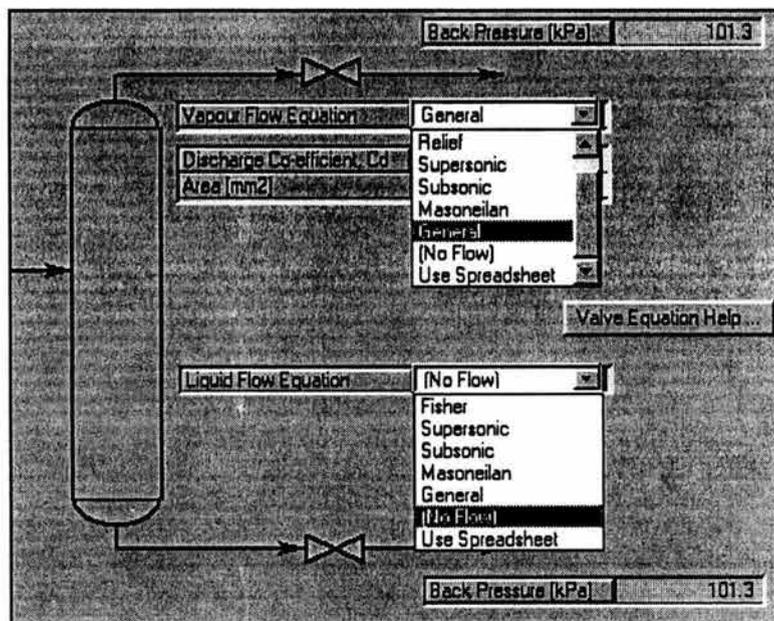
Figura 3.16 Coeficientes de correlación. Permite ajustar de forma manual los coeficientes de correlación para las ecuaciones de transferencia.



3.4.4 Parámetros de la válvula (Valve Parameters).

La página “Valve Parameters” permite al usuario seleccionar el tipo de válvulas que serán usadas para ambos servicios: vapor y líquido.

Figura 3.18 Parámetros de la válvula. Se especifican los parámetros y el tipo de válvula para los servicios de relevo líquido y vapor.



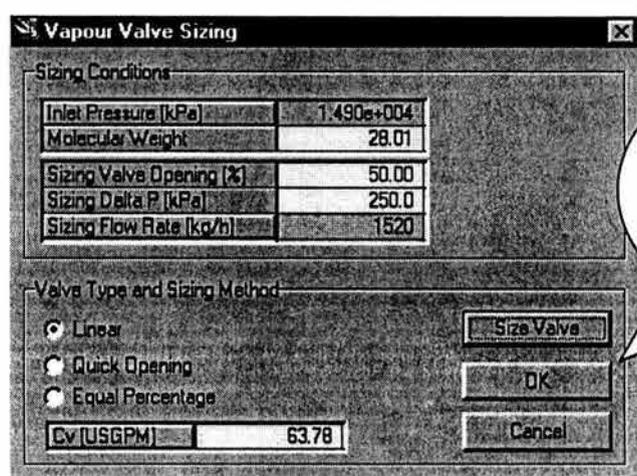


En la mayoría de los casos, cualquiera de las dos, la Fisher o la válvula de relevo deberán ser usadas para el dimensionamiento de la válvula. Sus ecuaciones son más avanzadas que algunas de las otras y pueden manejar automáticamente condiciones de extrangulamiento. Los siete tipos de válvulas disponibles se describen en las siguientes secciones.

3.4.4.1 Válvula tipo Fisher (Fisher).

La opción Fisher es la opción de válvula estándar en HYSYS. Esta le permite al usuario especificar el coeficiente de descarga (C_v) de la válvula y su porcentaje de apertura. Presionando el botón "Size Valve", la válvula puede ser dimensionada automáticamente para un flujo dado.

Figura 3.19 Válvula Fisher. Se conoce el C_v , el tipo de válvula y el porcentaje de apertura.



3.4.4.2 Válvula de relevo.

En la opción válvula de relevo de HYSYS el usuario puede especificar el área o diámetro de orificio, presión de relevo y presión a apertura total. También se requiere que el usuario especifique un coeficiente de descarga del orificio, para un cálculo preliminar este valor es uno. En el caso específico de esta tesis se emplear esta opción para determinar el área del orificio de la válvula para posteriormente compararla con las obtenidas de forma tradicional. Este módulo no presenta los valores para el coeficiente C y de los parámetros K_d , K_b y K_c .



Figura 3.19 Válvula de relevo. Solo requiere el orificio de la válvula de acuerdo y los niveles de presión.

Vapour Flow Equation	Relief
Orifice Area (mm ²)	2.500
Orifice Diameter (mm)	1.784
Discharge Coefficient	1.000
Set Pressure (kPa)	200.0
Full Open Pressure (kPa)	300.0

3.4.4.3 Válvula para flujo Supersónico.

La ecuación de válvula supersónica puede ser empleada para modelar sistemas donde no se dispone de información detallada de la válvula. El coeficiente de descarga (C_d) deberá tener un valor entre 0.7 a 1.0. P_1 se refiere a la presión corriente arriba y ρ_1 a la densidad.

$$F = C_d \times A \times (P_1 \times \rho_1)^{0.5} \quad (3.9)$$

Figura 3.19 Válvula para flujo supersónico. Emplea un modelo más sencillo y solo necesita el coeficiente de descarga

Vapour Flow Equation	Supersonic
Discharge Co-efficient, Cd	0.5000
Area (mm ²)	0.8000

3.4.4.4 Válvula para flujo Subsónico.

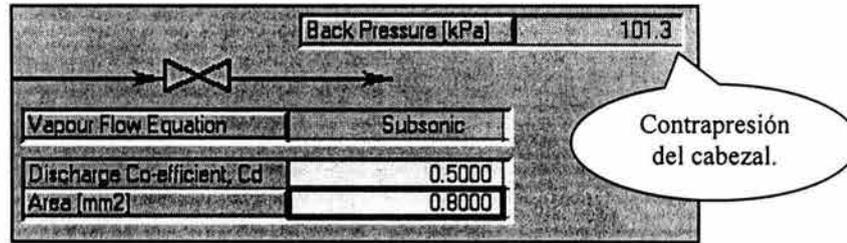
La ecuación de válvula subsónica puede también ser empleada para modelar sistemas donde no se dispone de información detallada de la válvula en condiciones de flujo subcrítico. Esto puede ocurrir cuando la presión corriente arriba de la válvula es dos veces menor a la contrapresión. El coeficiente de descarga (C_d) se encuentra entre 0 y 1. El área (A) deberá tener un valor entre 0.7 a 1. P_1 se refiere a la presión corriente arriba y ρ_1 a la densidad.

$$F = C_d \times A \times \left(\frac{(P_1 + P_{back}) \times (P_1 - P_{back})}{P_1} \rho_1 \right)^{0.5} \quad (3.9)$$

Normalmente los cabezales de descarga se llenan de un gas de barrido con una presión muy baja propiciando que no se llegue a la condición subsónica.



Figura 3.19 Válvula para flujo subsónico. Emplea un modelo más sencillo y solo necesita el coeficiente de descarga



3.4.4.5 Válvula tipo Masoneilan.

Esta ecuación fue tomada del catálogo Masoneilan. Puede ser usada para válvulas de depresurización a quemadores. Cuando esta opción es seleccionada, el usuario debe especificar C_v y C_f . Los parámetros restantes en la ecuación son colocados por la utilidad de depresurización.

$$F = C_1 \times C_v \times C_f \times Y_f \times (P_1 \times \rho_1)^{0.5} \quad (3.9)$$

Donde:

- C_1 : 38.86 en unidades inglesas y 1.6663 en sistema internacional
- C_v : Coeficiente de la válvula. Se obtiene de los catalogos del fabricante.
- C_f : Factor de flujo crítico.
- Y_f : $y - 0.148y^3$
- y : Factor de expansión.
- P_1 : Presión corriente arriba.
- ρ_1 : Densidad corriente arriba.

3.4.4.6 Válvula estándar.

La ecuación general de válvulas esta basada en la ecuación utilizada para calcular flujo critico a través de boquillas como se muestra en Perry's Chemical Engineers' Handbook. Debe ser usada cuando el área de garganta de la válvula es conocida. Esta ecuación hace ciertas suposiciones limitantes concernientes a las características del orificio.

$$F = C_d \times A_v \times K_{term} \times (g_c \times P_1 \times \rho_1 \times k)^{0.5} \quad (3.9)$$

Donde:

- C_d : Coeficiente de descarga.
- A_v : Área transversal de garganta.
- K_{term} : $\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k+1)}}$
- k : Relación de calores específicos (C_p/C_v).
- P_1 : Presión corriente arriba.
- ρ_1 : Densidad corriente arriba.



3.4.4.7 Válvula Sin flujo.

Esta opción indica que no hay flujo a través de la válvula.

3.4.4.8 Válvula Modo experto.

Recomendado únicamente para usuarios avanzados, esta opción permite al usuario ajustar la ecuación de la válvula editando la hoja de cálculo que se encuentra en “Depressuring sub-flowsheet”. Se puede adicionar otra forma para calcular las características de la válvula empleando el lenguaje de Excel.

Figura 3.19 Válvula en modo avanzado. Únicamente para modificar las ecuaciones anteriores o introducir otra alternativa.

Vapour Flow Equation Use Spreadsheet

Edit the VapourFlowRate spreadsheet in the corresponding sub-flowsheet

View Spreadsheet...

	A	B	C	D
1	Vessel Pressure:	1.490e+004 kPa	Area, Cd or C1:	0.7000
2	Back Pressure:	101.3 kPa	C2:	0.5000
3	Mass Density:	173.7 kg/m3	Cv, Cf or Area:	3.166e-005
4	Molar Cp:	35.97 kJ/kgmole-C	Cf or conversion:	1.000
5				
6	Equation:	Mass Flow	Contribution (0-1):	
7	Supersonic:	4059	0.0000	
8	Subsonic:	4059	0.0000	
9	Masonellan:	3.566e-002	0.0000	
10	General:	2843	1.000	
11				
12	ACTUAL MASS FL	0.0000 kg/h	(will be exported)	
13				
14	Unit conversion:	3600		
15	Start flow at:	1.000 seconds		
16	Integrator time:	0.0000 seconds	0.0000	
17				
18				
19				
20	Masonellan yterm	1.624		
21	Masonellan yf	1.000		
22				
23	General kappa	1.495 kPa		
24	General kterm	0.5728		
25				
26				
27				

Emplea el modo avanzado para modificar el motor de cálculo de los modelos de las válvulas.

3.4.4.9 Coeficiente de descarga.

Cuando la válvula de relevo, supersónica, subsónica o general es seleccionada, el usuario debe especificar un coeficiente de descarga. Este factor de corrección es para el efecto de vena contracta. Los valores varían de 0.6 a 0.7. Para despreciar este efecto y para

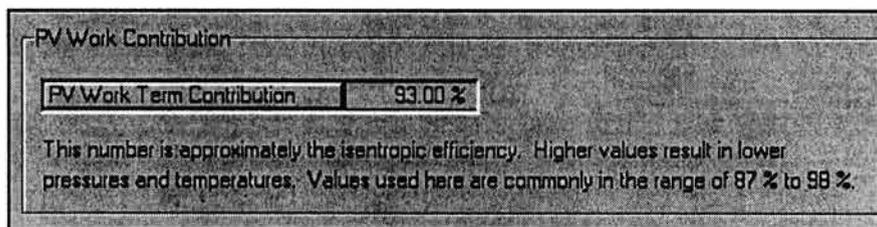


cálculos preliminares dicho coeficiente es 1.0; en caso de tener una válvula instalada se obtendrá de la literatura del fabricante para considerar la operación real.

3.4.5 Opciones (Options).

"PV Work Term Contribution" se refiere a la eficiencia isoentrópica del proceso. Un proceso reversible debe poseer un valor de 100% y uno isoentálpico de 0%. Para sistemas gaseosos, los valores varían de 87% a 98%. Para sistemas líquidos de 40% a 70%. Una mayor eficiencia isoentrópica resulta en temperaturas finales menores.

Figura 3.20 Eficiencia del proceso.

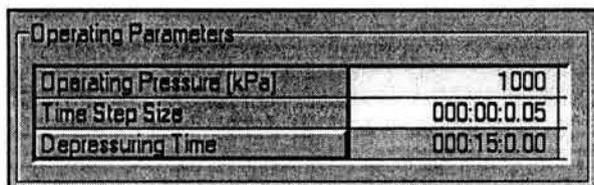


3.4.6 Condiciones de operación (Operating Conditions).

3.4.6.1 Parámetros de operación.

La presión de operación se refiere a la presión inicial del contenedor. Por default, este valor es igual al de la presión de la corriente de entrada. El tamaño de paso de tiempo se refiere al tamaño de paso para la integración. Puede ser una buena idea reducir el tamaño de paso si el flujo es significativamente mayor que el volumen o si el contenedor se despresuriza en un tiempo relativamente corto.

Figura 3.21 Parámetros de operación. Se especifica la presión de operación y el tiempo que durara la transferencia de calor.

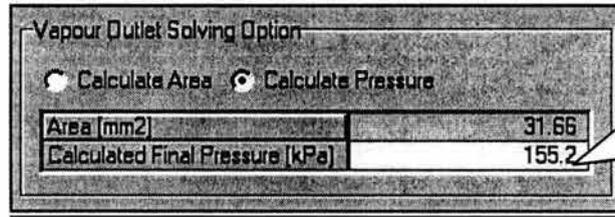




3.4.6.2 Opción de vapor a la salida.

La utilidad "Dynamic Depressuring" puede resolver para la presión final o $C_v/\text{Área}$ requerido para alcanzar una presión final especificada. La opción "Calculate Pressure" usa la $\text{Área}/C_v$ especificada para determinar la presión final.

Figura 3.22. Opciones de cálculo. Se puede calcular el área de la válvula o la presión final del recipiente.

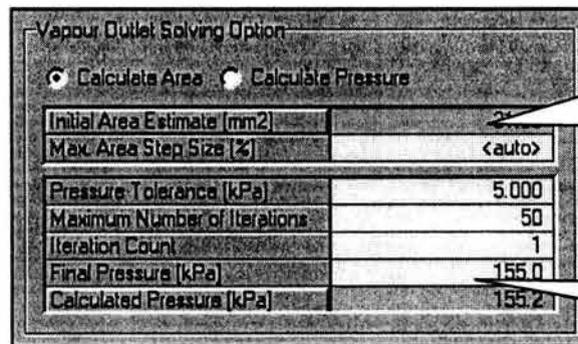


Después del depresionamiento se conoce el valor de presión final.

"Calculate Area" esta disponible para válvulas de relevo, Supersónico, Subsónico y General. "Calculate C_v " esta disponible para válvulas Fisher y Masoneilan. Las dos opciones difieren solamente en el tipo de válvula calculada.

Basado en el API^[41], es normal depresurizar hasta 50% de la presión inicial o hasta 100 psig. Antes de comenzar los cálculos, el usuario debe de especificar C_v o área. Si el tiempo de depresurización es alcanzado antes que la presión final, entonces los cálculos son detenidos y un nuevo C_v o una nueva área son calculados usando la presión final. Los cálculos son repetidos hasta que la presión final es alcanzada en la cantidad de tiempo de depresurización dada.

Figura 3.23. Cálculo de área. Se requiere especificar la presión final y un área inicial para las iteraciones.



Cuando la utilidad ha terminado de calcular, el área estimada es sustituida por el área

La presión final debe ser especificada.

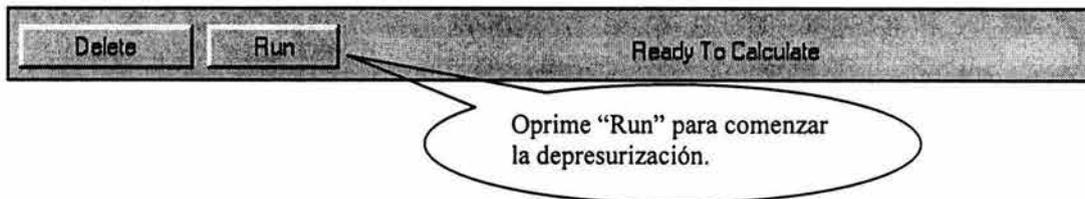


El usuario puede especificar un máximo número de iteraciones y una tolerancia de presión para mejorar la convergencia. Si el usuario desea detener los cálculos en cualquier tiempo, debe usar las teclas “CTRL” + “BREAK”.

3.5 Desempeño.

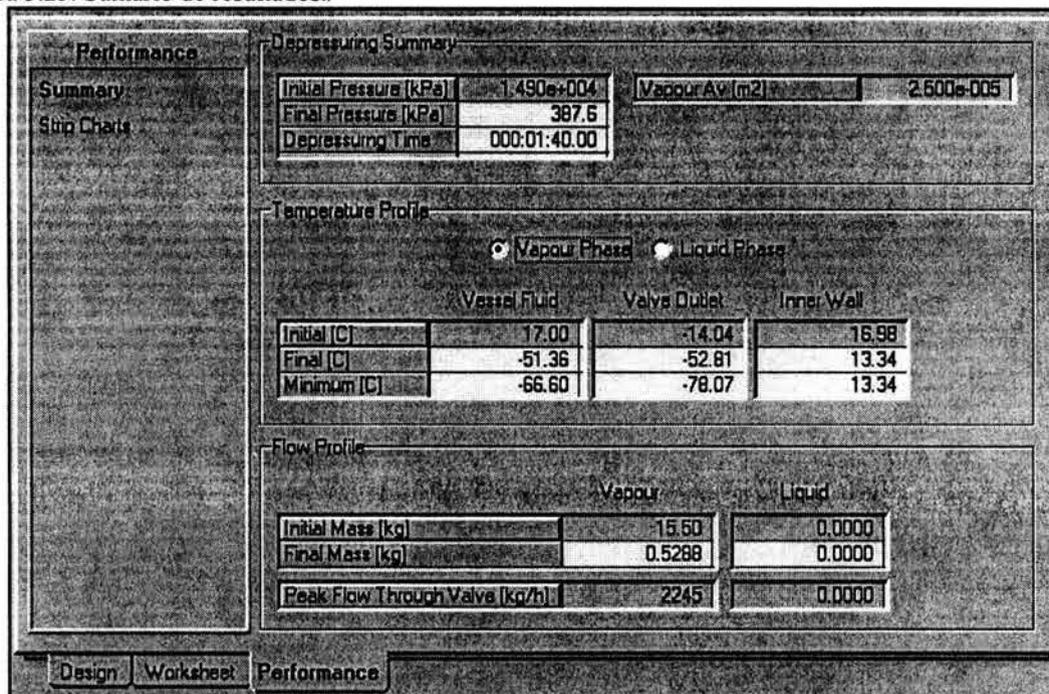
Una vez capturada toda la información la barra de estado cambia de color a amarillo y la sentencia es "Ready To Calculate", esto indica que todos los datos han sido cubiertos y el simulador esta preparado para realizar las iteraciones de acuerdo al cálculo seleccionado.

Figura 3.24. Barra de estado. Señala los valores ha ser cubiertos por el usuario dentro de la utilidad.



Una vez que el simulador ha ejecutado la utilidad, el usuario puede ir a la página "Performance" en la opción "Summary" para visualizar los resultados.

Figura 3.25. Sumario de resultados..

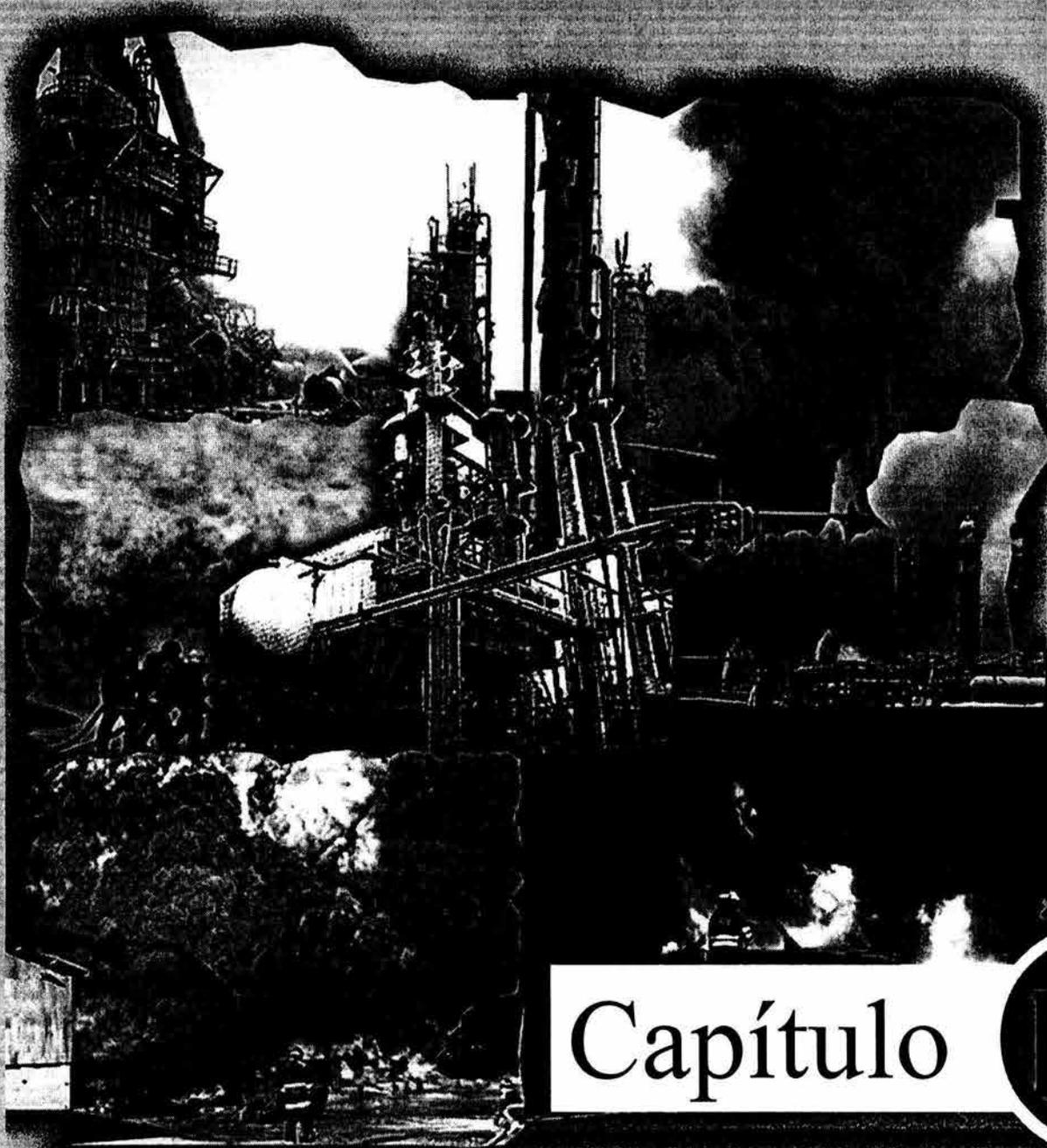




En la página de conexiones en la opción de configuración de resultados se puede obtener el historial de depresionamiento (previamente configurado) de las variables. Los resultados se pueden graficar mediante el botón de “Plot” dentro del ambiente HYSYS o exportarlos a Excel. El área final o la presión final determinadas por la utilidad son colocadas dentro de la opción de condiciones de operación.

Durante el cálculo del área, el parámetro determinante para la convergencia es el incremento o porcentaje de área que emplea el simulador para desplazar el tamaño de orificio durante las iteraciones. Si el valor es muy grande el módulo diverge rápidamente y el recipiente se queda sin flujo.

Determinación de los flujos a relevar durante un evento de fuego en una Planta Hidrodesulfuradora.



Capítulo

IV



Determinación de los flujos a relevar durante un evento de fuego en una Planta Hidrodesulfuradora.

4.1 Caso de estudio.

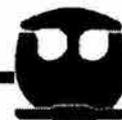
Se determinarán los flujos a relevar y los perfiles de presión y temperatura considerando el evento por fuego en una planta Hidrodesulfuradora de Diesel típica denominada “U-1000”, con base en modelos en estado estacionario y dinámico. Resultado del análisis se desarrollará el dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión y se evaluará el impacto de los cálculos, recordando que la simulación dinámica puede acercarse más al fenómeno real y que las prácticas comunes utilizan las consideraciones de estado estacionario.

Los dispositivos de relevo de presión serán dimensionados con base al API RP 520^[37], y la norma mexicana NRF-031-PEMEX-2004^[46]. Además se utilizarán criterios de diseño y consideraciones de acuerdo a las buenas prácticas de ingeniería del Instituto Mexicano del Petróleo y el criterio adquirido durante la participación en proyectos similares.

4.2 Alcances.

Se determinarán los flujos máximos a relevar por los recipientes expuestos al fuego, las temperaturas y las propiedades a condiciones de relevo empleando consideraciones e régimen permanente y dinámico:

- Se dimensionarán los dispositivos de relevo de presión para algunos recipientes considerando únicamente la falla por fuego.
- Se desarrollará una comparación entre las válvulas obtenidas mediante consideraciones a régimen permanente y dinámico, observándose la cantidad de materia aliviada y el orificio seleccionado.
- Se estudiará el comportamiento de la presión y temperatura en los distintos recipientes durante el lapso de tiempo de la falla.



- Dentro de este trabajo únicamente se evaluará la falla por fuego externo a régimen dinámico, no se considerarán otras fallas operacionales.
- En el caso de los recipientes seleccionados no existe cracking u otra reacción química.
- Se pretende concluir si existe alguna conveniencia en realizar los cálculos tomando en cuenta la dinámica del fenómeno; se espera que los resultados repercutan directamente en la reducción de costos de los dispositivos.

4.4 Descripción del proceso.

Antes de plantear los escenarios de depresurización de los equipos es necesario conocer el propósito de la planta, su funcionamiento básico y los equipos involucrados mediante algunos documentos de ingeniería básica:

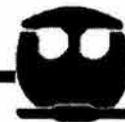
La Planta Hidrodesulfuradora de Diesel U-1000 procesa 34,000 BSPD de una mezcla de Diesel Amargo, Aceite Cíclico Ligero (ACL) y Gasóleo Ligero. La U-1000 tiene como finalidad reducir el contenido de compuestos de azufre, nitrógeno, oxígeno cloro y compuestos metálicos, saturar olefinas de fracciones de petróleo y obtener productos dentro de especificaciones (0.02% peso de azufre y un contenido máximo de aromáticos del 30% vol. en el diesel producto).^[31]

4.4.1 Carga.

La carga esta conformada por una mezcla de corrientes: Diesel (48.96 % vol.) proveniente de una Planta Combinada, aceite cíclico ligero (3.12% vol.) de una Planta FCC y Gasóleo ligero (47.92% vol.) de una Planta de Coquización Retardada.

4.4.2. Características del proceso.

El proceso se divide en cinco secciones: Sección de Reacción, Sección de Lavado con DEA, Sección de Compresión y Recirculación de Gas, Sección de Agotamiento y Sección de Regeneración de Amina, las cuales se describen a continuación.

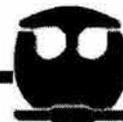


4.4.3 Sección de Reacción. (DFP-FQ-T2004-01)

La corriente de alimentación a la planta se recibe a una temperatura de 38°C y 4.2 kg/cm² man., se calienta en el Intercambiador Carga/Diesel Producto, E-1001, donde eleva su temperatura a 113°C y posteriormente, se alimenta al Acumulador de Carga, D-1001. El D-1001, opera a 1.9 Kg/cm² man. y 113 °C, su función es eliminar las trazas de agua amarga de la carga, la cual se envía al Tanque Acumulador de Agua Amarga D-1015. La corriente de carga, libre de agua, se envía mediante la Bomba de Carga P-1001 A/B/R a una presión de 93.9 k g/cm² man. al Primer Intercambiador Carga/Efluente del Reactor E-1002 A/B, intercambiando calor con el producto de reacción efluente del intercambiador E-1003 A/B, donde se eleva su temperatura a 285°C.

Posteriormente, la corriente de hidrocarburos se mezcla con hidrógeno caliente proveniente de la coraza de E-1003 A/B y se divide en dos; la primera corriente se alimenta al Calentador de Carga, H-1001, donde alcanza las condiciones de reacción; la segunda corriente pasa por el Segundo intercambiador Carga/Efluente del Reactor, E-1005 A/B, donde alcanza la temperatura de reacción al intercambiar calor con el efluente del Reactor de Hidrodesulfuración, R-1001. Una vez que ambas corrientes han alcanzado las condiciones de reacción de 81 kg/cm² man. y 360°C se mezclan y se alimenta al Reactor de Desmetalización R-1002. Éste tiene como función eliminar el sílice y metales presentes en la carga, evitando así envenenar y desactivar el catalizador de hidrodesulfuración. Posteriormente la corriente efluente se mezcla con hidrógeno y se alimenta al Reactor de Hidrodesulfuración R-1001.

En el R-1001 se lleva a cabo una reacción de hidrogenación catalítica de los compuestos sulfurados, nitrogenados, oxigenados, oleofinicos y aromáticos, usando como catalizador níquel-molibdeno cobalto-molibdeno soportado en alumina. Entre los lechos de catalizador se inyecta una corriente de hidrógeno de apagado proveniente de la descarga del Compresor de Hidrógeno de Reposición, C-1001 A/B/R y del Compresor de Hidrógeno de Recirculación, C-1002, con el objeto de controlar la temperatura de la mezcla hidrógeno/hidrocarburos debido a que la reacción es altamente exotérmica.



El efluente del reactor R-1001 se enfría al pasar por un tren de cambiadores de calor: en el E-1005 A/B, se enfría a 349°C con una de las corrientes de hidrógeno/hidrocarburos de alimentación al reactor de Desmetalización, posteriormente pasa por el Intercambiador Hidrógeno/Efluente del Reactor E-1003 A/B saliendo a 316°C y finalmente, intercambia calor en el E-1002 A/B llegando al Separador Caliente de Alta Presión **D-1002** que trabaja a 72.9 kg/cm² man. y 237°C. El líquido separado se envía al Primer Separador de Diesel, D-1008 de la Sección de Agotamiento y los vapores se envían a la Sección de Lavado con DEA.

4.4.4 Sección de Lavado con DEA. (DFP-FQ-T2004-02)

Al hidrógeno de recirculación de la Sección de Reacción a 237 °C y 72.9 kg/cm² man. se le inyecta agua de lavado, junto con inhibidor de corrosión, y se envía al Enfriador del Hidrógeno de Recirculación EA-1001, en donde condensa parcialmente para separarse en tres fases en el Separador Frío de Alta Presión D-1003, que opera a 72.2 kg/cm² man. y 54°C. La fase ligera (hidrocarburos) de este tanque se envía al separador D-1009 de la Sección de Agotamiento; la fase acuosa (agua amarga) se envía al Tanque Acumulador de Agua Amarga D-1015; los vapores se alimentan a la Torre Lavadora, T-1001 donde se elimina el ácido sulfhídrico en contracorriente con una solución de dietanolamina (DEA) pobre, la cual se alimenta por la parte superior de la misma, la amina pobre absorbe el ácido sulfhídrico del gas amargo y se obtiene un gas dulce y una amina rica, los cuales salen de la torre por el domo y por el fondo, respectivamente.

La amina rica se envía al Asentador de Amina Rica **D-1072** de la Sección Regeneración de Amina, para su posterior tratamiento, mientras que el gas dulce, que es básicamente hidrógeno, se manda al Tanque K.O. de Succión del Compresor de Recirculación D-1007 de la Sección de Compresión y Recirculación de Gas, donde se eliminan las trazas de dietanolamina que se pudieran arrastrar en el gas dulce.



4.4.5 Sección de Compresión y Recirculación de Gas. (DFP-FQ-T2004-03)

El hidrógeno proveniente de la Planta Hidrodesulfuradora de Gasóleos (HDSG) se recibe a 38°C y 8.0 kg/cm² man. Este es alimentado al Tanque K.O. de Succión del Compresor C-1005, D-1016 donde se eliminan los posibles líquidos de la corriente. El hidrógeno es comprimido a 19.4 kg/cm² man. en el Compresor de Hidrógeno de HDSG C-1005 para luego ser enfriado en el E-1020 A/B a 38°C, este hidrógeno se mezcla con el hidrógeno de baja pureza del Tanque K.O. de Succión del Compresor de Recirculación D-1007 y el hidrógeno de importación a una presión de 36.0 kg/cm² man. y 38°C de L.B. La mezcla se envía al Tanque Coalescedor D-1004, el cual opera a 19.0 kg/cm² man. y 41°C, que tiene la finalidad de eliminar contaminantes.

La Unidad Purificadora de Hidrógeno PA-1001, tiene como función primordial purificar el hidrógeno que se requiere reponer a la Sección de Reacción debido a su consumo en las reacciones. De la unidad purificadora se obtienen dos corrientes, una es hidrógeno de alta pureza, la cual se envía como hidrógeno de reposición y la segunda como gas combustible a la red de gas de la refinería. El hidrógeno de alta pureza entra al Tanque K.O. de Succión del Compresor D-1014, y posteriormente al Compresor de Hidrógeno de Reposición C-1001 A/B/R que consta de tres etapas.

Del gas efluente de la última etapa del compresor, que se encuentra a 95.1 kg/cm² man. y 137°C, se recircula una corriente al tanque K.O. de succión del compresor de H₂ de reposición D-1014. La corriente restante se mezcla con la descarga del compresor C-1002, la mezcla de hidrógeno resultante se divide en dos corrientes, una de ellas se envía al reactor R-1001 como hidrógeno de apagado y la segunda al intercambiador E-24003 A/B de la Sección de Reacción, ambas corrientes a 95.1 kg/cm² man. y 101°C. En esta sección se recibe la corriente de hidrógeno de recirculación procedente de la torre T-1001 de la Sección de Lavado con DEA, a 71.0 kg/cm² man. y 57°C, enviándose al tanque K.O. de succión del compresor de recirculación D-1007, una parte del vapor efluente de este tanque se envía al compresor de H₂ de Recirculación C-1002 a fin de alcanzar la presión 95.1



kg/cm² man. necesaria para su recirculación, y la otra parte de ésta se extrae como purga y se envía a la purificadora de hidrógeno.

4.4.6 Sección de Agotamiento. (DFP-FQ-T2004-04)

La función principal de esta sección es separar los hidrocarburos ligeros del diesel desulfurado utilizando para este fin la Torre Estabilizadora, T-1002. La sección recibe como carga el líquido proveniente del tanque Separador de Alta Presión D-1002 de la Sección de Reacción, el cual se expande y el líquido-vapor resultante se separa en el Primer Separador de Diesel **D-1008**, que opera a 11.1 kg/cm² man. y 239°C.

El líquido separado, se envía al Intercambiador Alimentación/Fondos de Estabilizadora E-1006 A/C, saliendo a 288°C y después se alimenta al plato 10 de la torre T-1002, en tanto que el vapor se condensa parcialmente al pasar por el Enfriador Final de Gases EA-1006, posteriormente se envía al Segundo Separador de Diesel **D-1009**, que opera a 55°C y 10.4 kg/cm² man., de donde, el líquido separado se envía como alimentación a la torre T-1002, en el plato No. 6. La torre T-1002 opera en el domo a 3.1 kg/cm² man. y 231°C y en el fondo a 3.5 kg/cm² man. y 325°C. Los vapores del domo se envían al Condensador de Torre Estabilizadora EA-1005, la mezcla resultante se recibe en el Acumulador de Reflujo de la Torre Estabilizadora, **D-1010** en donde se lleva a cabo la separación de las fases, operando a 2.7 kg/cm² man. y 54°C. Del acumulador **D-1010** se separan tres fases: los hidrocarburos líquidos, parte de los cuales se envían como reflujo a la torre mediante la Bomba de Reflujo de Torre Estabilizadora P-1004/R y el resto se envía como nafta amarga producto a límite de batería a 7 kg/cm² man. y 38°C, esta temperatura la alcanza previamente en el Enfriador de Naftas E-1012.

El agua amarga que contiene la corriente se separa en la pierna del tanque y se envía al tanque de agua amarga D-1015. Los vapores se envían al Compresor de Gas Amargo, C-1004, los vapores se descargan a 8.5 kg/cm² man. y 122°C y se unen con los vapores que provienen del tanque **D-1009**. Esta corriente se enfría a 38°C en el Enfriador de Descarga del Compresor del Gas Amargo, E-1011 y se envía al Tanque Separador a la Descarga del



Compresor de Gas Amargo, D-1013, que opera a 7.8 kg/cm² man., donde vapores amargos se envían a la endulzadora de Gases T-1071 de la Sección de Regeneración de Amina.

Del fondo de la torre T-1002 salen dos corrientes de diesel desulfurado, la primera se envía al Rehervidor de la Torre Estabilizadora H-1002, mediante la Bomba P-1006/R, a una presión de 8.0 kg/cm² man, y una temperatura de 325°C. La segunda corriente es el Diesel producto se envía a un tren de intercambio de calor para su enfriamiento y envío a límite de batería mediante la Bomba de Diesel Producto P-1005/R, a una presión de 12.2 kg/cm² man.

El Diesel producto pasa a través del E-1006 A/C donde se enfría a 281°C, posteriormente pasa a través del Generador de Vapor E-1007, enfriándose a 242°C, después intercambia calor con el agua para caldera en el Precalentador de Alimentación a Generador de Vapor E-1008, saliendo a 232°C. En seguida se envía al E-1001 de la Sección de Reacción, donde precalienta la corriente de carga a la planta y se enfría a 168°C. Finalmente, pasa a través de los Enfriadores de Diesel Producto, EA-1004 y E-1009 A/B, donde alcanza la temperatura de 38°C y 7.0 kg/cm² man.

4.4.7 Sección de Regeneración de Amina. (DFP-FQ-T2004-05)

La Sección de Regeneración de Amina tiene como función eliminar el ácido sulfhídrico contenido en el gas amargo proveniente de la Sección de Agotamiento mediante un proceso de absorción con una solución de dietanolamina (DEA) al 20% en peso. El flujo de amina rica está constituida por las corrientes que provienen de la Torre Lavadora T-1001, la Torre Endulzadora T-1071, así como las corrientes del Tanque K.O. de Succión del Compresor D-1007 de la Sección de Compresión y del Separador de Gas Dulce D-1071; una vez que estas corrientes se mezclan, llegan al Asentador de Amina Rica D-1072 que opera a 0.5 kg/cm² man. y 65°C, en donde se separan los vapores con alto contenido de hidrocarburos ligeros y ácido sulfhídrico.



La amina rica se bombea a 6.2 kg/cm² man. con la Bomba de Amina Rica P-1071/R hacia el Intercambiador Amina Pobre/Rica E-1072, en donde se calienta a 95°C, enviándose al plato No. 3 de la regeneradora. Cuando el líquido de la alimentación a la columna entra en contacto con los vapores calientes generados en el Rehervidor de la Regeneradora de Amina, E-24073 A/B se propicia la separación del ácido sulfhídrico del líquido. Los vapores del domo de la torre, pasan por el Primer Condensador de la Regeneradora de Amina EA-1072, y posteriormente al Segundo Condensador de Amina Pobre E-1074 A/B condensando parcialmente y llegando al Acumulador de Reflujo de la Regeneradora de Amina, D-1074 para separar las fases a 0.9 kg/cm² man. y 38°C .

El ácido sulfhídrico se envía a la Unidad Recuperadora de Azufre a 0.7 kg/cm² man. y 38°C, mientras que el líquido se regresa al domo de la columna T-1072. El producto de fondos de la torre T-1072 a 124°C, se enfría a 94°C en el intercambiador E-1072 a continuación se encuentra el punto de inyección de la amina de reposición proveniente de la Fosa de Amina F-1071, la cual se maneja por la Bomba de la Fosa de Amina, P-1075. Una vez unidas las corrientes, la mezcla resultante se manda al Enfriador de Amina Pobre Regenerada EA-1071, impulsada por la Bomba de Amina Regenerada, P-1073/R a una presión de 5.0 kg/cm² man. La amina pobre se envía al Tanque de Amina Pobre TV-1071 y mediante la P-1072/R, es enviada a las columnas T-1071, T-1001.

La corriente de gas amargo proveniente del D-1013 se pone en contacto con la solución de DEA, entrando por el fondo de la Torre Endulzadota de Gases T-1071 que opera a 7.6 kg/cm² man. y 38°C, fluyendo a contracorriente con la amina pobre, sale por el domo de la misma hacia el Separador de Gas Dulce D-1071 donde se separa el líquido (amina rica) y el gas combustible dulce que se envía a L.B. a 6.0 kg/cm² man. y 38°C.

4.5 Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's)

Los Diagramas de Flujo en conjunto con la descripción del proceso nos ayudan a conocer el flujo de materia y energía a través de los equipos en la planta Hidrodesulfuradora de Diesel para detectar las posibles acumulaciones y los equipos más



propensos a sobrepresionarse en caso de un incendio. En las siguientes páginas se encuentran los Diagramas de la planta, de los cuales se tomarán únicamente los recipientes: D-1001 y D-1002 (DFP-FQ-T2004-01), D-1008, D-1009 y D-1010 (DFP-FQ-T2004-04) y D-1072 (DFP-FQ-T2004-05), para el estudio. De estos documentos se recolectara el número de las corrientes asociadas a dichos equipos, las condiciones de temperatura y presión y los flujos normales con el fin de conocer la operación normal. De las tablas de balance encontradas en estos documentos obtenemos la composición de las corrientes, la cual es indispensable para el cálculo de las propiedades a condiciones de relevo.

4.6 Hojas de Datos de los equipos.

En este caso los recipientes en estudio son: D-1001 “Acumulador de Carga”, D-1002 “Separador Caliente de Alta Presión”, D-1008 “Primer Separador de Diesel”, D-1009 “Segundo Separador de Diesel”, D-1010 “Acumulador de Reflujo de la Torre Estabilizadora” y D-1072 “Asentador de Amina Rica”. De las hojas se recolectan las condiciones de operación máximas de temperatura y presión, la presión de diseño del recipiente, el material, la longitud, diámetro y niveles de líquido.

4.7 Diagramas de Tubería e Instrumentación. (DTI's)

En estos documentos de ingeniería básica se aprecian los detalles de interconexión de los recipientes con las líneas de proceso. En estos se observa de forma esquemática la válvula de relevo asociada al recipiente protegido, los niveles de líquido, la instrumentación y sistemas de control, el nivel del equipo al piso y la existencia de drenajes aceitosos.

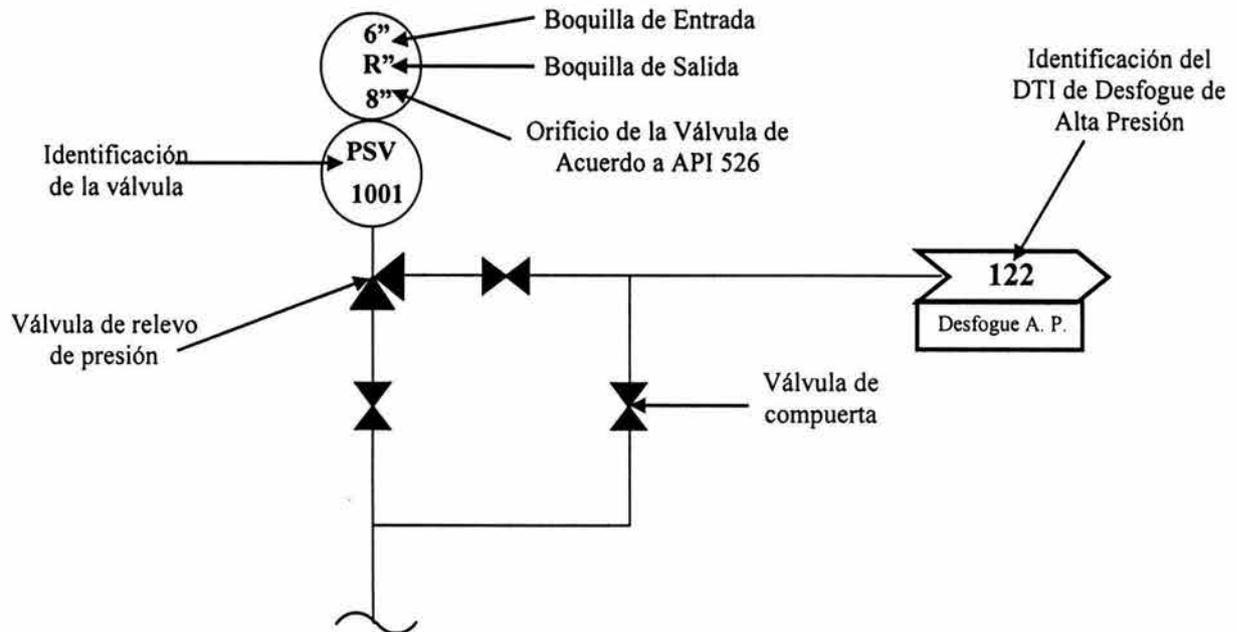
Las válvulas de relevo pueden ser instaladas directamente al recipiente cuando se cuente con una boquilla destinada para el servicio, sin embargo es común la instalación en las líneas de vapor de salida.

Cuando se instala una válvula de relevo de presión en una línea de vapor asociada se requiere que la caída de presión del domo del recipiente hasta la boquilla de entrada de la válvula no represente más del 3% de la presión de ajuste debido a que un valor superior ocasionaría que la válvula no opere de forma adecuada.^[41] Se debe adicionalmente verificar que el libraje de las líneas asociadas (que realizaran el desalojo de emergencia hasta la



válvula) resistirá la sobrepresión, el peso y que no vibren durante el evento. Las válvulas de relevo se representan como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4.1 Simbolización de una válvula de relevo de presión en un DTI.



4.8 Información complementaria.

De este documento se rescatan los valores de las condiciones máximas de operación. Los datos de Temperatura, Presión y Flujo junto con la composición obtenida del Balance de Materia y Energía serán empleados para determinar las condiciones antes del sobrepresionamiento. Cuando se emplean consideraciones de estado estacionario se requiere conocer el calor de vaporización del inventario de líquido, para esto se necesitan modelar las corrientes involucradas a condiciones máximas para posteriormente llevarlas hasta su punto de rocío y burbuja. Para llevar a cabo dicho procedimiento se requiere emplear un simulador de procesos, el cual además nos auxiliara para determinar el peso molecular, el factor de compresibilidad y la relación de calores específicos para la corriente de vapor aliviado. La información complementaria para las corrientes involucradas se muestra a continuación.

INFORMACION COMPLEMENTARIA

Rev	Planta:	Planta Hidrodesulfuradora de Diesel U-1000						Localización:						
								Hoja:						
	Numero de corrientes	Servicio	Fase	Flujo			Presión			Temperatura			Observaciones	
				Kg/h			Kg/cm2 man.			°C				
				MAX.	NOR.	MIN.	MAX.	NOR.	MIN.	MAX.	NOR.	MIN.		
	103	Carga a PF-1001/R	L	216,114	196,467	98,234	4.5	3.3	3.0	93	38	38	Seccion de reaccion	
	104	Efluente coraza de E-1001	L	216,114	196,467	98,234	4.5	1.9	1.5	113	113	93	Seccion de reaccion	
	105	Descarga P-1001 A/B/R	L	216,114	196,467	98,234	(2)	93.9	93.9	113	113	93	Seccion de reaccion	
	120	Alimentación a D-1002	M	273,745	248,859	124,430	74.9	72.9	72.9	244	237	227	Seccion de reaccion	
	121	Liquido de D-1002	L	182,191	165,628	82,814	74.9	72.9	72.9	244	237	227	Seccion de reaccion	
	122	Liquido a D-1008	M	182,191	165,628	82,814	13.1	11.1	11.1	246	239	229	Seccion de agotamiento	
	123	Vapor de D-1002	V	91,554	83,231	41,616	74.9	72.9	72.9	244	237	227	Seccion de reaccion	
	205	Liquido a D-1009	M	31,985	29077 (3)	14,539	12.4	10.4	10.4	71	56	56	Seccion de agotamiento	
	401	Gas del 1er separador de diesel D-1008	V	3,730	3391 (3)	1,696	13.1	11.1	11.1	246	239	239	Seccion de agotamiento	
	402	Liquido del 1er separador de diesel D-1008	L	178,860	162,600	81,300	13.1	11.1	11.1	246	239	239	Seccion de agotamiento	
	405	Alimentación a 2o separador de diesel D-1009	M	3,730	3391 (3)	1,696	12.4	10.4	10.4	70	55	55	Seccion de agotamiento	
	406	Gas del 2o separador de diesel D-1009	V	1,827	1,661	831	12.4	10.4	10.4	70	55	55	Seccion de agotamiento	
	408	Liq. Del 2o separador de diesel D-1009	L	33,845	30768 (3)	15,384	12.4	10.4	10.4	70	55	55	Seccion de agotamiento	
	415	Efluente del condensador EA-1005	M	60,553	55048 (3)	27,524	4.8	2.8	2.8	69	54	54	Seccion de agotamiento	
	416	Liquido del acumulador D-1010	L	59,378	53980 (3)	26,990	4.8	2.8	2.8	69	54	54	Seccion de agotamiento	
	420	Gas del tanque acumulador D-1010	V	1,175	1,068	534	4.8	2.8	2.8	69	54	54	Seccion de agotamiento	
	516	Amina rica a D-1072	M	214,091	178,409	89,205	1.5	0.5	0.50	80	65	65	Regeneracion con amina	
	517	Gas combustible al sistema de gas combustible	V	2,676	2,433	1,217	6.6	6.0	5.70	43	38	38	Regeneracion con amina	
	518	Amina rica de P-1071/R	L	213,806	178,172	89,086	(1)	6.2	6.2	80	65	65	Regeneracion con amina	
	Notas:	1.-Normalmente sin flujo					Revisión:							
		2.-Por el "shut off de la bomba correspondiente					Fecha:							
		3.-Flujos correspondientes al balance inicio de corrida					Elab. Por:							



4.9 Plano de Localización General de Equipo.

En el caso de una emergencia por fuego es necesario conocer la distribución de los equipos dentro de la planta. Las densidades de equipo con inventarios considerables de hidrocarburos sugieren la apertura simultánea de las válvulas asociadas a equipos dentro de un área de 2500 a 5000 ft². En este estudio las zonas de fuego solamente cubren a los recipientes en cuestión de forma individual, los equipos mecánicos y los filtros no son protegidos por válvulas.

4.10 Planteamiento de los escenarios.

La primera consideración para el planteamiento de los escenarios individuales es que el incendio se presenta en la planta de forma local, los sistemas contra incendio y los drenajes previstos para secuestrar los derrames evitan que se extienda a otras áreas. Cada equipo tiene diferentes consideraciones:

- a) D-1001 “Acumulador de Carga”: D-1001 tiene un diámetro de 3.2m, 9.75m de largo y es diseñado para soportar 6.2 kg/cm² man. y vacío total. El recipiente horizontal se encuentra instalado a una altura de 5.48m del nivel de piso terminado, se encuentra operando a condiciones máximas: el nivel de líquido se encuentra a 2.72m, el flujo es 216113.7kg/h, la temperatura interna es 113°C y la presión es 4.5 kg/cm² man. Durante una emergencia por fuego las llamas cubrirán parcialmente el recipiente, solamente 2.14m del inventario de líquido interno será afectado por la transferencia de calor de acuerdo al criterio de los 25 ft (API 520^[37]). El tanque cuenta con un sistema de mitigación que abatirá la temperatura interior además de contar con un sistema de drenaje aceitoso que evita que el incendio invada la superficie del intercambiador E-1002 A/B. Las bombas P-1001A, P-1001B y el filtro PF-1001 no cuentan con inventarios de líquido considerables como para representar un riesgo adicional. La válvula desfogara al cabezal de baja presión.
- b) D-1002 “Separador Caliente de Alta Presión”: D-1002 tiene un diámetro de 2.13m, una longitud de 9.14m y fue diseñado para soportar 80.2 kg/cm² man. y vacío total.



El recipiente vertical se encuentra instalado a una altura de 1.5m del nivel de piso terminado, opera a condiciones máximas: 182190.8kg/h, 244°C, 74.9 kg/cm² man y el nivel de líquido se encuentra a 6.71m. Durante el incendio local, solamente 6.12m del inventario de líquido interno es afectado (API 520^[37]). El tanque cuenta con un sistema de mitigación y con un sistema de drenaje aceitoso que evita que el incendio invada la superficie del intercambiador E-1002 A/B y E-1001. El líquido dentro del filtro PF-1001 no representa un riesgo adicional. La descarga se incorporara al cabezal ácido.

- c) D-1008 “Primer Separador de Diesel”: D-1008 tiene un diámetro de 1.98m una longitud de 7.93m fue diseñado para soportar 13.5 kg/cm² man. y vacío total. El recipiente horizontal se encuentra instalado a una altura de 1.5m del nivel de piso terminado, opera a condiciones máximas: 182190.8kg/h, 239°C, 11 kg/cm² man y el nivel de líquido se encuentra a 1.58m. Durante el incendio local, el recipiente se encuentra totalmente cubierto por las llamas, todo el inventario de líquido interno es afectado (API 520^[37]). El tanque cuenta con un sistema de mitigación y con un sistema de drenaje aceitoso que evita que el incendio invada la superficie del intercambiador E-1007 y E-1008. La descarga se incorporara al cabezal ácido.
- d) D-1009 “Segundo Separador de Diesel”: D-1009 tiene un diámetro de 1.37m y 4.12m de longitud fue diseñado para soportar 12.4 kg/cm² man. y vacío total. El recipiente horizontal se encuentra instalado a una altura de 1.5m del nivel de piso terminado, opera a condiciones máximas: 33844.8kg/h, 70°C, 12.4 kg/cm² man y el nivel de líquido se encuentra a 1.07m. Durante el incendio local, el recipiente se encuentra totalmente cubierto por las llamas, por lo que todo el líquido interno es afectado. La descarga se incorporara al cabezal ácido.
- e) D-1010 “Acumulador de Reflujo de la Torre Estabilizadora: D-1010 tiene un diámetro de 1.68m una longitud de 5.03m fue diseñado para soportar 6 kg/cm² man. y vacío total. El recipiente horizontal se encuentra instalado a una altura de



- 5.49 m del nivel de piso terminado, opera a condiciones máximas: 60552.8 kg/h, 69°C, 4.8 kg/cm² man y el nivel de líquido se encuentra a 1.58m. Durante el incendio local, el recipiente se encuentra totalmente cubierto por las llamas, todo el inventario de líquido interno es afectado. El tanque cuenta con un sistema de mitigación y con un sistema de drenaje aceitoso que evita que el incendio invada la superficie del intercambiador E-1009 AB y la torre T-1002. La descarga se incorporara al cabezal ácido.
- f) D-1072 “Asentador de Amina Rica”: D-1072 tiene un diámetro de 3.05m una longitud de 12.19m fue diseñado para soportar 3.5 kg/cm² man. y vacío total. El recipiente horizontal se encuentra instalado a una altura de 5.36 m del nivel de piso terminado, opera a condiciones máximas: 214090.8 kg/h, 80°C, 1.5 kg/cm² man y el nivel de líquido se encuentra a 2.33m. Durante el incendio local, el recipiente se encuentra parcialmente cubierto por las llamas, solamente 2.26m del líquido interno es afectado. El tanque cuenta con un sistema de mitigación y con un sistema de drenaje aceitoso que evita que el incendio invada la superficie del intercambiador E-10072 AB y la torre T-1001. La descarga se incorporara al cabezal ácido.

4.11 Cálculos en estado estacionario.

Una vez obtenido los requerimientos a relevar para cada unidad y las propiedades del vapor, se dimensionan las válvulas tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para todos los casos se seleccionan válvulas de relevo-seguridad balanceadas por fuelles para evitar variaciones en la descarga a los cabezales.
- El gas de barrido presente en el cabezal de baja presión y en el cabezal ácido tiene la misma presión de 15psig o 1.0546kg/cm² (contrapresión constante).
- Las válvulas que descargan al cabezal ácido serán instaladas en combinación de un disco de ruptura.
- No se consideran perdidas de calor debidas al funcionamiento del sistema de enfriamiento de los equipos.



- Los factores de corrección por contrapresión, descarga y el coeficiente de descarga efectiva son iguales a 1.
- No se considera aportación alguna por descarga de venteos para minimizar el tamaño de los dispositivos de relevo.

4.11.1 Datos de entrada.

Tabla 4.1 Datos de entrada. En esta tabla se resumen los datos para determinar el orificio de una válvula utilizando el método API.

Identificación	Nivel de Piso Terminado (NPT)	Nivel máximo de líquido (NMAX.)	Nivel de Líquido Expuesto	Orientación del Recipiente	Diámetro	Longitud	Presión de Ajuste	Presión de Relevo	Temperatura de Relevo	Calor latente de Vaporización	Peso Molecular	Z	k	Masa a relevar
	m	m	m		m	m	kg/cm ² (m)	kg/cm ²	°C	kcal/kg	kg/ kgmol		Cp/Cv	kg/h
D-1001	5.48	2.72	2.14	H	3.2	9.754	6.2	8.536	386	50.56	202.1	0.780	1.045	9977
D-1002	1.5	6.705	6.12	V	2.134	9.144	80.2	97.04	427	27.78	10.04	1.022	1.206	33534
D-1008	1.5	1.584	1.584	H	1.981	7.925	14.0	16.94	358	89.39	110.8	0.878	1.052	8901
D-1009	1.5	1.067	1.067	H	1.372	4.115	12.4	15	121	202.3	22.02	0.982	1.204	1743
D-1010	5.486	1.067	1.067	H	1.676	5.029	6.0	7.26	122	140.1	40.12	0.962	1.131	4758
D-1072	5.364	2.327	2.256	H	3.048	12.19	3.5	4.235	185	438.3	21.05	0.938	1.384	3679

4.11.2 Niveles de presión.

Las Presión de ajuste para las válvulas es igual a la presión de diseño de los recipientes. En todos los casos la sobrepresión permisible es el 21% de la presión de ajuste. La presión de relevo se obtiene al adicionar a la presión de ajuste la sobrepresión permisible y sumarle la presión atmosférica, que en este caso es 1.0335kg/cm².

4.11.3 Propiedades a condiciones de relevo.

Una vez conocida la operación de cada unidad a condición máxima se simula el presionamiento llevando las corrientes hasta su presión de relevo (Se asume que el flujo normal es bloqueado, la operación normal es interrumpida y no se bombean fluidos dentro o fuera del sistema). El equilibrio en este punto solamente nos proporcionara las condiciones termofísicas del vapor: Z, Cp/Cv y PM.



4.11.4 Determinación de la masa a relevar.

Para el cálculo de la masa se requiere determinar el punto de burbuja y rocío del líquido interno, la diferencia de calores se introduce en la fórmula 2.28 de esta tesis como el término de calor latente de vaporización para obtener la masa.

$$W = \frac{Q}{\lambda} \quad (2.28)$$

El calor absorbido por el recipiente es determinado mediante la ecuación 2.29 debido a que todos los equipos considerados cuentan con sistemas de regadera y un drenaje aceitoso adecuado.

$$Q = 21000FA^{0.82} \quad (2.29)$$

Solamente el inventario de líquido interno envuelto por las llamas, mencionado anteriormente para cada caso, será empleado para determinar el área de la superficie mojada de acuerdo a las ecuaciones mostradas en el capítulo II.

Recipiente horizontal

$$A = \left(2.178D^2 + \pi DL \right) \left(\frac{S}{\pi D} \right) \quad (2.26)$$

Recipiente vertical

$$A = (\pi Dh + 1.089D^2) \quad (2.28)$$

4.11.5 Cálculo del Área del orificio de la válvula.

Debido a que la contrapresión es mucho menor a la presión de relevo de los dispositivos las válvulas se dimensionaran con la ecuación de flujo subcrítico.

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b K_C} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \quad (2.2)$$

4.11.6 Resumen de las válvulas.

El orificio calculado y el seleccionado, además de las condiciones de operación durante la emergencia se presenta en el resumen de las válvulas, Tabla 4.2.



4.12 Cálculos a régimen dinámico

Para los cálculos a régimen dinámico se requiere modelar previamente el comportamiento de los recipientes y las corrientes anexas. Para esto se realizan los siguientes pasos en cualquier simulador comercial:

- Se establece el sistema de unidades: se selecciona el sistema internacional.
- Se define un paquete de propiedades: se elige de una base de datos todos los componentes presentes a lo largo del proceso, se caracterizan los cortes de la destilación y otros pseudocomponentes mediante su temperatura real de ebullición (TBP) y su peso molecular.
- Se elige un paquete de propiedades: Se elige la ecuación de estado y las reglas de mezclado; en este caso se emplea Redlich-Kwong-Soave.
- Se construye un Diagrama de Flujo de Proceso: mediante un diagrama de bloques seleccionados de una paleta de dibujo se traza un diagrama de los equipos con sus corrientes de materia y energía asociadas.
- Se inicializan las corrientes de entrada: Se introduce la composición, la temperatura máxima, la presión máxima y el flujo obtenido de la información complementaria.

De esta forma se obtienen todas las simulaciones base que posteriormente serán presurizadas, pero a diferencia del estado estacionario se calcularán los equilibrios puntuales durante un intervalo de tiempo y se determinará el máximo calor alcanzado a la presión de relevo.

Se considera que el inventario de líquido vaporiza alrededor de 20 minutos antes que el sistema alcance la presión de relevo; posteriormente la válvula operará durante algunos minutos y el sistema se despresurizará durante otro lapso determinado por la dinámica del proceso. Al ocurrir la apertura de la válvula, el sistema no solo pierde energía por la disminución de presión, sino que el calor disipado por radiación al ambiente y la pérdida de volumen de líquido (que disminuye directamente el área húmeda expuesta a fuego) ocasionan el descenso brusco en la temperatura.

Una vez aliviada la presión, la válvula cierra, sin embargo esto no ocurrirá al regresar a la presión de ajuste, sino hasta que la presión interna se acerque a la presión de operación. Finalmente la presión que aun es superior a la de operación regresara a su nivel por efectos de compensación de temperatura, la cual se encuentra por debajo de su valor normal de operación al finalizar el destoque.

4.2 Resumen de válvulas (estado estacionario). Con los datos de entrada, las consideraciones antes mencionadas y las ecuaciones del método API se seleccionan los orificios.

Clave	Equipo o línea a proteger	Presión de ajuste	Kg/cm ² man.	Kg/cm ² man. contra presión	Área		Orificio	Temperatura	°C	V/L	Kg/cm ²	°C	PM 6 Sg.	Presión de relevo	AH	Fuego
					Calculada	Área Seleccionada										
Cabezal de baja presión.																
PSV-01	D-1001 "Acumulador de Carga"	6.2	1.0546	7.81	8.30	*J	113	V	4.5	386	202.1	7.50	50.56	9977		
Cabezal ácido.																
PSV-02	D-1002 "Separador caliente de alta presión"	80.2	1.0546	13.3	18.4	L	244	V	74.9	427	10.04	97.04	27.78	33534		
PSV-03	D-1008 "Primer Separador de Diesel"	14	1.0546	5.39	8.30	J	246	V	13.1	358	110.8	16.94	89.39	8901		
PSV-04	D-1009 "Segundo Separador de Diesel"	12.4	1.0546	2.04	3.25	G	70	V	12.4	121	22.02	15.00	202.3	1743		
PSV-05	D-1010 "Acumulador de reflujos de la Torre Estabilizadora"	6	1.0546	7.97	8.30	J	69	V	4.8	122	40.12	7.26	140.1	4758		
PSV-06	D-1072 "Asentador de amina rica"	3.5	1.0546	13.1	18.4	L	80	V	1.5	185	21.05	4.24	438.3	3679		

* Se requieren 2 válvulas para dar el servicio.



Como se menciona en el capítulo II, se requiere resolver las ecuaciones antes de la apertura y después del relevo para conocer los requerimientos de área y el flujo total aliviado:

Antes de la apertura de la válvula:

$$M_T = M_V + M_L \quad (2.33)$$

$$Q - \Delta H_{VAP} - Cp^V (M^L_o - M^L) \lambda = Cp^L M^L \frac{dT_{Liquido}}{dt} \quad (2.35)$$

Durante el relevo:

$$F_S Cp_S (T - T_{ref})_S + UA(T_{Liquido} - T_{Pared}) + \left(\frac{VzR}{M}\right) \frac{d\rho T}{dt} = (MCp)^L_{acumulacion} \frac{dT_{Liquido}}{dt} \quad (2.40)$$

$$UA(T_{Pared} - T_{Liquido}) = (MCp)^L_{metal} \frac{dT_{Pared}}{dt} \quad (2.41)$$

$$Q = C_1 \times (WettedArea_{time=t})^{C_2} \quad (2.42)$$

$$WettedArea_{time=t} = WettedArea_{time=0} \times C_3 \times \left(1 - \frac{LiquidVolume_{time=t}}{LiquidVolume_{time=0}}\right) \quad (2.43)$$

Para resolver los modelos se requiere especificar un intervalo de tiempo o acercamiento que servirá como desplazamiento entre puntos del escenario. En cada uno de estos puntos se debe realizar un equilibrio de fases para determinar las condiciones al interior del recipiente. La presión obtenida será función de la temperatura alcanzada por la transferencia de calor.

Cuando se emplea el simulador para determinar el área del orificio de la válvula, se debe especificar un valor para inicializar los cálculos. El simulador determinará los equilibrios a lo largo del escenario, desde la operación normal hasta el comienzo del desahogo, empleando la válvula con el orificio inicial. Cada cálculo de equilibrio generará un calor de vaporización que a su vez determinará la masa a relevada durante un lapso de tiempo. El escenario terminará hasta que la presión calculada regrese al valor de presión de operación. Si el perfil de presión obtenido muestra que el orificio de la válvula puede aliviar la presión de forma adecuada (sin que se presenten casos de extrangulamiento o de



cierre intermitente), durante un lapso de tiempo adecuado, se encontrara una solución particular para el escenario. El simulador no puede saber si el tiempo de depresionamiento es adecuado o no, se necesita especificar inicialmente el tiempo aproximado para la depresurización y observar el perfil; cuando el perfil muestra incrementos consecutivos de presión que son aliviados rápidamente, se considera que la válvula es demasiado grande para el servicio y que opera de forma intermitente; si la válvula seleccionada requiere de un lapso muy largo para aliviar la presión se requerirá aumentar el tamaño de orificio para reducir el tiempo de alivio; cuando el perfil de temperaturas permanece constante durante mucho tiempo y la masa dentro del recipiente se agota quedando solamente vapor, se requiere incrementar el tamaño de orificio; si la presión dentro del recipiente no alcanza a estabilizarse por efectos de compensación de temperatura se necesita aumentar el tamaño de orificio o incrementar el tiempo de depresurizado.

Posiblemente el acercamiento seleccionado ocasione que la válvula no logre alcanzar la condición inicial, en cuyo caso se necesita reinicializar el valor de orificio de la válvula y cambiar el incremento o redefinir un nuevo valor de error. La operación arrojará un perfil de presiones y temperaturas dentro de los cuales se observara el comportamiento de dichas variables. Se requiere realizar las corridas para cada orificio de válvula y observar cada uno de los perfiles de forma manual para establecer la mejor operación.

4.12.1 Datos de entrada.

Se requiere ordenar en una tabla los datos que requiere el módulo. Los cálculos que determinan la superficie mojada del recipiente solamente consideran la geometría del cilindro, las tapas y tubería asociada no son tomadas en cuenta. Se debe escoger previamente el modelo de pérdida de calor empleado para corregir el calor que absorbe el líquido. El rubro de área mojada inicial es opcional, el simulador propone los valores considerando el nivel máximo de líquido, sin embargo y por lo dicho anteriormente se puede cambiar este valor por uno superior para considerar todo el líquido contenido en las tapas y las tuberías de salida de líquido.



4.3 Datos de entrada. En esta tabla se resumen los datos para determinar el orificio de una válvula utilizando el simulador.

Identificación de Equipo	Conexiones					Parámetros de flujo de calor		Parámetros de la válvula				Parámetros de operación			
	Corriente	Orientación	Longitud	Diámetro	Volumen inicial de líquido	Área mojada inicial	Modelo de pérdida de calor	Coefficiente de descarga	Presión de ajuste	Presión de apertura	Contrapresión	Eficiencia del proceso	Presión de operación	Acercamiento	Tiempo inicial de depresurización
			m	m	m	ft ²			kg/cm ² (m)	kg/cm ² (m)	kg/cm ² (m)	%	kg/cm ² (m)	s	min
D-1001	104 y 105	H	9.754	3.2	2.14	*	simple	1	6.2	7.502	1.0335	93	4.5	1	40
D-1002	120 y 121	V	9.144	2.134	6.12	*	simple	1	80.2	97.04	1.0335	93	74.9	1	40
D-1008	122, 401 y 402	H	7.925	1.981	1.584	*	simple	1	14	16.94	1.0335	93	13.1	1	40
D-1009	408	H	4.115	1.372	1.067	*	simple	1	12.4	15	1.0335	93	12.4	1	40
D-1010	415 y 420	H	5.0292	1.676	1.067	*	simple	1	6	7.26	1.0335	93	4.8	1	40
D-1072	516	H	12.192	3.048	2.256	*	simple	1	3.5	4.235	1.0335	93	1.5	1	40

* Opcional, en caso de no suministrarse el simulador propondrá un valor con base al nivel del equipo.

4.12.2 Niveles de presión.

La Presión de ajuste para la válvula de relevo es igual a la presión de diseño del recipiente. En todos los casos la sobrepresión permisible es el 21% de la presión de ajuste. La presión de relevo se obtiene al adicionar a la presión de ajuste la sobrepresión permisible y sumarle la presión atmosférica, que en este caso es 1.0335kg/cm².

4.12.3 Propiedades a condiciones de relevo.

Las propiedades a condiciones de relevo corresponden a las obtenidas del equilibrio al alcanzarse la presión de apertura total. Durante la operación de la válvula las condiciones pueden variar ligeramente, sin embargo las utilizadas para el dimensionamiento del orificio serán las máximas de depresurización. La temperatura de relevo corresponderá al máximo valor obtenido en el perfil, el cual además será el equilibrio a condiciones de relevo.



4.12.4 Determinación de la masa a relevar

Primero se requiere conocer el calor suministrado por las llamas, este se obtiene de emplear uno de los modelos mencionados en el capítulo II. Por motivos comparativos se empleara la ecuación API y se utilizara el modelo simple de pérdida de calor para determinar el calor real transferido. El área de transferencia de calor corresponde únicamente a la superficie mojada del cilindro del recipiente. Se considera además que todos los recipientes se encuentran desnudos por lo que el factor ambiental será igual a 1. De esta forma se conocerá la masa en una infinidad de tiempo; integrando las pérdidas de masa a lo largo del escenario se obtiene la masa total que paso a través de la válvula. La masa a relevar se obtiene como la diferencia entre la masa inicial a condiciones de operación máximas menos el total que paso a través de la válvula.

4.12.5 Cálculo del Área del orificio de la válvula.

Para obtener el orificio más adecuado se requiere realizar diversas corridas con el siguiente procedimiento. Primero se inicializa con un valor de orificio de válvula para determinar si puede operar de forma adecuada dentro de los niveles de presión. El simulador desplazara esta área de acuerdo a un acercamiento del 1% tantas veces como sea necesario hasta ajustar la válvula. Posteriormente se ajustara de forma manual el tiempo que transcurre para regresar a una presión de recierre. Inicialmente se prevén 40 minutos para la operación; el tiempo cero corresponde a la operación normal, posteriormente se presuriza el tanque hasta su presión de ajuste y comienza a abrir la válvula, sin embargo este sigue incrementando la presión hasta la de relevo, donde opera la válvula por algunos minutos y ocasiona que la presión descienda cerca de la operación. El tiempo que transcurre desde la operación normal hasta que desahoga varía para cada caso por lo que se necesita ajustar manualmente; esto no quiere decir que la válvula tarde más de 40 minutos en operar, dicho tiempo corresponde al lapso inicial estimado que durara el escenario (operación normal, emergencia, alivio y nuevamente operación normal). Si se cambiara el orificio para disminuir los tiempos de operación de las válvulas estas funcionarían intermitentemente desalojando una cantidad de masa, volviendo a cerrar y nuevamente abriendo al acumularse la presión; esto no es conveniente por que los internos de la válvula se dañan. Puede ocurrir que dos orificios brinden el servicio de forma adecuada, en tal caso se seleccionara el orificio más pequeño, considerando que el tiempo de operación puede

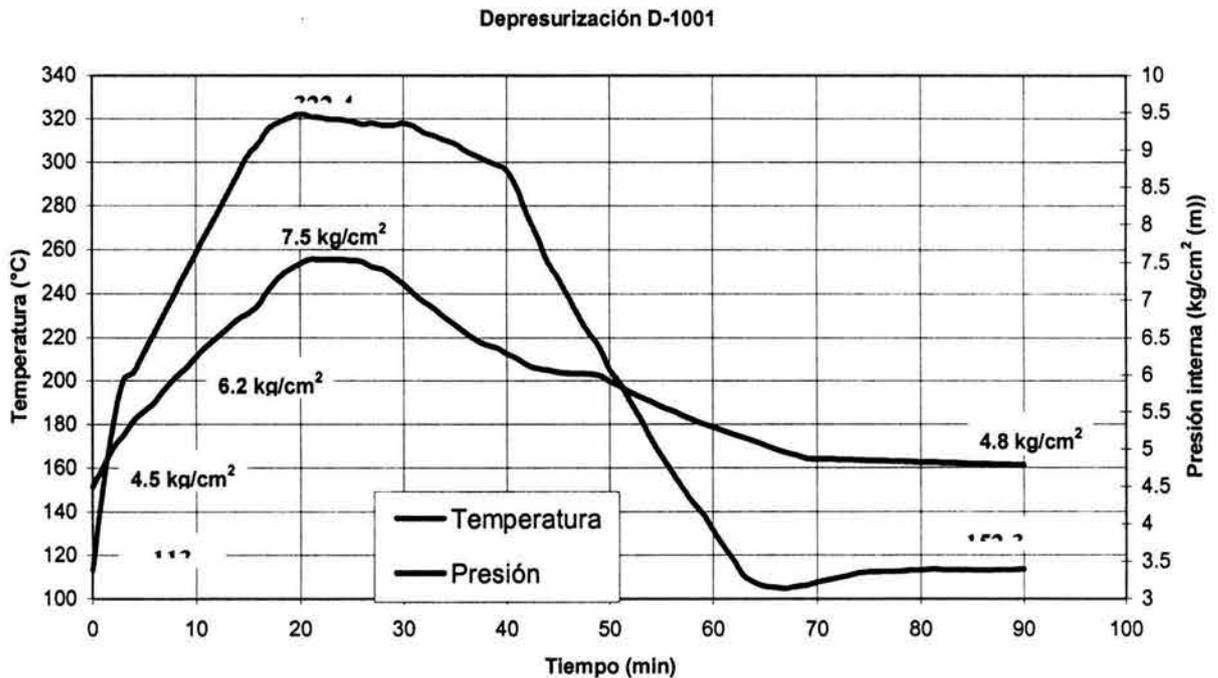


incrementarse algunos minutos más. De esta forma se seleccionara la válvula del menor tamaño capaz de aliviar la presión dentro de los niveles requeridos y asegurando una operación normal.

Es necesario mencionar que se espera que los diámetros obtenidos por este método sean menores a los obtenidos por los cálculos con consideraciones conservadoras; el flujo de materia total desalojado por la válvula debe ser menor mucho menor, al igual que la temperatura de relevo.

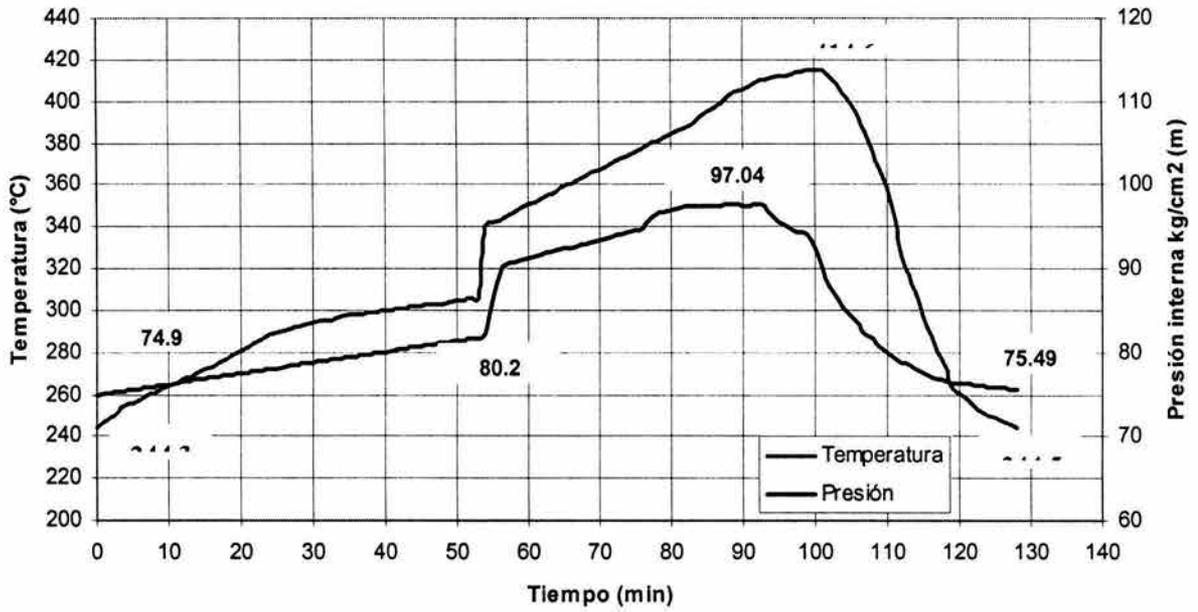
4.12.6 Perfiles de depresionamiento.

Se presentan en las siguientes gráficas los perfiles obtenidos para cada unidad. Las gráficas corresponden al comportamiento de los equipos utilizando los orificios finales mostrados en la tabla 4.4.

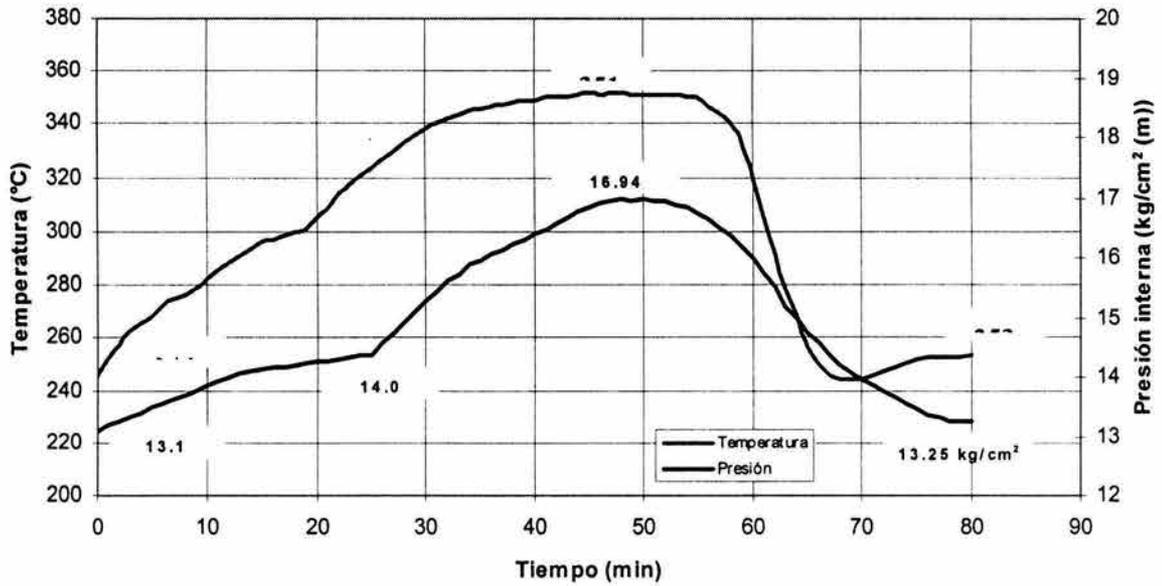




Depresurización D-1002

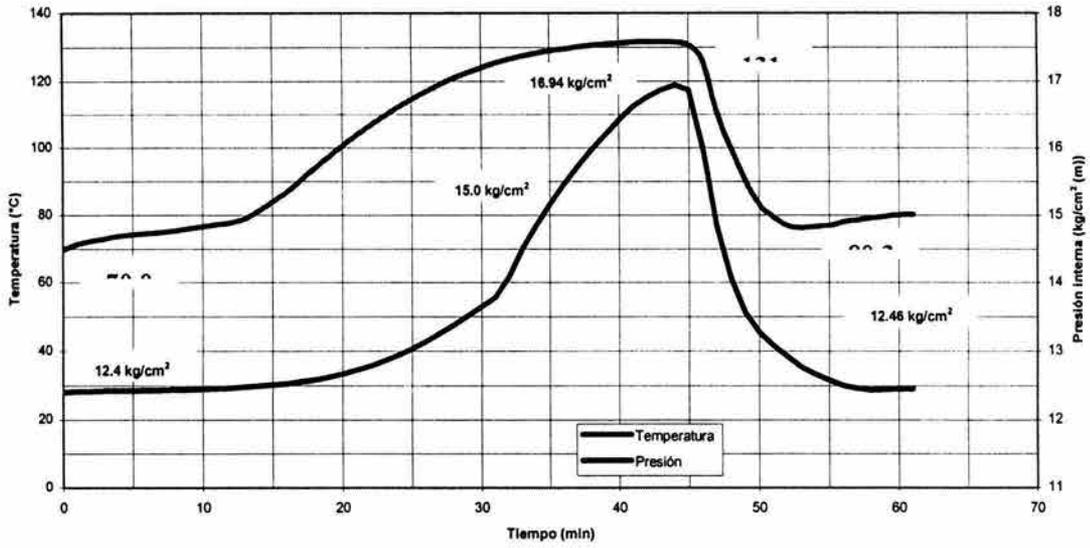


Depresurización D-1008

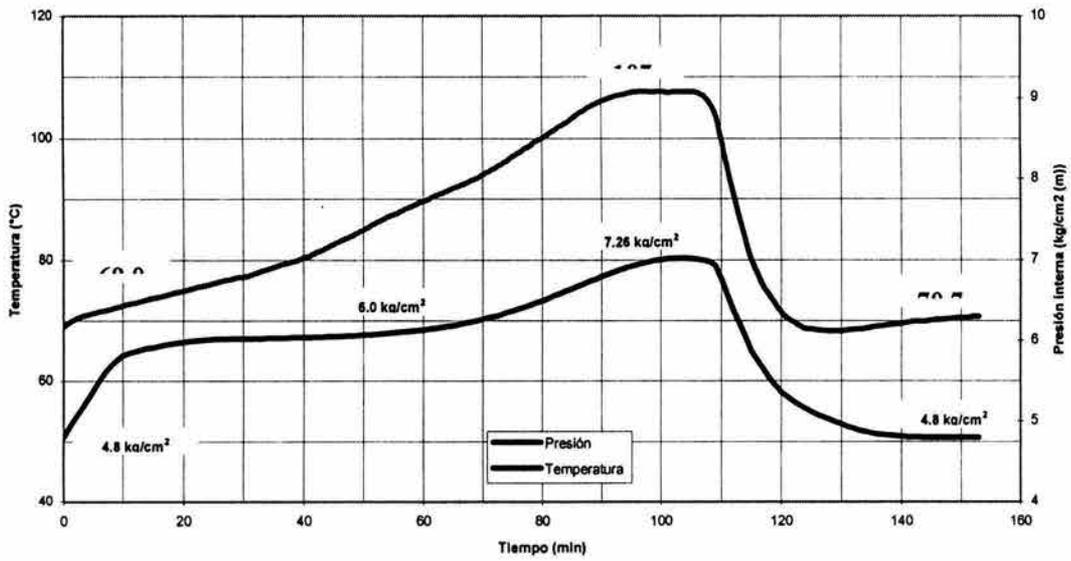




Depresurización D-1009



Depresurización D-1010





4.12.7 Resumen de las válvulas.

Empleando la metodología descrita en las páginas anteriores se encuentra la siguiente solución para cada equipo:

Tabla 4.4. Resumen de válvulas. De la simulación se obtienen las siguientes válvulas.

Válvula de Relevo	Área calculada	Área seleccionada	Orificio	Presión de operación	Presión inicial	Presión final	Temperatura de operación	Temperatura inicial	Temperatura final	Flujo a través de la válvula	Tiempo del escenario
	cm ²	cm ²		kg/cm ² (m)	kg/cm ² (m)	kg/cm ² (m)	°C	°C	°C	kg/h	min
PSV-01	17.2	18.41	L	4.5	4.5	4.8	113	113	113.5	15600	90
PSV-02	10	11.86	K	74.9	74.9	75.49	244	244.3	244.5	4995	128
PSV-03	2.2	3.25	G	13.1	13.1	13.25	246	246	253.2	7794	80
PSV-04	1.1	1.26	E	12.4	12.4	12.46	70	69.98	70.3	1096	60
PSV-05	3.5	5.06	H	4.8	4.8	5	69	68.98	70.7	3461	153
PSV-06	11	11.86	K	1.5	1.5	2.2	80	79.99	80	1077	120

4.13 Comparación de consideraciones.

Finalmente lo que determinara la efectividad del cálculo será la operación real de la válvula. Sin embargo existe una forma preliminar de compararlas mediante los flujos obtenidos y los orificios seleccionados. Las consideraciones dinámicas y las ecuaciones de balance arrojan temperaturas de relevo menores; el calor transferido al líquido durante la emergencia es menor al esperado por las consideraciones de estado estacionario lo que se ve reflejado en la disminución en la cantidad de masa aliviada. La conveniencia de introducir la variable tiempo dentro de los modelos nos ayuda a visualizar el fenómeno y saber en que momento se tiene controlada la emergencia; nos proporciona un tiempo aproximado de operación de la válvula y una temperatura más apegada a la realidad. En el caso de estado estacionario, se pierde la noción de la operación: al no saber el tiempo aproximado de operación se acostumbra elevar el valor de temperatura esperado para asegurar el buen funcionamiento de la válvula. Si la temperatura se reduce rápidamente la válvula puede cerrar y ocasionar aperturas intermitentes, esto no puede apreciarse con los escenarios permanentes; el proceso dinámico puede ayudarnos a sustituir la válvula por una de menor tamaño pagando el precio de un alivio más lento.



Las consideraciones tradicionales no contemplan el extrangulamiento, lo que provocaría que la válvula no pudiera aliviar lo suficientemente rápido el fluido. Cuando se selecciona primero el tamaño del orificio y se realizan los cálculos partiendo de este valor, se asegura que la válvula no caiga en dicho problema. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos mediante dichos procedimientos para su comparación.

Válvula de Relevo	Régimen dinámico			Estado estacionario			RD	EE	RD	EE
	Área calculada	Área seleccionada	Orificio	Área calculada	Área seleccionada	Orificio	Temperatura de relevo		Masa a aliviar	
	cm ²	cm ²		cm ²	cm ²		°C	°C	kg/h	kg/h
PSV-01	17.2	18.41	L	15.612	8.3032	J*	322.4	386	15600	9977
PSV-02	10.3	11.86	K	13.326	18.406	L	414.6	427	4995	33534
PSV-03	2.2	3.25	G	5.3859	8.3032	J	351.4	358	7794	8901
PSV-04	1.1	1.26	E	2.038	3.2452	G	131.7	121	1096	1743
PSV-05	3.5	5.06	H	7.9729	8.3032	J	107.5	122	3461	4758
PSV-06	15.1	18.41	L	13.075	18.406	L	148.2	185	1077	3679

* Se requieren 2 válvulas para el servicio.

4.14 Análisis de resultados.

De acuerdo a la hipótesis planteada en esta tesis, que intenta demostrar que las válvulas seleccionadas utilizando consideraciones dinámicas son más pequeñas para un mismo servicio que las seleccionadas por a régimen permanente, se pueden observar lo siguiente:

Las válvulas obtenidas mediante consideraciones y procedimientos dinámicos resultaron ser de menor o igual tamaño. En el caso específico de la válvula PSV-01 el área calculada resulto ser mayor al esperado por el régimen permanente, aunque el uso de una válvula “L” o de dos de tipo “J” sea el mismo resultado. Durante las corridas no se logro encontrar una mejor válvula para dicho servicio, el incremento de área se ve reflejado en operación intermitente y una reducción en el tempo y el desalojo de materia. Cabe mencionar que en los escenarios dinámicos la reducción de los tiempos de alivio propicia que las válvulas dejen escapar un menor flujo. Es así que la válvula resultante no logró aliviar rápidamente la presión y la masa resulto mucho mayor al esperado.



La temperatura de relevo de los diferentes escenarios fue menor al considerado a régimen permanente. La temperatura no es tan extrema y esto reduce la masa relevada a excepción del caso PSV-01. El perfil de temperatura observado en los diferentes casos nos ayuda a afirmar que la temperatura sufre cambios más bruscos que la presión; durante el relevo el perfil desciende por debajo del valor de temperatura de operación normal, la presión remanente después del cierre se disipa en forma de calor aumentando la temperatura interna hasta su valor inicial.

Los tiempos de depresurizado son variables y dependen del tipo de fluido relevado, el inventario de líquido afectado por las llamas, el tipo de recipiente, la naturaleza de los fluidos y la disipación de calor. Las válvulas emplean diferentes tiempos para relevar, no se puede estimar el tiempo de operación empleando casos similares a los de estudio; si se necesita saber el tiempo aproximado se requiere hacer el análisis dinámico.

Las válvulas obtenidas mediante consideraciones de estado estacionario pueden cumplir con los requerimientos de servicio, viéndose disminuido el tiempo de depresurización; sin embargo, en la PSV-03 y 04 las válvulas pueden presentar mal funcionamiento debido a que están sobradas. La reducción del tamaño, asegura la operación adecuada y puede ser atractivo en cuanto a costos de instalación; sin embargo, los tiempos de depresurización aumentan.

Todas las corridas obtenidas para los equipos nos dan una estimación del comportamiento del fenómeno, nos ayudan a conocer el tiempo estimado de operación de la válvula y los niveles de temperatura máximos que alcanzara el recipiente. Así, se justifica el empleo de consideraciones dinámicas para determinar los orificios de las válvulas cuando se cuente con el tiempo y recursos, obteniéndose diámetros menores y condiciones menos severas de operación.



Conclusiones.

El capítulo I aporta los lineamientos generales, definiciones y el funcionamiento básico del sistema de relevo de presión. La aportación real que deja este capítulo es proporcionar a otros ingenieros de procesos y estudiantes una guía condensada del sistema de relevo de presión, que debido a la dificultad de conseguir los códigos y su extensión resulta más atractivo. Los esquemas de válvulas y la teoría básica expuesta dentro del capítulo I, ayudan a visualizar el comportamiento del fenómeno y entenderlo con facilidad.

Se transmite un panorama general de la normatividad vigente aplicable a los sistemas de presión; esto es muy práctico cuando se requiere abocarse a un elemento del sistema y no se conocen los códigos, estándares y normas involucrados en su diseño, instalación y verificación.

El capítulo II está orientado a la aportación de las ecuaciones y modelos empleados para el dimensionamiento de los dispositivos de relevo de presión, así como los criterios y consideraciones en estado estacionario y a régimen dinámico. No es fácil conseguir o tener acceso a los códigos y estándares, por lo que considere adecuado incluir las ecuaciones, gráficas y tablas necesarios para el dimensionamiento de las válvulas empleando diferentes fluidos.

Las buenas prácticas de ingeniería proporcionadas por el Instituto Mexicano del Petróleo se complementaron con la experiencia adquirida en proyectos similares para describir una metodología para atacar el problema de sobrepresión.

La tercera parte se aboca en presentar cada uno de los documentos de ingeniería básica necesarios para el dimensionamiento de los sistemas de relevo y trata de aportar una pequeña guía para utilizar el simulador de procesos como una herramienta para resolver los modelos a régimen dinámico. Cabe mencionar que los manuales no describen de forma adecuada el módulo, la explicación mostrada en esta tesis es una recopilación de lo aprendido durante la tesis y de los papeles técnicos proporcionados por la empresa. Sin esta aportación considero que el emplear el módulo resultaría más impráctico y aumentaría el



tiempo de aprendizaje, empleando una mayor cantidad de recursos para resolver el problema.

Se proponen algunas tablas para reunir la información básica de la planta y determinar los posibles eventos de falla. Aunque en esta tesis no se consideran otro tipo de fallas en el caso de estudio, se explica las causas más comunes de sobrepresionamiento.

La disminución de diámetros dentro de las evoluciones económicas siempre resultan convenientes y atractivas, sin embargo el costo asociado a determinar estas reducciones no se justifica durante la etapa de ingeniería básica.

Debido a la cantidad de recursos empleados para el análisis, horas hombre, licencias de software y asesoría técnica por expertos, no se justifica el estudio dinámico del comportamiento del sistema dentro de la etapa de ingeniería básica. Las válvulas obtenidas en esta etapa del diseño siempre son rectificadas por el especialista de ingeniería de detalle, el cual regularmente ajusta este valor.

No existen sistemas de control para los sistemas de relevo, sin embargo el estimar de forma adecuada los tiempos de presionamiento y alivio nos pueden auxiliar para controlar el fenómeno y las descargas al cabezal.

El comportamiento de las temperaturas apreciadas en las corridas del simulador nos ayudan a comprender que el sistema regula su presión después del alivio al emplear energía para volver a elevar la temperatura del sistema que al cerrar la válvula se encuentra por debajo de su valor de operación.

Las válvulas dimensionadas con las consideraciones dinámicas tienen un menor área de orificio para cubrir el servicio de manera adecuada, dando una estimación en los tiempos de alivio y proporcionando una temperatura de relevo más cercana a la realidad.

H-1001
CALENTADOR
DE CARGA
QT=9.1088 MMkcal/h

R-1001
REACTOR DE
HIDRODESULFURACION
∅=4572 mm
L. T-T.=21184 mm

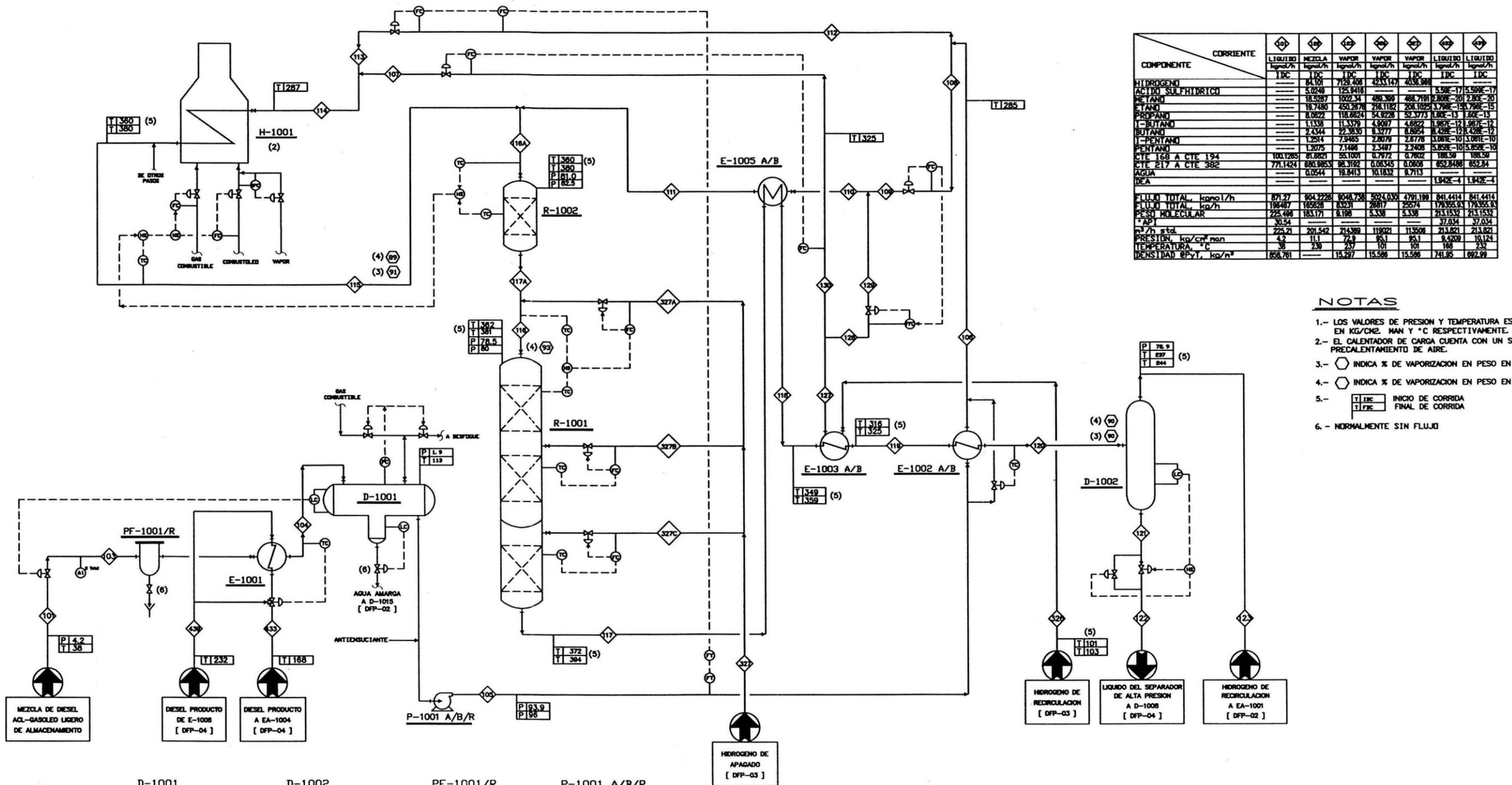
R-1002
REACTOR DE
DESMETALIZACION
∅=4115 mm
L. T-T.=3846 mm

E-1001
INTERCAMBIADOR DE CARGA/
DIESEL PRODUCTO
QT=7.004 MMkcal/h

E-1002 A/B
PRIMER INTERCAMBIADOR
CARGA/EFLUENTE DEL
REACTOR
QT=19.617 MMkcal/h

E-1003 A/B
INTERCAMBIADOR HIDROGENO/
EFLUENTE DEL REACTOR
QT=9.3893 MMkcal/h

E-1005 A/B
SEGUNDO INTERCAMBIADOR
CARGA/EFLUENTE DEL
REACTOR
QT=6.0726 MMkcal/h



CORRIENTE	101		102		103		104		105		106	
	LIQUIDO	MEZCLA	VAPOR	VAPOR	VAPOR	LIQUIDO						
COMPONENTE	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h
HIDROGENO	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
ACIDO SULFHDRIICO	5.0248	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418	125.9418
METANO	18.5287	1602.34	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369	488.369
ETANO	18.7480	450.2878	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182	218.1182
PROPANO	8.0822	118.6824	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228	54.9228
I-BUTANO	1.1338	11.3379	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077	4.9077
BUTANO	2.4344	22.3830	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277	8.3277
I-PENTANO	1.2514	7.9485	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078	2.8078
PENTANO	1.2075	7.1488	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487	2.3487
CTE 168 A CTE 194	100.1285	81.8821	55.1001	0.7872	0.7802	188.59	188.59	188.59	188.59	188.59	188.59	188.59
CTE 217 A CTE 382	771.1424	680.9853	98.3192	0.08345	0.0806	852.8488	852.84	852.84	852.84	852.84	852.84	852.84
AGUA	0.0544	18.8413	10.1832	8.7113	8.7113	1.942E-4						
DEA												
FLUIDO TOTAL, kgmol/h	871.27	804.2228	804.758	5024.030	4791.189	841.4414	841.4414	841.4414	841.4414	841.4414	841.4414	841.4414
FLUIDO TOTAL, kg/h	196487	185828	83231	26817	25574	178355.93	178355.93	178355.93	178355.93	178355.93	178355.93	178355.93
PESO MOLECULAR	225.488	183.171	8.186	5.338	5.338	213.1532	213.1532	213.1532	213.1532	213.1532	213.1532	213.1532
*API	30.54					37.034	37.034	37.034	37.034	37.034	37.034	37.034
m³/h std	225.21	201.542	214.389	118021	113508	213.821	213.821	213.821	213.821	213.821	213.821	213.821
PRESTION, kg/cm² man	4.2	11.1	72.9	85.1	85.1	8.4209	10.124	10.124	10.124	10.124	10.124	10.124
TEMPERATURA, °C	38	239	237	101	101	168	232	232	232	232	232	232
DENSIDAD @PVT, kg/m³	858.761		15.287	15.588	15.588	741.85	882.99	882.99	882.99	882.99	882.99	882.99

NOTAS

- 1.- LOS VALORES DE PRESION Y TEMPERATURA ESTAN DADOS EN KG/CM2. MAN Y °C RESPECTIVAMENTE.
- 2.- EL CALENTADOR DE CARGA CUENTA CON UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE.
- 3.- ○ INDICA % DE VAPORIZACION EN PESO EN FDC
- 4.- ○ INDICA % DE VAPORIZACION EN PESO EN IDC
- 5.- T IFC INICIO DE CORRIDA
T IFFC FINAL DE CORRIDA
- 6.- NORMALMENTE SIN FLUJO

D-1001
ACUMULADOR
DE CARGA
∅=3200 mm
L. T-T=9144 mm

D-1002
SEPARADOR CALIENTE
DE ALTA PRESION
∅=2134 mm
L. T-T=9144 mm

PF-1001/R
FILTRO DE CARGA
Cap.=228.8 m³/h
∆p=0.70 kg/cm²

P-1001 A/B/R
BOMBA DE CARGA
Cap.=121.04 m³/h
∆p=92.10 kg/cm²

DESIJOS DE REFERENCIA:	DESCRIPCION:	REV.	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA
DFP-FQ-T2004-02		0	MAIO	MAIO	VMI	21/05/2004
DFP-FQ-T2004-03						
DFP-FQ-T2004-04		1	MAIO	REVISO	VMI	25/05/2004

PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001
TESIS 2004
MEXICO, DISTRITO FEDERAL.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
SECCION DE REACCION
DFP-FQ-T2004-01

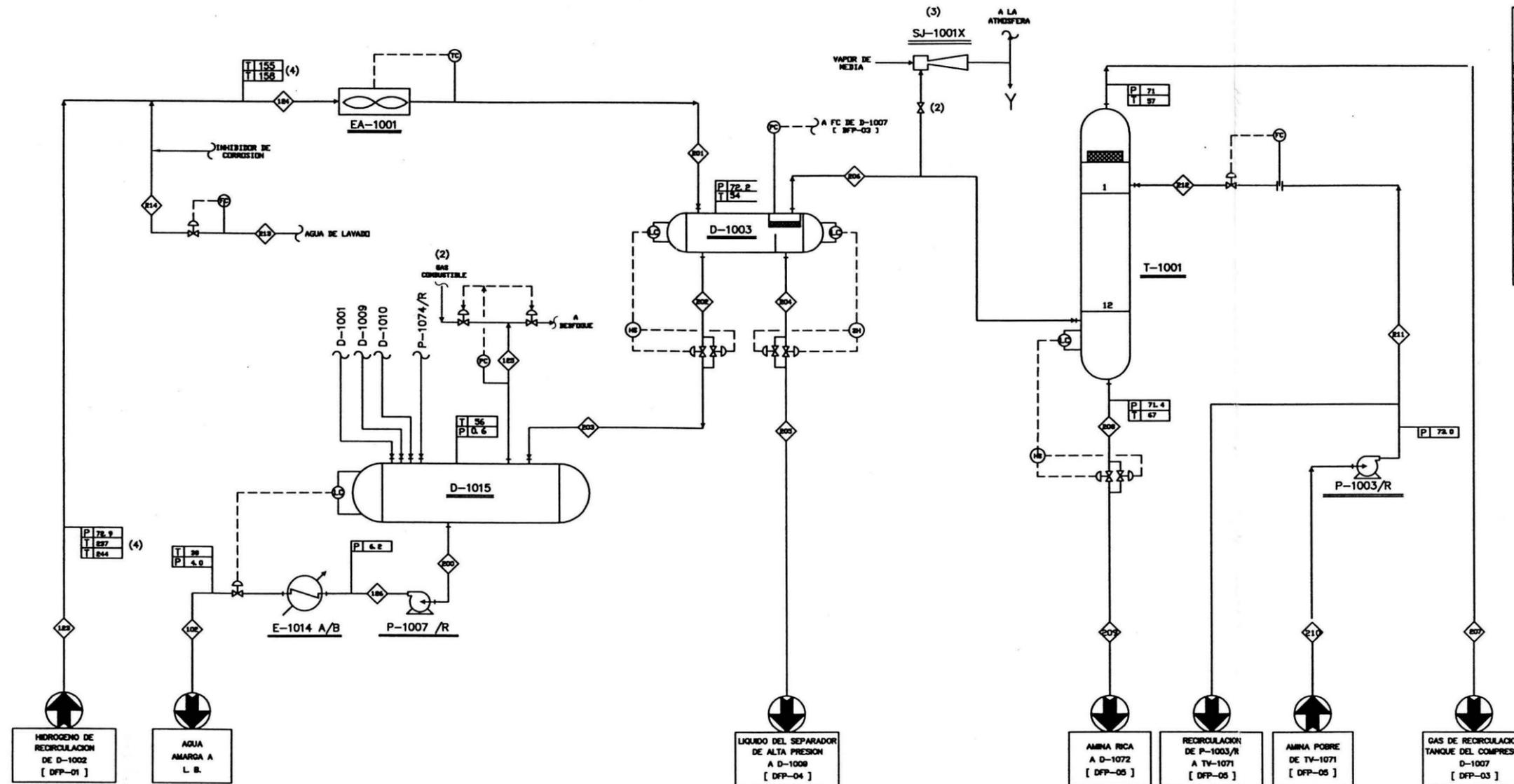
T-1001
TORRE LAVADORA
Ø=2286 mm
L. T-T. =15392 mm

E-1014 A/B
ENFRIADOR DE
AGUA AMARGA
QT=0.3795 MMkcal/h

EA-1001
ENFRIADOR DE HIDROGENO
DE RECIRCULACION
QT=19.0106 MMkcal/h

D-1003
SEPARADOR FRIO
DE ALTA PRESION
Ø=1981 mm
L. T-T. =9754 mm

D-1015
TANQUE ACUMULADOR
DE AGUA AMARGA
Ø=1676 mm
L. T-T. =5029mm



CORRIENTE	C-01		C-02		C-03		C-04		C-05	
	LIQUIDO	VAPOR	LIQUIDO	VAPOR	LIQUIDO	VAPOR	LIQUIDO	VAPOR	LIQUIDO	VAPOR
COMPONENTE	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h
HIDROGENO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ACIDO SULFURICO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
METANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ETANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PROPANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I-BUTANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
BUTANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I-PENTANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PENTANO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C7E 169 A C7E 194	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C7E 217 A C7E 262	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AGUA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
DEA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
FLUIDO TOTAL, kgmol/h	1375.4615	9048.736	198.574	875.918	7673.03	7529.5	---	---	---	---
FLUIDO TOTAL, kg/h	24776	83231	27506	51512	167040	162895.2	---	---	---	---
PESO MOLECULAR	18.01	3.198	136.936	5.910	21.767	21.8	---	---	---	---
*AP	10.063	---	---	---	---	7.35	---	---	---	---
m ³ /h	23.815	214.589	34.330	208.484	185.702	156.8	---	---	---	---
PRESION, kg/cm ² man	2.033	72.8	10.4	70.9	0.5	0.02	---	---	---	---
TEMPERATURA, °C	38.04	137	56	57	66	35	---	---	---	---
DENSIDAD @PyT, kg/m ³	879.308	15.597	---	14.68	---	989.7	---	---	---	---

- NOTAS**
- LOS VALORES DE PRESION Y TEMPERATURA ESTAN DADOS EN kg/cm² MAN Y °C, RESPECTIVAMENTE.
 - NORMALMENTE SIN FLUIDO.
 - SERA DEFINIDO POR EL CONTRATISTA DE LA INGENIERIA DE DETALLE.
 - | | |
|-------|---------------------|
| T 16C | INICIO DE CORRIENTA |
| T 17C | FIN DE CORRIENTA |

P-1003/R
BOMBA DE AMINA
POBRE DE ALTA PRESION
Cap. =162.7 m³/h
Δp=72.9 kg/cm²

P-1003/R
BOMBA DE AGUA
AMARGA
Cap. =25.7 m³/h
Δp =5.6 kg/cm²

SJ-1001X
EYECTOR Y
SILENCIADOR

DIBUJOS DE REFERENCIA:	DESCRIPCION:
DFP-FQ-T2004-03	REV: 0 DIBUJO REVISO VALIDO FECHA MAYO MAYO VAM 21/05/2004
DFP-FQ-T2004-04	REV: 1 DIBUJO REVISO VALIDO FECHA MAYO VAM UNAM 23/05/2004
DFP-FQ-T2004-05	ARCHIVO ELECTRONICO: DFP-FQ-T2004-02.DWG

PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001
TESIS 2004
MEXICO, DISTRITO FEDERAL
PLANTA TIPICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
SECCION DE LAVADO CON DEA
DFP-FQ-T2004-02

H-1002
REHERVADOR DE LA TORRE ESTABILIZADORA
QT=15.068 MMkcal/h

T-1002
TORRE ESTABILIZADORA
Ø₁=2591 mm
Ø₂=3658 mm
L. T-T.=4574 mm
L. T-T.=20877 mm

E-1006A/C
INTERCAMBIADOR ALIMENTACION/ FONDOS DE ESTABILIZADORA
QT=5.594 MMkcal/h

E-1007
GENERADOR DE VAPOR
QT=4.678 MMkcal/h

E-1008
PRECALENTADOR DE ALIMENTACION A GENERADOR DE VAPOR
QT=1.165 MMkcal/h

E-1009A/B
ENFRIADOR DE DIESEL PRODUCTO
QT=1.419 MMkcal/h

E-1011
ENFRIADOR DE DESCARGA DEL COMPRESOR DE GAS AMARGO
QT=0.068 MMkcal/h

T-1002
TANQUE SEPARADOR A LA DESCARGA DEL COMPRESOR DE GAS AMARGO
Ø = 610 mm
L. T-T.=3048 mm

E-1012
ENFRIADOR DE NAFTAS
QT=0.0869 MMkcal/h

EA-1004
ENFRIADOR DE DIESEL PRODUCTO
QT=10.618 MMkcal/h

EA-1005
CONDENSADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
QT=8.328 MMkcal/h

EA-1006
ENFRIADOR FINAL DE GASES
QT=0.494 MMkcal/h

D-1008
PRIMER SEPARADOR DE DIESEL
Ø = 1981 mm
L. T-T.=7925 mm

D-1009
SEGUNDO SEPARADOR DE DIESEL
Ø = 1372 mm
L. T-T.=4115 mm

D-1010
ACUMULADOR DE REFLUJO DE LA TORRE ESTABILIZADORA
Ø = 1676 mm
L. T-T.=5029 mm

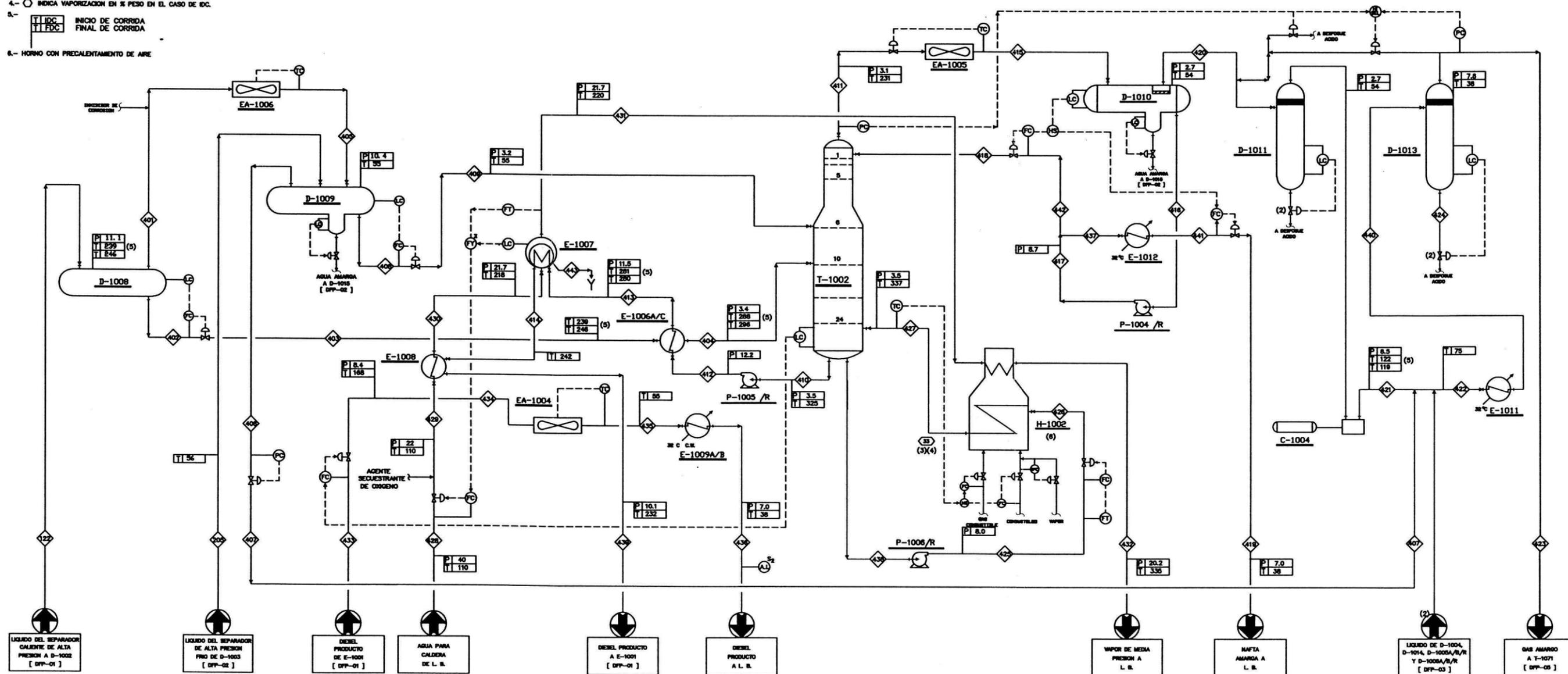
D-1011
TANQUE DE SUCCION DEL COMPRESOR DE GAS AMARGO
Ø = 610 mm
L. T-T.=3048 mm

CORRIENTE	MEZCLA		LIQUIDO		VAPOR		LIQUIDO		VAPOR	
	MEZCLA	LIQUIDO	MEZCLA	LIQUIDO	MEZCLA	LIQUIDO	MEZCLA	LIQUIDO	MEZCLA	LIQUIDO
HIDROGENO	84.101	8.24	0.084	82.28						
ACIDO SULFURICO	5.0248	4.07	0.038	0.26					3.508	17.5508
HEXANO	18.788	8.74	0.177	2.5					2.808	28.1308
HEPTANO	18.788	8.74	0.177	2.5					1.708	17.1308
PROPANO	0.822	0.75	2.573	12.23					0.8	13.008
ISOBUTANO	1.138	1.34	0.914	1.55					1.867	12.1807
BUTANO	2.4344	3.38	2.576	3.26					0.428	12.428
ISOPENTANO	1.2814	2.22	2.325	1.475					3.081	10.3081
PENTANO	1.2075	2.38	2.576	0.9078					5.058	10.5058
AGUA	0.0544	0.0103		0.0018	577.185	558.21				
AEA									1.942	1.942
CTE 168 A CTE 194	81.8821	81.8821	72.325	0.918					188.382	188.382
CTE 217 A CTE 382	880.885	880.885	0.918	1.425					852.885	852.885
FLUJO TOTAL, kgmol/h	804.2228	188.574	88.18	172.882	577.185	558.512	841.441	841.441	841.441	841.441
FLUJO TOTAL, kg/h	186426	27508	11028	2078.32	10308	10080	178358	178358	178358	178358
PESO MOLECULAR	183.171	138.139		15.84	18.01	18.01	213.153	213.153	213.153	213.153
ρ ₂₀	77.9	77.9		77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9
ρ ₁₅ a 15°C y 1.033 kg/cm ³	201.542	34.930	48.8	8.521		10.084	213.821	213.821	213.821	213.821
PRESION, kg/cm ² man	11.1	10.4	7.0	7.8	40.0	20.0	8.4	8.4	10.1	10.1
TEMPERATURA, °C	230	36	36	110	335	188	36	36	232	232
DENSIDAD ρ ₂₀ , kg/n			788.21	5.28	0.8137	7.8811	741.65	825.85	882.88	882.88

NOTAS

- 1.- LOS VALORES DE PRESION Y TEMPERATURA ESTAN DADOS EN kg/cm² man. Y °C RESPECTIVAMENTE.
- 2.- NORMALMENTE SIN FLUJO.
- 3.- ○ INDICA VAPORIZACION EN % PESO EN EL CASO DE FDC.
- 4.- ○ INDICA VAPORIZACION EN % PESO EN EL CASO DE IDC.
- 5.-

TI IDC	INICIO DE CORRIDA
TI FDC	FINAL DE CORRIDA
- 6.- HORNO CON PRECALENTAMIENTO DE AIRE



P-1004/R
BOMBA DE REFLUJO DE TORRE ESTABILIZADORA
Cap. = 68.4 m³/h
Ap = 5.9 kg/cm²

P-1005/R
BOMBA DE DIESEL PRODUCTO
Cap. = 299.7 m³/h
Ap = 8.7 kg/cm²

P-1006/R
BOMBA DE RECIRCULACION AL HORNO
Cap. = 1103.9 m³/h
Ap = 4.5 kg/cm²

C-1004
COMPRESOR DE GAS AMARGO
Cap. = 282 m³/h
Ap = 5.8 kg/cm²

REV.	DESCRIPCION	FECHA
0	DESIGNO	21/08/2004
1	MODIFICACION	22/08/2004

PLANTA HIDROSULFURADORA DE DIESEL U-1001
TESIS 2004
MEXICO, DISTRITO FEDERAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
SECCION DE AGOTAMIENTO
DFF-FQ-T2004-04

T-1071
ENDULZADORA DE GASES
Ø = 610 mm
L. T-T. = 16459 mm

T-1072
REGENERADORA DE AMINA
Ø = 3048 mm
L. T-T. = 21947 mm

E-1071 A/B
ENFRIADOR DE AMINA POBRE
QT=0.1729 MMkcal/h

E-1072
INTERCAMBIADOR DE AMINA POBRE/RICA
QT=4.828 MMkcal/h

E-1073 A/B
REHEVIDOR DE LA TORRE REGENERADORA DE AMINA
QT=24.616 MMkcal/h

E-1074 A/B
SEGUNDO CONDENSADOR DE LA REGENERADORA DE AMINA
QT=0.797 MMkcal/h

EA-1071
ENFRIADOR DE AMINA POBRE REGENERADA
QT=6.1448 MMkcal/h

EA-1072
PRIMER CONDENSADOR DE LA REGENERADORA DE AMINA
QT=17.436 MMkcal/h

TV-1001
TANQUE DE AMINA POBRE
Ø = 12954 mm
L. T-T. = 12192 mm

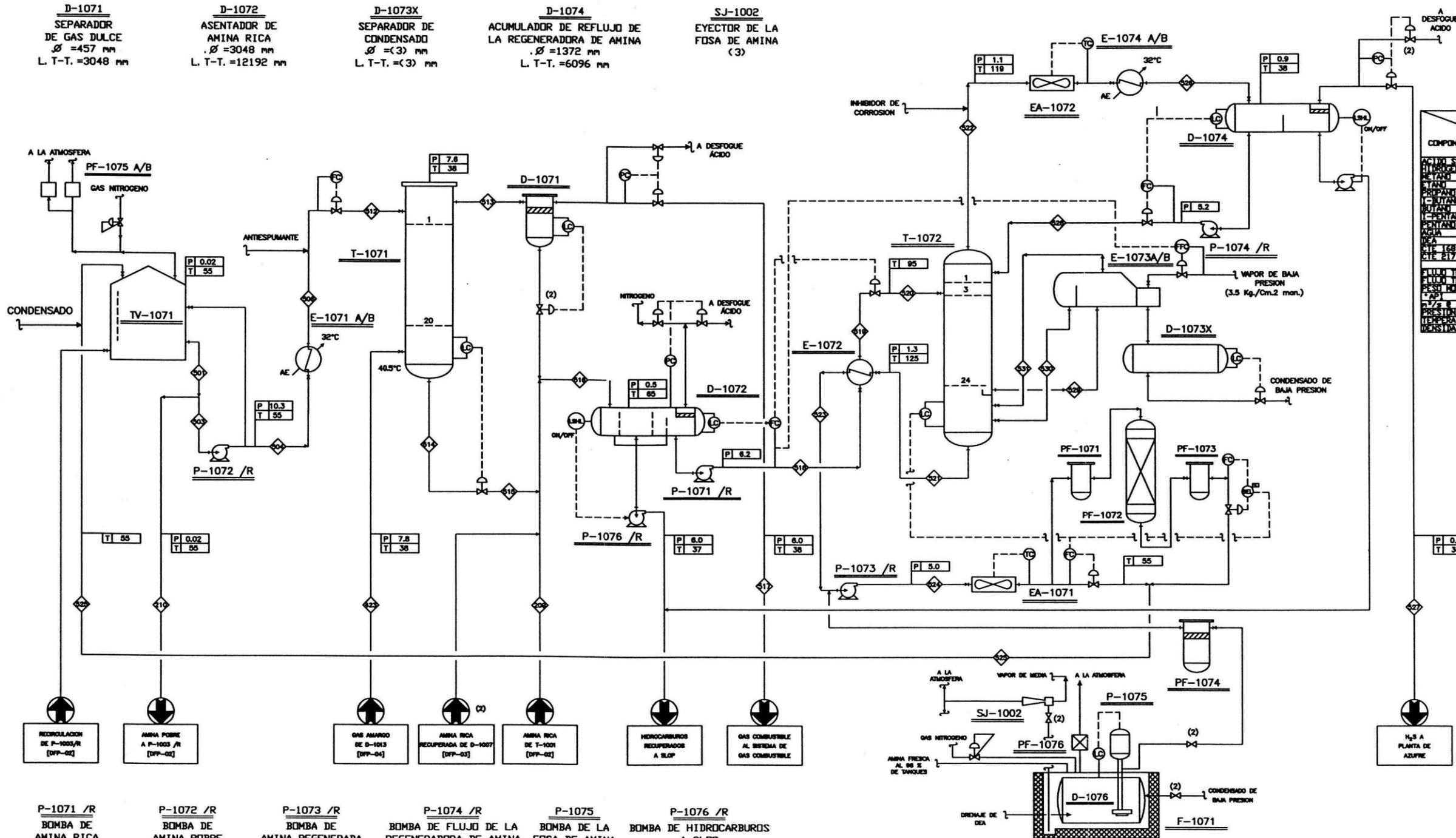
D-1071
SEPARADOR DE GAS DULCE
Ø = 457 mm
L. T-T. = 3048 mm

D-1072
ASENTADOR DE AMINA RICA
Ø = 3048 mm
L. T-T. = 12192 mm

D-1073X
SEPARADOR DE CONDENSADO
Ø = (3) mm
L. T-T. = (3) mm

D-1074
ACUMULADOR DE REFLUJO DE LA REGENERADORA DE AMINA
Ø = 1372 mm
L. T-T. = 6096 mm

SJ-1002
EYECTOR DE LA FOSA DE AMINA (3)



COMPONENTE	CORRIENTE				
	HECHO A	LIQUIDO	VAPOR	VAPOR	VAPOR
	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h	kgmol/h
ACIDO SULFURICO	110	110	110	110	110
NITROGENO	12.58	2.94	0.59	20.35	12.63
ETANO	1.38	—	24.51	24.46	0.004
ETANO	0.72	—	27.08	27.05	0.03
PROPANO	0.14	—	17.74	17.71	0.004
ICOPANO	0.04	—	1.55	1.50	—
BTANO	0.002	—	0.28	0.27	—
ICOPENTANO	0.002	—	0.1075	0.11	—
PENTANO	0.002	—	0.0879	0.08	—
AGUA	7224.6	7218.88	0.0850	1.2059	4.85
DEA	302.83	301.97	—	—	—
CIE 158 A CIE 194	—	—	1.1510	—	—
CIE 217 A CIE 322	—	—	1.1482	—	—
FLUJO TOTAL, kmol/h	767.83	758.5	172.962	165.180	131.71
FLUJO TOTAL, kg/h	167040	162860.3	2708	2433	4464
PESO MOLECULAR	21.767	21.3	15.04	14.73	33.43
FACT	1.73	7.25	—	—	—
n/g a 15°C y 1.033 kg/cm ²	—	—	1.138	1.085	0.885
PRE-SION, kg/cm ² man	0.5	0.02	7.8	6.0	0.7
TEMPERATURA, °C	88	25	38	38	38
DENSIDAD RPVT, kg/m ³	—	898.7	8.29	3.838	2.9

NOTAS

- 1.- LOS VALORES DE PRESION Y TEMPERATURA ESTAN BASES EN kg/cm² MM Y °C, RESPECTIVAMENTE.
- 2.- NORMALMENTE SIN FLUJO.
- 3.- SEHA DEFINIDO POR EL CONTRATISTA DE LA INGENIERIA DE DETALLE.
- 4.-

TI/DE	INICIO DE CORRIJA
TI/FE	FIN DE CORRIJA

P-1071 /R
BOMBA DE AMINA RICA
Cap. = 181.6 m³/h
Δp = 5.7 kg/cm²

P-1072 /R
BOMBA DE AMINA POBRE
Cap. = 11.1 m³/h
Δp = 10.2 kg/cm²

P-1073 /R
BOMBA DE AMINA REGENERADA
Cap. = 178.1 m³/h
Δp = 4.5 kg/cm²

P-1074 /R
BOMBA DE FLUJO DE LA REGENERADORA DE AMINA
Cap. = 30.2 m³/h
Δp = 4.4 kg/cm²

P-1075
BOMBA DE LA FOSA DE AMINA
Cap. = 17.3 m³/h
Δp = 3.64 kg/cm²

P-1076 /R
BOMBA DE HIDROCARBUROS A SLOP
Cap. = 10.32 m³/h
Δp = 7.26 kg/cm²

DIBUJOS DE REFERENCIA:		DESCRIPCION:			
DFP-FQ-T2004-02	REV. 0	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA
DFP-FQ-T2004-03	0	SHGO	SHGO	SHGO	21/08/2004
DFP-FQ-T2004-04	1	ESC:	REVISO	VALIDO	FECHA
		SHGO	VMI	UNIM	28/08/2004

ARCHIVO ELECTRONICO: DFP-FQ-T2004-05.DWG

PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001
PLANTA TÍPICA

TESIS 2004

MEXICO, DISTRITO FEDERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
REGENERACION DE AMINA

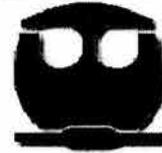
DFP-FQ-T2004-05



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

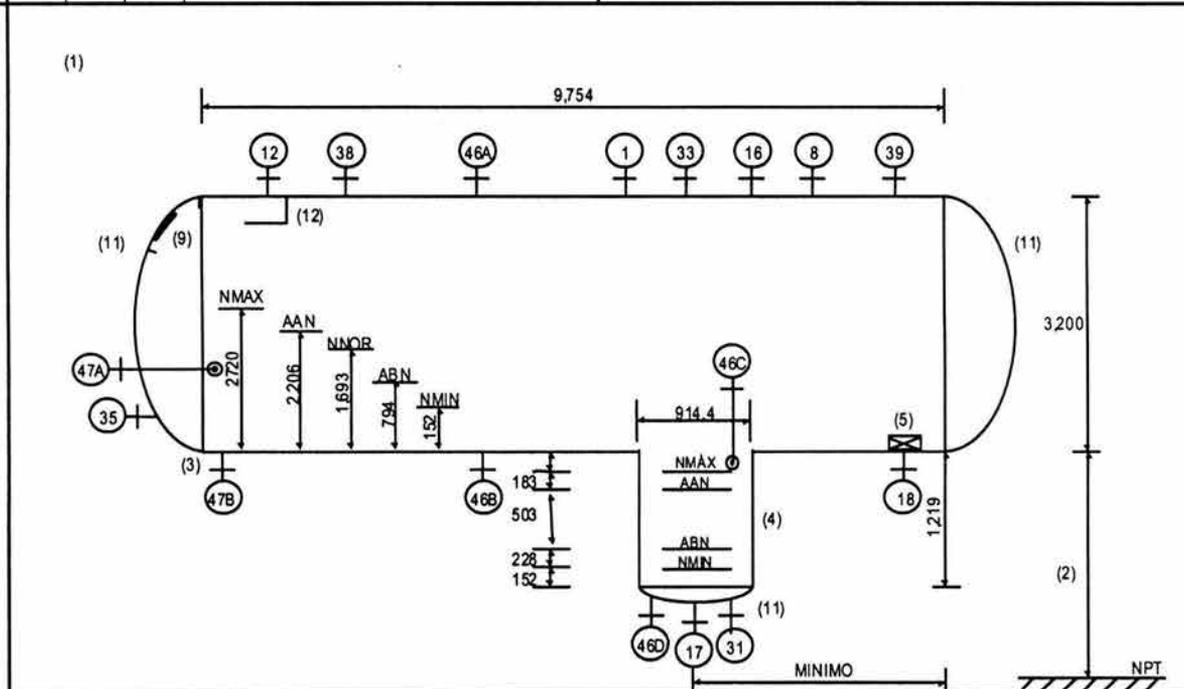
HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES



PLANTA: PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL "U-1000"	HOJA 1 DE 1
LOCALIZACIÓN:	REQ. / O.C. No.
CLAVE DEL EQUIPO: D - 1001	No. DE UNIDADES: UNA
SERVICIO: ACUMULADOR DE CARGA	POSICIÓN: HORIZONTAL

Tipo de Fluido:	Líquido: DIESEL/AC/LGASOLEO LIG	Flujo: 242.1 m ³ /h	Densidad: 811.5 kg/m ³
	Vapor o Gas: —	Flujo: — m ³ /h	Densidad: — kg/m ³
Temperatura:	Operación: 113 °C	Máxima: 113 °C	Diseño: 150 (7) °C
Presión:	Operación: 1.9 kg/cm ² man	Máxima: 1.9 kg/cm ² man	Diseño: 6.2+VACIO TOTAL kg/cm ² man.
Dimensiones:	Longitud: 9,754 mm	Diámetro: 3,200 mm	Cap. Total: 78.44 m ³ (T-T)
Nivel:	Normal: 1,693 mm	Máximo: 2,720 mm	Mínimo: 152 mm
Alarmas:	Alto Nivel: 2,206 mm	Bajo Nivel: 794 mm	Nivel de Paro: — mm
Materiales:	Cascarón: SA-516-70	Cabezas: SA-516-70	Malla separadora: Espesor: — mm Material: —
Tipo Circular:	Diámetro: — mm	Tipo Rectangular: Longitud: — mm Ancho: — mm	
Corrosión Perm.:	Cascarón: 3.2 (4) mm	Cabezas: 3.2 (4) mm	Aislamiento: SI Recub. Int.: NO
Relevado de esfuerzos:	SI	Estampado ASME: SI	

BOQUILLAS				NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio	
1	1	610	Registro de Hombre (8)	1) Acotaciones en mm
8	1	51	Venteo	2) Altura mínima por NPSH
12	1	254	Alimentación de PF-24001/R	3) Esta Boquilla se localiza a la altura del nivel mínimo
16	1	76	Línea de Igualación de presión	4) 6 mm de corrosión permisible en la bota
17	1	76	Salida de Agua Amarga a D-24015	5) Rompedor de Vortices.
18	1	304	Salida de Nafta a P-24001 A/B/R	6) Por EPC
31	1	76	Drene	7) Limpieza con Vapor de 150°C
33	1	(6)	Válvula de seguridad	8) Registro de hombre con tapa
35	1	51	Conexión de servicio	9) Placa de Desgaste
38	1	38	Control de presión	
39	1	152	Recirculación de P-24001 A/B/R	
46 AD	4	51	Instrumentos de Nivel	
47 AB	2	38	Interruptor de Nivel	



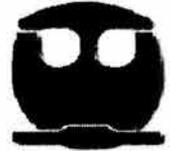
Revisión	1	2	3	4	5	6	7
Fecha							
Elaborado por							
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecanic							



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

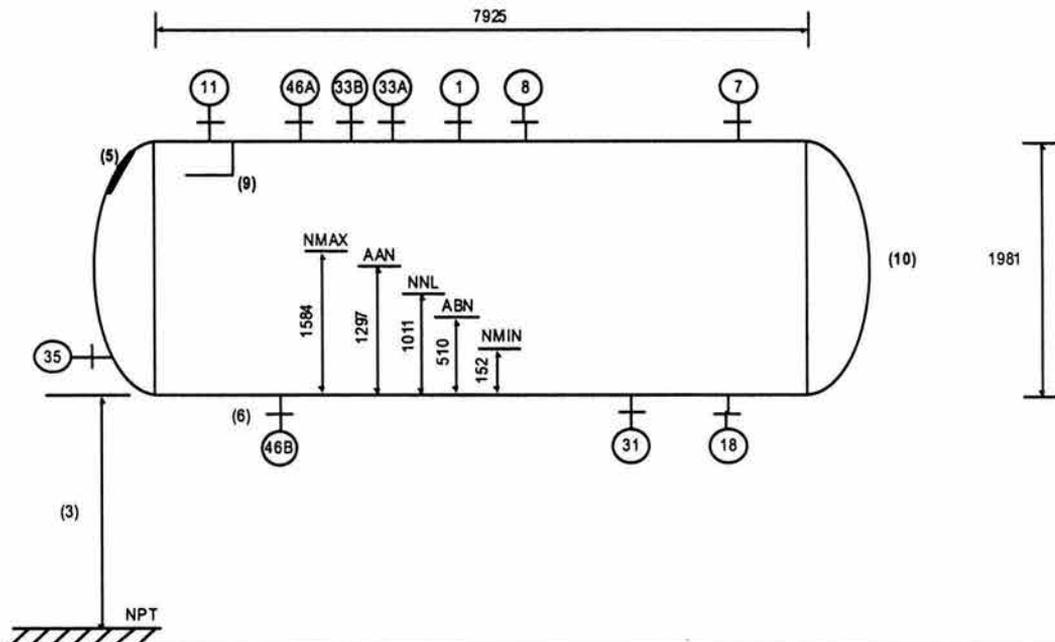
FACULTAD DE QUIMICA

HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES



PLANTA:	HIDRODESULFURADORA DE DIESEL "U-1000"			HOJA	1	DE	1
LOCALIZACIÓN:				REQ. / O.C. No.			
CLAVE DEL EQUIPO:	D-1008			No. DE UNIDADES:	UNA		
SERVICIO:	PRIMER SEPARADOR DE DIESEL			POSICIÓN	HORIZONTAL		
Tipo de Fluido:	Líquido:	DIESEL	Flujo:	238.615 (8) m ³ /h	Densidad:	678.29 kg/m ³	
	Vapor o Gas:	HIDROCARBUROS LIG.	Flujo:	0.122 (8) m ³ /s	Densidad:	6.80 kg/m ³	
Temperatura:	Operación:	239 °C	Máxima:	246 °C	Diseño:	261 °C	
Presión:	Operación:	11 kg/cm ² man	Máxima:	11.5 kg/cm ² man	Diseño:	13.5+Vac Tot kg/cm ² man	
Dimensiones:	Longitud:	7,925 mm	Diámetro:	1,981 mm	Cap. Total:	24 m ³ (T-T)	
Nivel:	Normal:	1,011 mm	Máximo:	1,584 mm	Mínimo:	152 mm	
Alarmas:	Alto Nivel:	1,297 mm	Bajo Nivel:	510 mm	Nivel de Paro:	---- mm	
Materiales:	Cascarón:	SA-516-70	Cabezas:	SA-516-70	Malla Separadora:	Espesor:	--- mm Material: ---
Tipo Circular:	Diámetro:	--- mm	Tipo Rectangular:	Longitud:	---- mm Ancho:	---- mm	
Corrosión Perm.:	Cascarón:	6.4 mm	Cabezas:	6.4 mm	Aislamiento:	SI	Recub. Int.: NO
Relevado de Esfuerzos:	SI		Estampado ASME:	SI (7)			

BOQUILLAS				NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio	
1	1	508	Registro de hombre (2)	1) Acotaciones en mm
7	1	102	Salida de HC ligeros a EA-24006	2) Registro de hombre con tapa y pescante. Estándar IMP A-EABC-2.033
8	1	51	Venteo	3) Mínimo por tuberías
11	1	305	Alimentación de D-24002	4) Por EPC
18	1	203	Salida de Diesel a E-24006A-C	5) Placa de Desgaste, en tapa de 2 veces el φ de boquilla, esp. 6.4 mm
31	1	51	Drene	6) Esta boquilla se localiza a la altura del N. MIN.
33AB	2	(4)	Válvula de seguridad	7) Como complemento, se debe cumplir con la esp. 512-ET-05-Rev. 2
35	1	51	Conexión de Servicio	8) Flujos correspondientes al Balance de Inicio de Corrida (IDC)
46AB	2	51	Instrumentos de nivel	9) De acuerdo a estandar IMP MD-8A
				10) Bridas WN, RF
				11) Cumplir con NACE MR 0103 y MR 0472



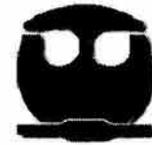
Revisión	1	2	3	4	5	6	7
Fecha							
Elaborado por							
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecánico							



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

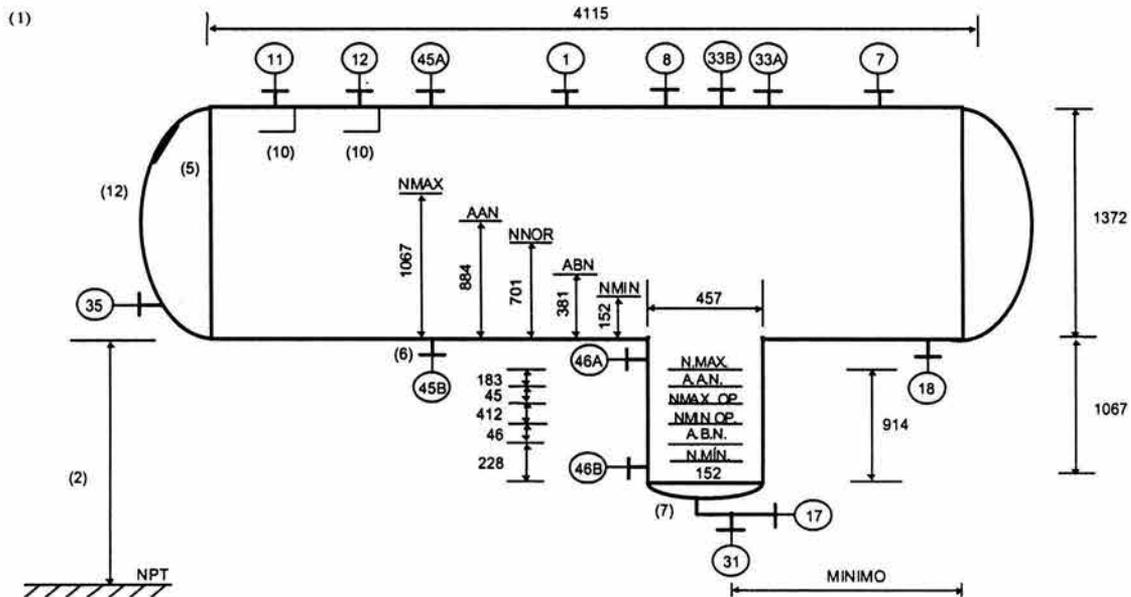
FACULTAD DE QUIMICA

HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES



PLANTA:	HIDRODESULFURADORA DE DIESEL "U-1000"			HOJA	1	DE	1
LOCALIZACIÓN:				REQ. / O.C. No.			
CLAVE DEL EQUIPO:	D-1009			No. DE UNIDADES:	UNA		
SERVICIO:	SEGUNDO SEPARADOR DE DIESEL			POSICIÓN	HORIZONTAL		
Tipo de Fluido:	Líquido:	DIESEL	Flujo:	39.56 (9) m ³ /h	Densidad:	770.15 kg/m ³	
	Vapor o Gas:	GAS AMARGO	Flujo:	0.091 (9) m ³ /s	Densidad:	5.26 kg/m ³	
Temperatura:	Operación:	55 °C	Máxima:	70 °C	Diseño:	150 °C	
Presión:	Operación:	10.4 kg/cm ² man	Máxima:	10.4 kg/cm ² man	Diseño:	12.4/Vac. Tot. kg/cm ² man	
Dimensiones:	Longitud:	4,115 mm	Diámetro:	1,372 mm	Cap. Total:	6.1 m ³ (T-T)	
Nivel:	Normal:	701 mm	Máximo:	1,067 mm	Mínimo:	152 mm	
Alarmas:	Alto Nivel:	884 mm	Bajo Nivel:	381 mm	Nivel de Paro:	---- mm	
Materiales:	Cascarón:	SA-516-70	Cabezas:	SA-516-70	Malla Separadora:	Espeor:	---- mm Material: ----
Tipo Circular:	Diámetro:	---- mm	Tipo Rectangular:	Longitud:	---- mm Ancho:	---- mm	
Corrosión Perm.:	Cascarón:	6.4 mm	Cabezas:	6.4 mm	Aislamiento:	SI	Recub. Int.: NO
Relevado de Esfuerzos:	SI		Estampado ASME:	SI (11)			

BOQUILLAS				NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio	
1	1	508	Registro de hombre (4)	1) Acolaciones en mm
7	1	102	Salida de vapor a E-24011	2) Mínimo por tubería
8	1	51	Venteo	3) Por EPC
11	1	152	Alimentación de D-24003	4) Registro de hombre con tapa y pescante. Estándar IMP A-EABC-2.033
12	1	102	Alimentación de EA-24006	5) Placa de desgaste, en tapa de 2 veces el f de boquilla, esp. 6.4 mm
17	1	51	Salida de Agua Amarga a D-24015	6) Esta boquilla se localiza a la altura del N.MÍN.
18	1	102	Salida de Diesel a T-24002	7) Normalmente sin flujo
31	1	51	Drene (En línea)	8) Limpieza con vapor de 150 °C
33AB	2	(3)	Válvula de seguridad	9) Flujos correspondientes al Balance Fin de Corrida (FDC)
35	1	51	Conexión de Servicio	10) De acuerdo al estandar IMP MD-8A
45AB	2	51	Vidrio de nivel	11) Como complemento, se debe cumplir con la esp. 512-ET-05-Rev. 2
46AB	2	51	Vidrio de nivel	12) Bidas WN,RF
				13) el equipo debe cumplir con NACE MR 0103 y MR 0472



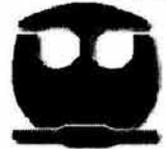
Revisión	1	2	3	4	5	6	7
Fecha							
Elaborado por							
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecánico							



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

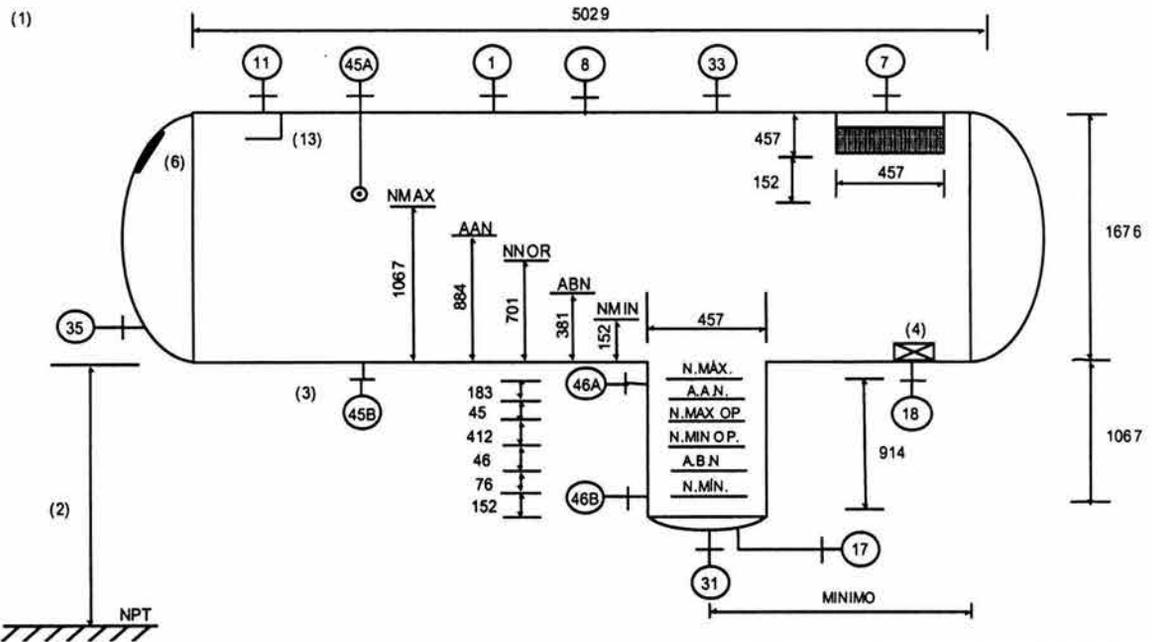
FACULTAD DE QUIMICA

HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES



PLANTA:	PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL "U-1000"			HOJA	1	DE	1
LOCALIZACIÓN:				REQ. / O.C. No.			
CLAVE DEL EQUIPO:	D-1010			No. DE UNIDADES:	UNA		
SERVICIO:	ACUMULADOR DE REFLUJO DE LA TORRE ESTABILIZADORA			POSICIÓN	HORIZONTAL		
Tipo de Fluido:	Líquido:	DIESEL	Flujo:	68.41 (8) m ³ /h	Densidad:	753.4	kg/m ³
	Vapor o Gas:	HIDROCARBUROS	Flujo:	0.078 (8) m ³ /s	Densidad:	3.8	kg/m ³
Temperatura:	Operación:	54 °C	Máxima:	69 °C	Diseño:	150 (10)	°C
Presión:	Operación:	2.7 kg/cm ² man	Máxima:	2.7 kg/cm ² man	Diseño:	6.0/Vac.Tot	kg/cm ² man
Dimensiones:	Longitud:	5,029 mm	Diámetro:	1,676 mm	Cap. Total:	11.1	m ³ (T-T)
Nivel:	Normal:	701 mm	Máxima:	1,067 mm	Mínimo:	152 mm	
Alarmas:	Alto Nivel:	884 mm	Bajo Nivel:	381 mm	Nivel de Paro:	----	mm
Materiales:	Cascarón:	SA-516-70	Cabezas:	SA-516-70	Malla Separadora:	Espesor: 152 mm	Material: A.I. 304
Tipo Circular:	Diámetro:	457 mm	Tipo Rectangular:	Longitud: ---- mm	Ancho:	----	mm
Corrosión Perm.:	Cascarón:	3.2 mm	Cabezas:	3.2 mm	Aislamiento:	SI	Recub. Int.:
Relevado de Esfuerzos:	SI		Estampado ASME:	SI (11)			

BOQUILLAS				NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio	
1	1	508	Registro de hombre (9)	1) Acolaciones en mm
7	1	102	Salida de vapor a D-24011	2) Altura mínima por el NPSH de P-24004/R
8	1	51	Venteo	3) Esta boquilla se localiza a la altura del N.MÍN.
11	1	254	Alimentación de EA-24005	4) Rompedor de vórtices. Estándar IMP A-EABC-2.013
17	1	51	Salida de líquido pesado a D-24015	5) Por EPC
18	1	152	Salida de líquido a P-24004/R	6) Placa de Desgaste, en tapa de 2 veces el ϕ de boquilla, esp. 6.4 mm
31	1	51	Drene	7) Flujo Intermitente
33	1	(5)	Válvula de seguridad	8) Flujos correspondientes al Balance Inicio de Corrida (IDC)
35	1	51	Conexión de Servicio.	9) Registro de hombre con tapa y pescante. Estándar IMP A-EABC-2.033
45AB	2	51	Instrumentos de nivel	10) Limpieza con Vapor de 150°C
46AB	2	51	Instrumentos de nivel	11) Como complemento, se debe cumplir con la esp. 512-ET-05-Rev. 2
				12) Malla de A.I. 304, Densidad 144 kg/m ³ ; Area Específica de 443 m ² /m ³ ; Fracción Vacio: 98.6%, Diámetro de Alambre 0.152 mm, Esid. IMP A-EABC-2.020
				13) De acuerdo a estándar IMP MD-8A
				14) Bridas WN, RF



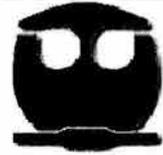
Revisión	1	2	3	4	5	6	7
Fecha							
Elaborado por							
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecanic							



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

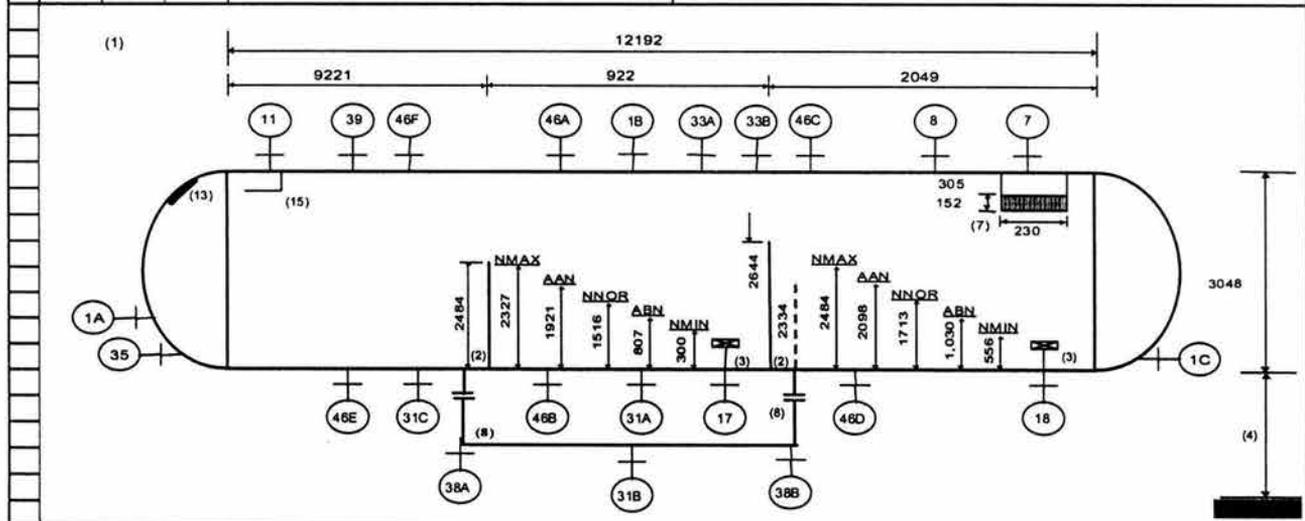
HOJAS DE DATOS DE RECIPIENTES



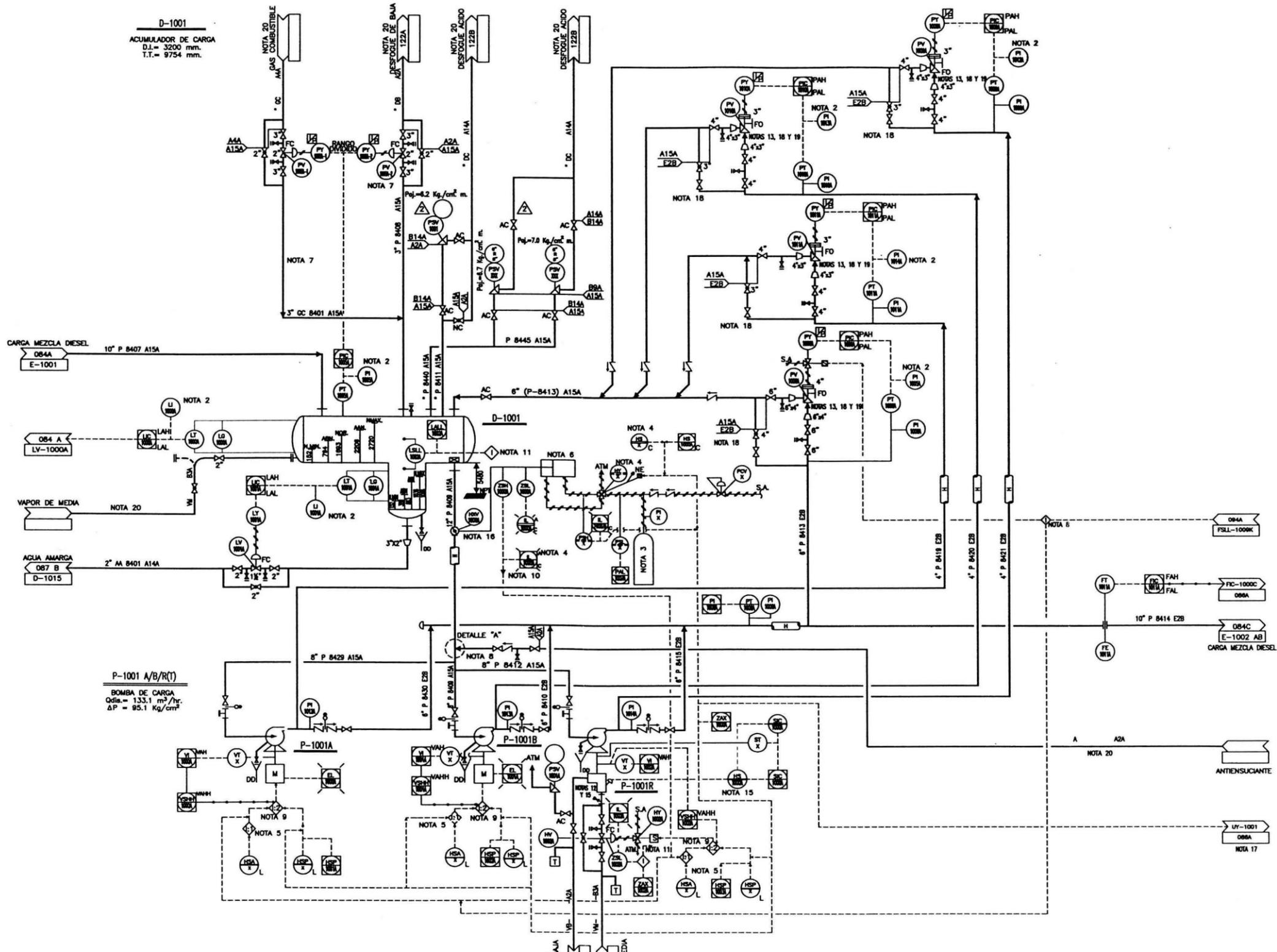
PLANTA: HIDRODESULFURADORA DE DIESEL "U-1000"		HOJA: 1	DE: 1
LOCALIZACIÓN:		REQ. / O.C. No.	
CLAVE DEL EQUIPO: D-1072		No. DE UNIDADES: UNA	
SERVICIO: ASENTADOR DE AMINA RICA		POSICIÓN: HORIZONTAL	
Tipo de Fluido:	Líquido: HC/DEA	Flujo: - / 182.1 (10) m³/h	Densidad: 768 / 980.6 Kg/m³
	Vapor o Gas: H₂- HC	Flujo: 410 (10) m³/h	Densidad: 0.576 Kg/m³
Temperatura:	Operación: 65 °C	Máxima: 80 °C	Diseño: 150 (6) °C
Presión:	Operación: 0.5 kg/cm² man	Máxima: 0.5 kg/cm² man	Diseño: 3.5 +Vacio Total kg/cm² man
Dimensiones:	Longitud: 12,192 mm	Diámetro: 3,048 mm	Cap. Total: 89 m³
Nivel HC/DEA:	Normal: 1516/1713 mm	Máximo: 2327/2484 mm	Mínimo: 300/556 mm
Alarmas HC/DEA:	Alto Nivel: 1921/2098 mm	Bajo Nivel: 807/1030 mm	Nivel de Paro: — mm
Materiales:	Cuerpo: A.C. SA-516-70	Cabezas: A.C. SA-516-70	Malla Separadora: Espesor: 152 mm Material: A.I. 304
Tipo Circular:	Diámetro: 230 (7) mm	Tipo Rectangular:	Largo: — mm Ancho: — mm
Corrosión Perm.:	Cuerpo: 6.4 (14) mm	Cabezas: 6.4 mm	Aislamiento: SI Recub. Int.: ---
Relievado de esfuerzos: SI		Estampado ASME: SI (9)	

BOQUILLAS			NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio
1AC	3	610	Registro de hombre (11)
7	1	76	Salida de vapor a desfogue
8	1	51	Venteo
11	1	356	Entrada de amina rica
17	1	76	Salida de Hidrocarburos recolectados P-24076/R
18	1	305	Salida de amina rica a P-24071/R
31ABC	3	51	Drene
33AB	2	(5)	Válvula de seguridad
35	1	51	Conexión de servicio
39	1	152	Recirculación de P-24071/R
46AF	6	51	Instrumentos de nivel
38 AB	2	406	Conexión de Igualación

1) Acotaciones en mm.
2) Mamparas unidas al recipiente con soldadura.
3) Rompedor de vortices. Estándar IMP A-EABC-2.013.
4) Mínimo por NPSH de P-24071/R.
5) Por EPC
6) Limpieza de vapor de 150 °C
7) Malla de A.I. 304, Densidad 144 kg/m ² ; Area Especifica de 443 m ² /m ² ; Fracción Vacio: 98.6%, Diametro de Alambre 0.152 mm, Estd. IMP A-EABC-2.020
8) Bypass de Amina de 406 mm (16 in) de diámetro
9) Como complemento, se debe cumplir con la esp. 512-ET-05-Rev. 2
10) Flujos correspondientes al Balance Inicio de Comida (IDC)
11) Registro de hombre con tapa
12) Cumplir con API-RP945.
13) Placa de Desgaste, en tapa de 2 veces el ϕ de boquilla, esp. 6.4 mm
14) Corrosión en mamparas interiores por ambos lados.

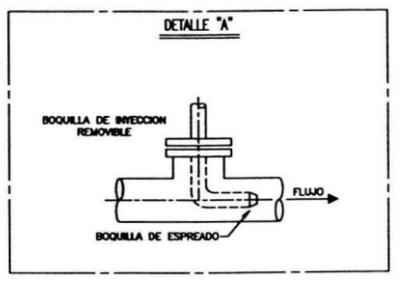


Revisión	1	2	3	4	5	6	7
Fecha							
Elaborado por							
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecanico							



NOTAS

- 1.- PARA NOTAS GENERALES DIBUJOS DE REFERENCIA CODIGO DE TUBERIAS Y SIMBOLOS DE INSTRUMENTACION VER DIBUJO-N-F-22016-18121-081
- 2.- INSTALAR EL INDICADOR LOCAL VISIBLE DESDE LA VALVULA DE CONTROL ASOCIADA.
- 3.- EL CILINDRO DEBE TENER LA CAPACIDAD NECESARIA PARA DOS CIERRES SIMULTANEOS DE LA VALVULA DE EMERGENCIA.
- 4.- ESTA INSTRUMENTACION DEBE ESTAR INSTALADA EN LA ESTACION DE OPERACION REMOTA Y SERA SUMINISTRADA POR EL PROVEEDOR DE LA VALVULA DE EMERGENCIA
- 5.- EL OPERADOR LOGICO L1 INDICA EL PERMISO DE ARRANQUE POR ABERTURA DE LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO.
- 6.- VALVULA DE EMERGENCIA OPERADA CON ACTUADOR NEUMATICO LA CUAL SERA OPERADA DESDE UNA ESTACION OPERACIONAL REMOTA LOCALIZADA A 15 MTS. DE DISTANCIA COMO MINIMO.
- 7.- EL DRENAJE LIBRE DE LA VALVULA DE CONTROL ES HACIA EL TANQUE
- 8.- POR MUY BAJO FLUJO DE HIDROGENO ENVA SEÑAL A RECIRCULACION DE BOMBAS, DE PREFERENCIA ESTA SEÑAL ES ENVIADA A PARO DE BOMBAS
- 9.- EL OPERADOR LOGICO L2 INDICA QUE LAS SEÑALES DE PARO TIENEN PREDOMINIO SOBRE EL ARRANQUE.
- 10.- PERMISO DE ARRANQUE.
- 11.- ENVA SEÑAL DE PARO A BOMBAS P-24001AB/R, CORTA EL DIESEL A CADA SERPENTIN DEL HORNO H-24001 Y CIERRA VALVULA DE CONTROL FV-24010A.
- 12.- SE REQUIERE QUE LA TURBINA TENGA GOBERNADOR ELECTRICO, ASI MISMO TENER ACCESO DESDE EL SICO AL SISTEMA DE CONTROL DE LA TURBINA.
- 13.- LOCALIZAR LA VALVULA DE CONTROL, LO MAS CERCA POSIBLE AL TANQUE Y DE PREFERENCIA SOBRE LA ESTRUCTURA SOBRE LA BOQUILLA DEL MISMO, VALVULA TIPO MULTITAPA DE ANGULO PARA SERVICIO SEVERO DE CIERRE HERMETICO Y ACTUADOR TIPO PISTON.
- 14.- LA INSTRUMENTACION Y CONTROL MOSTRADA ES LA MINIMA REQUERIDA; ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC REVISARLA Y EN SU CASO COMPLEMENTARLA EN LA INGENIERIA DE DETALLE.
- 15.- PARA LOS ACCIONADORES DE TURBINA SE DEBEN CONSIDERAR UN CONTROLADOR DE VELOCIDAD EN EL PANEL LOCAL Y OTRO CONTROLADOR DE VELOCIDAD CONFIGURADO EN EL S.C.B. LOS CUALES ACTUARAN A TRAVES DE UN SELECTOR DE VELOCIDAD.
- 16.- ESTA VALVULA DEBE UBICARSE LO MAS CERCA POSIBLE DEL RECIPIENTE LA OPERACION DEL VOLANTE ES A CRITERIO DEL OPERADOR.
- 17.- SEÑAL PARA CORTE DE DIESEL A CADA SERPENTIN DEL CALENTADOR H-24001 Y VALVULA FV-24010A-2
- 18.- EL CONTRATISTA ES RESPONSABLE DEL DIMENSIONAMIENTO FINAL DE VALVULA DE CONTROL Y LINEA DE RECIRCULACION CON LA INFORMACION DE LA BOMBA; ASI MISMO COMO EL SUMINISTRO DEL OPERADOR CON ENGRANES DEL BYPASS DE LAS RECIRCULACIONES
- 19.- LA INGENIERIA DE DETALLE DEBERA APEGARSE AL ARREGLO MOSTRADO
- 20.- LOS DIAMETROS DE LAS LINEAS DE SERVICIOS AUXILIARES, VALVULAS DE SEGURIDAD E INSTRUMENTACION VINCULADA A ELLOS ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC.



LISTA DE EQUIPO

D-1001
P-1001 A/B/R(T)

DIBUJOS DE REFERENCIAS:

DFT-FQ-T2004-01
DFT-FQ-T2004-03
DFT-FQ-T2004-04

DESCRIPCION:

REV.	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA
0	MAOG	MAOG	VM	21/08/2004
1	MAOG	VM	UNAM	23/08/2004

ARCHIVO ELECTRONICO: DFT-FQ-T2004-384.DWG

ESTE TITULO INCLUYENDO EL MATERIAL PROPUESTO O PROPORCIONADO QUE APARECE EN EL CONTENIDO INFORMATIVO COMERCIAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO Y SU LINEA DE CONDICIONADO A QUE EL USUARIO ACEPTA NO COPULAR TOTAL O PARCIALMENTE Y NO EMPLEAR ESTE EN EL MANTENIMIENTO, RECURSO DE D. PARA OTRO PROPOSITO QUE EL PERMITIDO EXPRESAMENTE POR ESCRITO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO.

PLANTA HIDROSULFURADORA DE DIESEL U-1001

TESIS 2004

MEXICO, DISTRITO FEDERAL. PLANTA TIPICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
SECCION ACUMULADOR DE CARGA

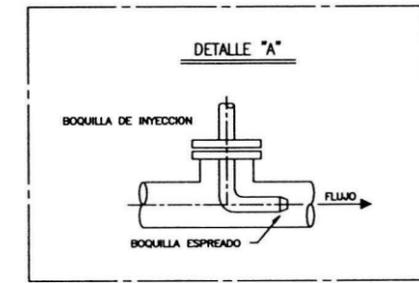
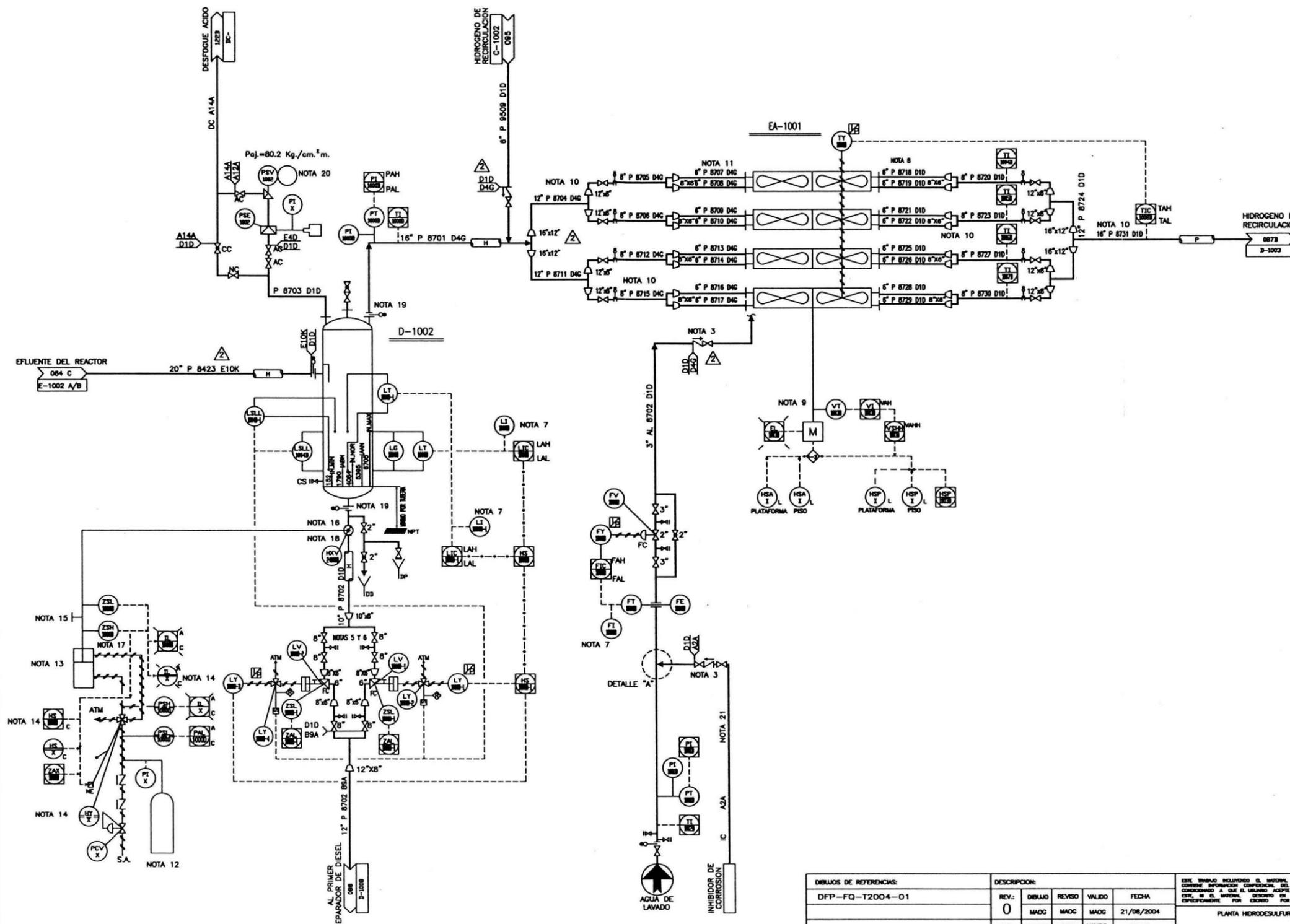
DFT-FQ-T2004-084

D-1002
 TANQUE SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION
 D.I. = 2134 mm.
 T.T. = 9144 mm.

EA-1001
 ENFRADOR DE HIDROGENO DE RECIRCULACION
 Qdis. = 19.011x1.1 MMKcal/hr.

NOTAS

- PARA NOTAS GENERALES DIBUJOS DE REFERENCIA CODIGO DE TUBERIAS Y SIMBOLOS DE INSTRUMENTACION VER DIB.No. N. F-22016-18121-081.
- EL AGUA DE LAVADO DEBERA INYECTARSE A CADA UNA DE LAS BOQUILLAS DEL EA-24001.
- LOCALIZAR LO MAS CERCANO AL PUNTO DE INYECCION.
- EL OPERADOR LOGICO I:1 INDICA QUE LAS SEÑALES DE PARO TIENEN PREDOMINIO SOBRE EL ARRANQUE.
- VALVULA TIPO MULTITAPPA DE ANGULO PARA SERVICIO SEVERO DE CIERRE HERMETICO Y ACTUADOR TIPO PISTON
- LA INGENIERIA DE DETALLE DEBERA APEGARSE AL ARREGLO MOSTRADO
- LOCALIZAR EL INDICADOR LOCAL VISIBLE DESDE LA VALVULA DE CONTROL ASOCIADA.
- LOS AEROFRENTADORES CONTARAN CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOVARIABLE AL 50%, ES DECIR, ACTUANDO SOLAMENTE SOBRE EL VENTILADOR DE SALIDA.
- EL EA-24001 CONSTA DE 8 SECCIONES Y 8 MOTORES, UNICAMENTE SE REPRESENTA LA INSTRUMENTACION TIPICA DE UN MOTOR. LA IDENTIFICACION CORRESPONDIENTE POR MOTOR ES: EL-10000 AL 10070, HS-10030 AL 10100, VT-1000 AL 10070, VL-1000 AL 10070
- ARREGLO SIMETRICO EN LA ENTRADA Y SALIDA Y SIN BOLSAS.
- SE REQUIERE CONEXION PARA TESTIGOS DE CORROSION EN CADA SECCION.
- EL CILINDRO DEBE TENER LA CAPACIDAD NECESARIA PARA DOS CIERRES SIMULTANEOS DE LA VALVULA DE EMERGENCIA.
- LA VALVULA DE EMERGENCIA CON ACTUADOR NEUMATICO SERA OPERADA DESDE UNA ESTACION QUE ESTARA LOCALIZADA A 15 m. DE DISTANCIA COMO MINIMO.
- ESTA INSTRUMENTACION DEBE ESTAR INSTALADA EN LA ESTACION DE OPERACION REMOTA Y SERA SUMINISTRADA POR EL PROVEEDOR DE LA VALVULA DE EMERGENCIA.
- EL CIERRE DE ESTA VALVULA POR EL VOLANTE ESTARA SUJETO AL CRITERIO DEL OPERADOR.
- ESTA VALVULA DEBERA ESTAR LO MAS CERCA POSIBLE AL RECIPIENTE.
- LA INSTRUMENTACION Y CONTROL MOSTRADA ES LA MINIMA REQUERIDA; ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC REVISARLA Y EN SU CASO COMPLEMENTARLA EN LA INGENIERIA DE DETALLE.
- EL PROVEEDOR DE LA VALVULA DE EMERGENCIA DEBE SUMINISTRAR TODOS LOS ACCESORIOS E INSTRUMENTOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMATICO DE DICHA VALVULA. ESTAS PRUEBAS SE REALIZARAN DURANTE LA OPERACION DE LA PLANTA.
- EN LOS SISTEMAS DE TUBERIA QUE CONDUCE HIDROGENO DE ALTA PRESION, LAS CONEXIONES DE TUBERIA SON RTJ, Y REQUEREN UN ANILLO DE VAPOR DE BAJA PRESION PARA EVITAR LA FORMACION DE MEZCLAS EXPLOSIVAS POR FUGAS DE HIDROGENO, ESTA CONSIDERACION ES EN CONEXIONES BOQUILLA-TUBERIA, BRIDA-BRIDA, DEL D-24002
- EL CONTRATISTA ES RESPONSABLE DEL DIMENSIONAMIENTO, ESPECIFICACION, SUMINISTRO, INSTALACION Y PRESION DE AJUSTE DEL DISCO DE RUPTURA PSE-24006.
- LOS DIAMETROS DE LAS LINEAS DE SERVICIOS AUXILIARES, VALVULAS DE SEGURIDAD E INSTRUMENTACION VINCULADA A ELLOS ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC.



LISTA DE EQUIPO
 D-1002
 EA-1001

DIBUJOS DE REFERENCIAS:		DESCRIPCION:			
DFP-FQ-T2004-01	0	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA
	1	MAOG	VM	UNAM	21/08/2004
		ESC:	DIBUJO	REVISO	VALIDO
			MAOG	VM	UNAM
					21/08/2004
ARCHIVO ELECTRONICO: DTI-FQ-T2004-084.DWG					

ESTE DIBUJO INCLUYENDO EL MATERIAL PERTENECIENTE O PROPORCIONADO QUE APARECE EN EL CONTENIDO INFORMACION COMERCIAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Y SU USO ESTA CONSIDERADO A QUE EL USUARIO ACEPTA SO CUALQUIER TOTAL O PARCIALMENTE Y NO EMPLEAR ESTE EN EL MEDIO LABORAL SIN EL PERMISO EXPRESAMENTE POR ESCRITO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.

PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001

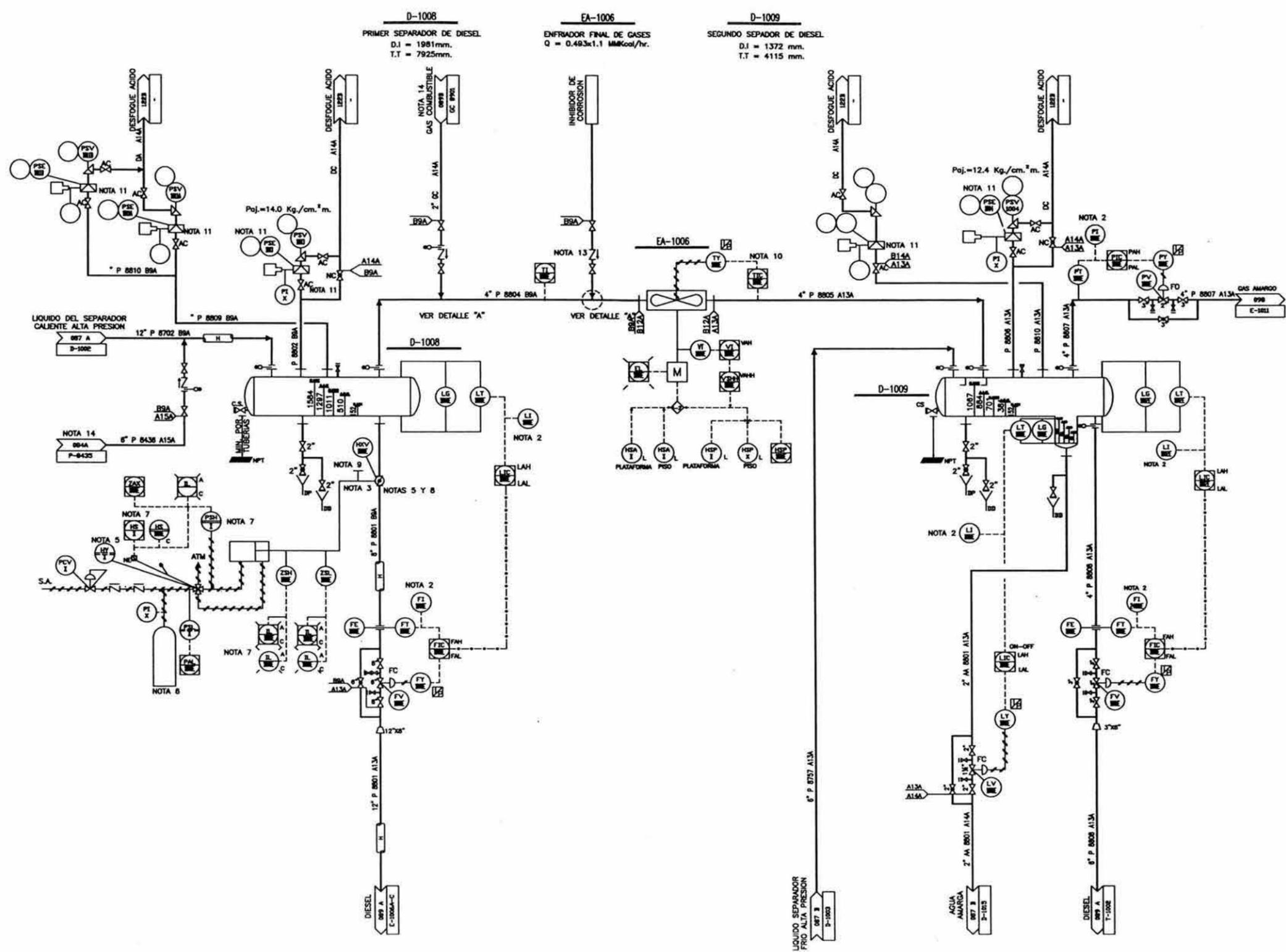
TESIS 2004

MEXICO, DISTRITO FEDERAL

PLANTA TIPICA

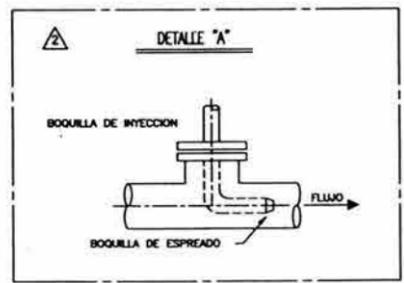


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 SECCION DESEPARACION DE HIDROGENO
 DTI-FQ-T2004-086



NOTAS

- 1.- PARA NOTAS GENERALES DIBUJOS DE REFERENCIA CODIGO DE TUBERIAS Y SIMBOLOS DE INSTRUMENTACION VER DIB. No.-F.22018 DTI-FQ-T-2004-081
- 2.- LOCALIZAR EL INDICADOR LOCAL VISIBLE DESDE LA VALVULA DE CONTROL ASOCIADA
- 3.- EL PROVEEDOR DE LA VALVULA DE EMERGENCIA DEBE SUMINISTRAR TODOS LOS ACCESORIOS E INSTRUMENTOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMATICO DE DICHA VALVULA ESTAS PRUEBAS SE REALIZARAN DURANTE LA OPERACION DE LA PLANTA.
- 4.- LA INSTRUMENTACION Y CONTROL MOSTRADA ES LA MINIMA REQUERIDA; ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC REVISARLA Y EN SU CASO COMPLEMENTARLA EN LA INGENIERIA DETALLE.
- 5.- LA VALVULA DE EMERGENCIA CON ACTUADOR NEUMATICO SERA OPERADA DESDE UNA ESTACION REMOTA QUE ESTARA LOCALIZADA A 15 METROS DE DISTANCIA DEL EQUIPO QUE PROTEGE
- 6.- EL CILINDRO DEBE TENER LA CAPACIDAD NECESARIA PARA DOS CIERRES SIMULTANEOS DE LA VALVULA DE EMERGENCIA
- 7.- ESTA INSTRUMENTACION DEBE ESTAR INSTALADA EN LA ESTACION DE OPERACION REMOTA Y SERA SUMINISTRADA POR EL PROVEEDOR DE LA VALVULA DE EMERGENCIA
- 8.- LA VALVULA DE EMERGENCIA DEBERA LOCALIZARSE LO MAS CERCA POSIBLE DEL D-1008
- 9.- LA OPERACION MANUAL DE ESTA VALVULA QUEDA A CRITERIO DEL OPERADOR
- 10.- ASPAS DE PITCH VARIABLE PARA CONTROL DE TEMPERATURA
- 11.- EL CONTRATISTA ES RESPONSABLE DEL DIMENSIONAMIENTO ESPECIFICACION, SUMINISTRO, INSTALACION Y PRESION DE AJUSTE DE LOS DISCOS DE RUPTURA.
- 12.- LOS DIAMETROS DE LAS LINEAS DE SERVICIOS AUXILIARES, VALVULAS DE SEGURIDAD E INSTRUMENTACION VINCULADA A ELLOS ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC.
- 13.- LOCALIZAR LO MAS CERCA POSIBLE DEL PUNTO DE INYECCION.
- 14.- LINEA DE ARRANQUE.



LISTA DE EQUIPO	
D-1008	
D-1009	
EA-1006	

DIBUJOS DE REFERENCIAS:		DESCRIPCION:				
DFP-FQ-T2004-04		REV.:	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA
		0	MAG	MAG	MAG	21/08/2004
		1	MAG	VIM	UNAM	29/08/2004
		ARCHIVO ELECTRONICO: DTI-FQ-T2004-085.DWG				

DEBE TENERSE EN CUENTA QUE EL MATERIAL, PROCEDIMIENTO O INGENIERIA QUE APARECE EN EL CONTENIDO DE ESTE DIBUJO ES CONFIDENCIAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO Y SU USO ES SOLO PARA LOS EFECTOS QUE SE INDICAN EN EL MISMO. SI SE REQUIERE SU REPRODUCCION O SU USO PARA OTROS EFECTOS, DEBE SER AUTORIZADO POR ESCRITO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO.

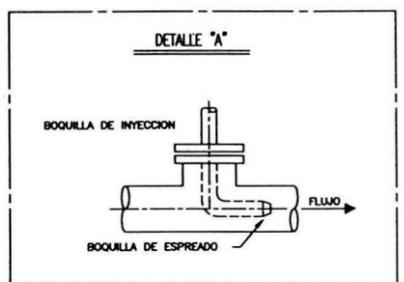
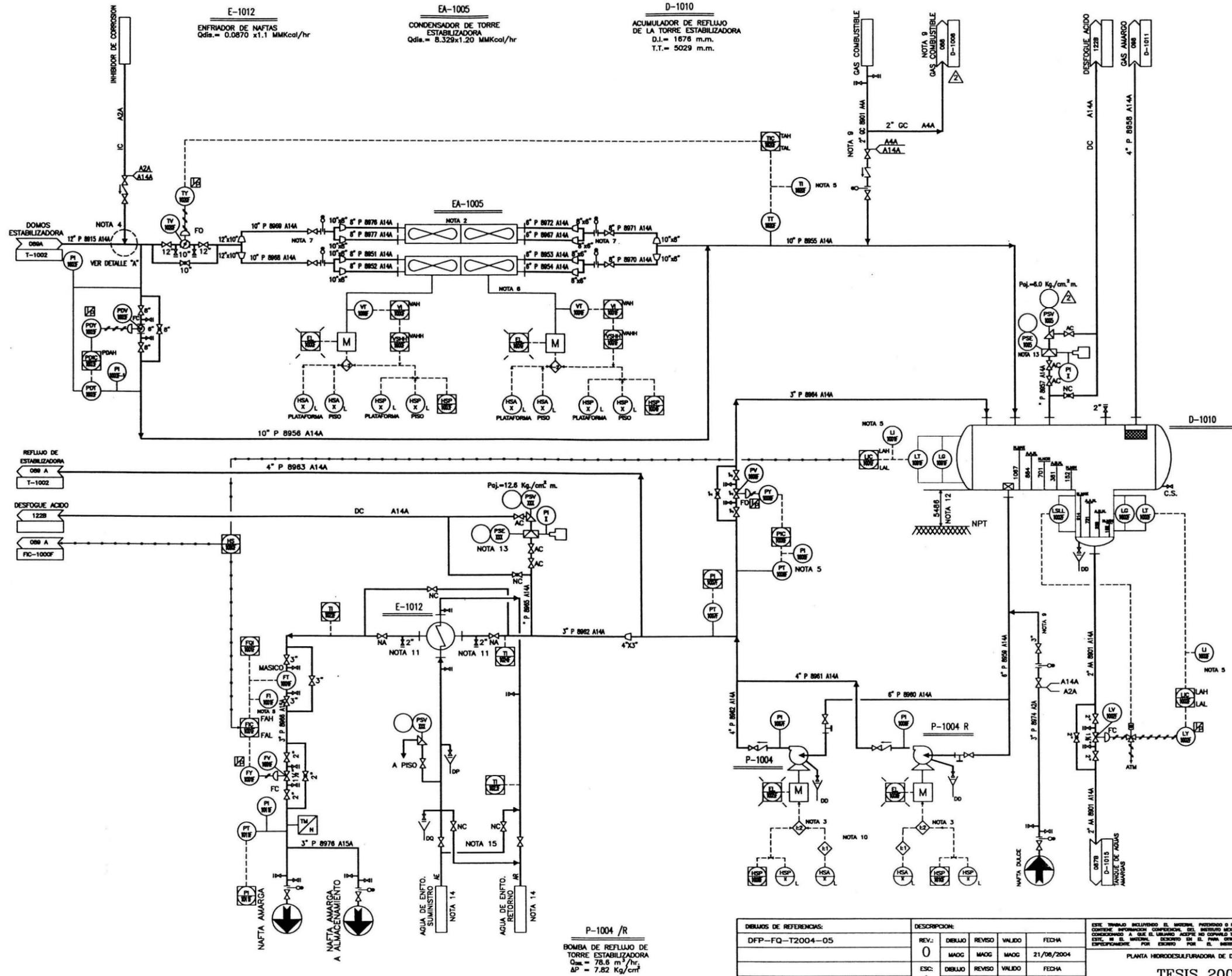
PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001

TESIS 2004

MEXICO, DISTRITO FEDERAL PLANTA TIPICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 SECCION DE CARGA DE DIESEL
 DTI-FQ-T2004-088



LISTA DE EQUIPO

D-1010
E-1012
EA-1005
P-1004 /R

REV.	DIJ	REVISO	VALIDO	FECHA
0	MAOG	MAOG	MAOG	21/06/2004
1	DIJ	REVISO	VALIDO	FECHA
	MAOG	VM	UNAM	29/09/2004

ARCHIVO ELECTRONICO: DTI-FQ-T2004-089.DWG

DESCRIPCION:

ESTE TRABAJO INCLUIRÁ EL MODELO, PANTALLÓN O PANTALLÓN QUE APARECE EN EL CORRIENTE INFORMACION COMERCIAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO Y SU USO ESTÁ CONDICIONADO A QUE EL USUARIO ACEPTA LAS CONDICIONES DE USO Y RESPONSABILIDAD DEL EPC. EN EL MATERIAL, ELICITADO EN EL PUNTO CERO PROCESO QUE EL PANTALLÓN ESPECIFICAMENTE POR ESCRITO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO.

PLANTA HIDRODESALINADORA DE DIESEL U-1001

TESIS 2004

MEXICO, DISTRITO FEDERAL

PLANTA TIPICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

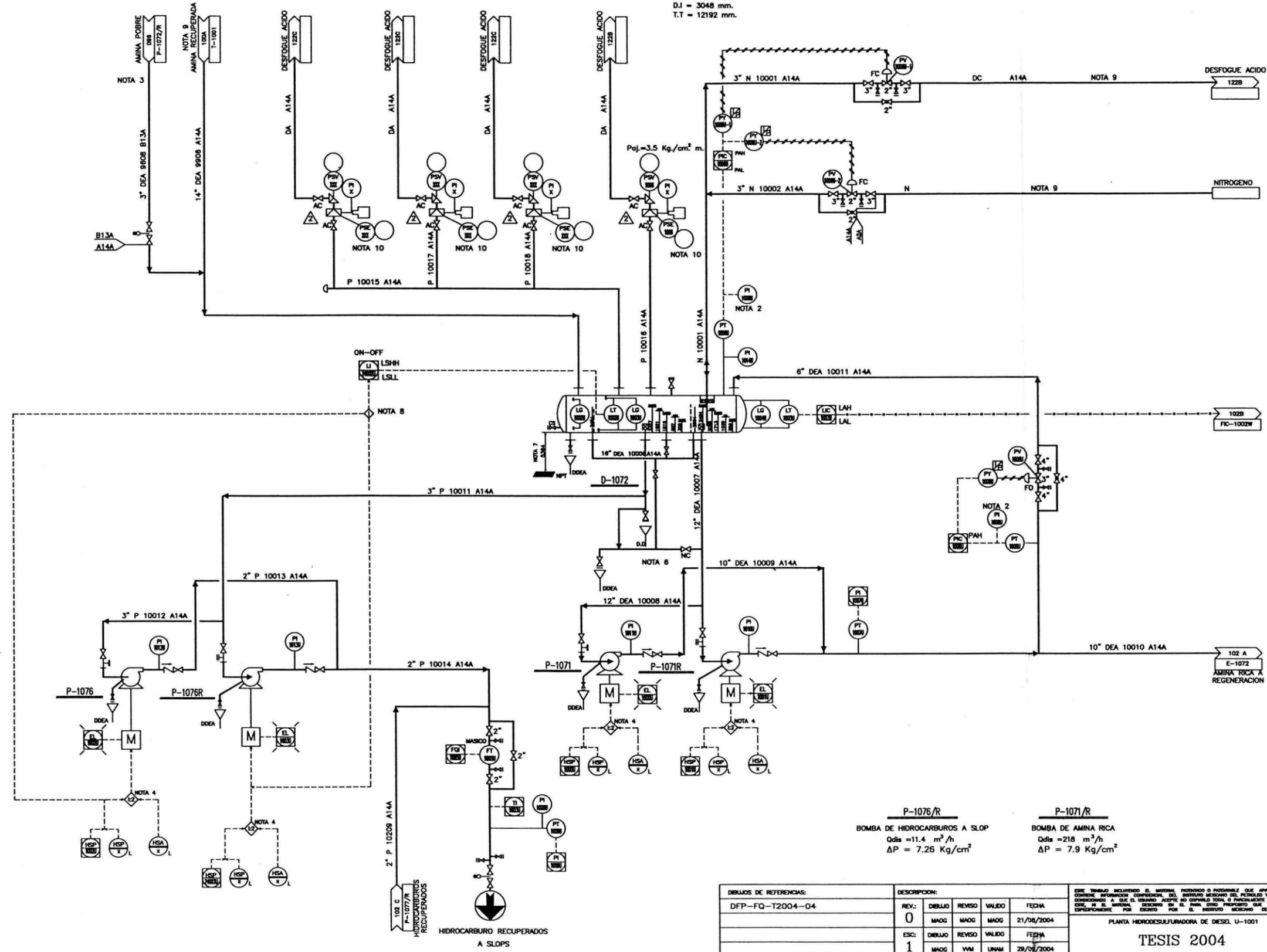
SECCION DE TORRE ESTABILIZADORA (2/2)

DTI-FQ-T2004-089

D-1072
 ASENTADOR DE AMINA RICA
 D.I = 3048 mm.
 T.T = 12192 mm.

NOTAS

- 1.-PARA NOTAS GENERALES DIBUJOS DE REFERENCIA CODIGO DE TUBERIAS Y SIMBOLOS DE INSTRUMENTACION DTI-FQ-T-2004-081
- 2.-LOCALIZAR EL INDICADOR LOCAL VISIBLE DESDE LA VALVULA DE CONTROL ASOCIADA.
- 3.-LINEA DE ARRANQUE
- 4.-EL OPERADOR LOGICO I:2 INDICA QUE LAS SEÑALES DE PARO TIENEN PREDOMINIO SOBRE EL ARRANQUE.
- 5.-LA INSTRUMENTACION Y CONTROL MOSTRADA ES LA MINIMA REQUERIDA; ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC REVISARLA Y EN SU CASO COMPLEMENTARLA EN LA INGENIERIA DE DETALLE.
- 6.-ESTA VALVULA DEBE LOCALIZARSE CERCA DEL LG-24003U
- 7.-ALTURA MINIMA POR NPSH DE LA BOMBA
- 8.-INTERLOCK AUTOMATICO MANUAL-FUERA
- 9.-LOS DIAMETROS DE LAS LINEAS DE SERVICIOS AUXILIARES, VALVULAS DE SEGURIDAD E INSTRUMENTACION VINCULADA A ELLOS ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA DEL EPC.
- 10.-EL CONTRATISTA ES RESPONSABLE DEL DIMENSIONAMIENTO, ESPECIFICACION, SUMINISTRO, INSTALACION Y PRESION DE AJUSTE DE LOS DISCOS DE RUPTURA



P-1076/R
 BOMBA DE HIDROCARBUROS A SLOP
 Qdis = 11.4 m³/h
 ΔP = 7.26 Kg/cm²

P-1071/R
 BOMBA DE AMINA RICA
 Qdis = 218 m³/h
 ΔP = 7.9 Kg/cm²

LISTA DE EQUIPO
 D-1072
 P-1071 /R
 P-1076 /R

DIBUJOS DE REFERENCIAS:		DESCRIPCION:				ESTE TRABAJO INCLUYE EL MATERIAL PATENTADO O POTENCIAL QUE APARECE EN EL CORRIENTE INFORMACION CONFIDENCIAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO Y SU USO ESTA CONSIDERADO A QUE EL USUARIO ACEPTA NO COPIARLO TOTAL O PARCIALMENTE Y NO REPRODUCIRLO EN EL MATERIAL DEBIDO EN EL PARA CUIDO PROPIETARIO QUE EL PATENTEADO ES UN DERECHO DE PATENTE DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLIO.			UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION SECCION DE ASENTAMIENTO DE AMINA
DFP-FQ-T2004-04	0	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA	PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DIESEL U-1001	TESIS 2004 MEXICO, DISTRITO FEDERAL PLANTA TIPICA		
	1	DIBUJO	REVISO	VALIDO	FECHA				
		MAOG	WNI	UNAM	29/08/2004				
ARCHIVO ELECTRONICO: DTI-FQ-T2004-100.DWG									

Bibliografía.

Doctrina.

- 01 "Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas Chemical and Related Facilities". Dennis P. Nolan. Capítulos 8, 12 y 13. Noyes Publications. USA 1996.
- 02 "Lessons from disaster" Kletz, Trevor A. Capítulo 5 Storage Tanks . Mc Graw-Hill. EUA. 1992.
- 03 "Pressure Safety Design Practices for Refinery and Chemical Operations". Nicholas P. Cheremisinoff, Ph.D. Noyes Publications. EUA 1998.
- 04 "Sistemas de desahogo de presión". Marx Isaacs. Tomo: Válvulas, selección, uso y mantenimiento. Mc Graw-Hill. EUA. 1971.

Revistas.

- 05 "Design for better safety relief". J. H. Jenkins, P. E. Kelly and C. B. Cobb. Hydrocarbon Processing Agosto 1977. pags. 93 - 97
- 06 "Determining Volumes of ASME Design Tanks". Royce A. Currie. Plant Notebook. Chemical Engineering. EUA. Abril 1993
- 07 "Eliminating Potential Process Hazard" Kletz, Trevor A. Chemical Engineering. EUA. Abri 1985 pags. 89-183
- 08 "Fires, Vessels and the Pressure Relief Valve". Wing Y. Wong. Chemical Engineering, EUA. Mayo 2000 pags. 84-92
- 09 "Flare System Design By Microcomputer". Engineering Feature. Tom Chunghu Tsai. Chemical Engineering. EUA. Agosto 1985.
- 10 "How to Design a Pressure Relief System". Joseph Conison. Chemical Engineering, EUA. Julio 25 de 1960. pags. 109 -114
- 11 "How to size Relief Valve Discharge Headers 2" Nicholas Steshko. Equipment Design and Operation. The Oil and Gas Journal. EUA. Marzo 1956.
- 12 "How to Size Vapor Relieving Systems 1". Joseph Conison. Engineering Reference. The Oil and Gas Journal. EUA. 1954 Pags. 129-130
- 13 "How to Size Vapor Relieving Systems 3". Joseph Conison. Engineering Reference. The Oil and Gas Journal. EUA. Marzo 1954 Pags. 129-130
- 14 "Improve the Fire Protection of Pressure Vessels". Wing Y. Wong. Operations and Maintenance. Chemical Engineering. EUA. Octubre 1999.
- 15 "Modeling of Tower relief dynamics". John R. Cassata, Surajit Dasgupta y Satish Gandhi. Parte 1. Hydrocarbon Processing. EUA. Octubre 1993. pags. 71-76

Revistas.

- 16 "Modeling of Tower relief dynamics". John R. Cassata, Surajit Dasgupta y Satish Gandhi. Parte 2. Hydrocarbon Processing. EUA. Noviembre 1993. pags. 69-74
- 17 "New Method Speeds Pressure Relief Manifold Design". Henry Y. Mak. The Oil and Gas Journal. EUA. Noviembre 1978.
- 18 "Safety, noise, and emissions elements round out flare guidelines". Olavo Cunha, Leite. Flare Systems. Oil and Gas Journal. EUA. Diciembre 1992.
- 19 "Size Depressurization and Relief Devices for Pressurized Segments Exposed to Fire". Per Salater, Sverre J. Overaa y Elisabeth Kjensjord. Safety. EUA. Septiembre 2002. pags. 38-45
- 20 "What a Relief Valve Can Do". Joseph Conison. Petroleum Refiner. EUA. Julio 1955. pags.137-143.

Documentos Técnicos.

- 21 "Applications of Dynamic Simulation" Hyprotech. EUA. 2003
- 22 "Depressurisation: A Practical Guide" Hyprotech. EUA. 2003
- 23 "Flowsheet & Model Analysis, Pressure Relief" Technical Library. A. Forouchi. AspenTech. EUA Marzo 2004
- 24 "HYSYS 3.1 Get Started". Dynamics Case. Hyprotech. EUA. 2002
- 25 "On the Modeling of Tower Relief Dynamics Using HYSYS". Model Tower Relief Dynamics Using HYSYS. Aspen Technology Inc. EUA. 2004.
- 26 "Pressure Relief Calculations". Aspen Plus User Guide Version 10.2. Capitulo 33. AspenTech. EUA.
- 27 "Pressure Relief". Unit Operation Models Version 10.2. Capitulo 11 AspenTech. EUA.

Manuales.

- 28 "Crosby Pressure Relief Valve Engineering Handbook". Technical Document TP-V3000. Anderson Greenwood Crosby Valve Inc. EUA. Mayo 1997
- 29 "Dimensionamiento de válvulas de seguridad". Estancias de entrenamiento PROFE. Instituto Mexicano del Petróleo. México D.F. 2004. pags. 1-51
- 30 "Diseño de Sistemas de Relevo de Presión en Plantas de Proceso de Refinación". Sistemas Hidráulicos. Estancias de Entrenamiento PROFE. IMP. México.
- 31 "Proceso de Hidrodesulfuración de Destilados Intermedios". Catálogo de Refinación del IMP. Subdirección de Promoción y Producción Industrial. IMP. México

Manuales.

- 32 "Sistemas de Aspersores para Protección Contra incendio" Gerencia de Seguridad Industrial Unidad de Divulgación. PEMEX. México. Agosto 1980
- 33 "Tanques Separadores de Desfogue, Tanques de Sello y Quemadores Elevados". Ingeniería de Sistemas de Procesamiento. Estancias de Entrenamiento PROFE. IMP. México.
- 34 "Válvulas de relevo de presión (Hoja de Datos de Dispositivos de Seguridad)". Proyectos de explotación Costa Fuera. Estancias de entrenamiento PROFE. IMP. México
- 35 "Manual de Diseño de Sistemas de Relevo de Presión". Departamento de Ingeniería de Sistemas del IMP. Division de procesos del IMP. México. 1979

Normatividad.

- 36 API STD 610
- 37 "Sizing, Selection, and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries". Recommended Practice 520 Part I, 7 ed. API. EUA. Enero 2000. pág. 1.
- 38 "Sizing, Selection, and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries". Recommended Practice 520 Part II, 4 ed. API. EUA. Diciembre 2004. pág. 1.
- 39 "Flanged Steel Pressure Relief Valves". Standard 526. 5ta ed. API. EUA. Junio 2002
- 40 "Gas Transmisión and Distribution Piping Systems" ASME B31.8
- 41 "Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems". Recommended Practice 521. 4 ed. EUA. Marzo 1997
- 42 "Inspection Pressure Relief Devices" API RP 576
- 43 "Pipe flanges and flanged fittings" ASME B16.5
- 44 "Process Piping" ASME B31.3
- 45 "Seat Tightness of Pressure Relief Valves" API STD 527
- 46 "Sistemas de Desfogues y Quemadores en Instalaciones de PEMEX Exploración y Producción" NRF-031-PEMEX-2003. Comité de Normalización de PEMEX. Rev. 0. México. Junio 2003.
- 47 "Válvulas de relevo de Presión (Seguridad, Seguridad-Alivio y Alivio) operadas por resorte y piloto". NOM-093-SCFI-1994. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México. Mayo 1997
- 48 "Vessel" ASME Seccion VIII, Division I

Consulta en Internet.

49	http://support.aspentech.com
50	www.cepmagazine.org
51	www.tycovalves.com
52	www.knovel.com
53	www.hyprotech.com