



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "CAMPUS ARAGON"

"SIMULADOR PARA EL DISEÑO Y-O REVISION  
DESISTEMAS DE DESFOGUE EN PLANTAS  
QUÍMICAS INDUSTRIALES

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE :

INGENIERO EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A N

ENRIQUE ESPINOSA DIAZ  
MARIA DE LOURDES RIOS RAMOS

MÉXICO D,F,

1999

26/1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

JEFATURA DE INGENIERÍA EN  
COMPUTACIÓN

OFICIO ENAR/JACO/434/98

ASUNTO: *Asignación de jurado.*

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS**  
*Secretario Académico*  
**Presente.**

Por este conducto me permito presentar a usted, nombres de los Profesores que sugiero integren el *Sínodo del Examen Profesional* del alumno **ESPINOSA DÍAZ ENRIQUE**, que presenta el tema de tesis: **"SIMULADOR PARA EL DISEÑO Y/O REVISIÓN DE SISTEMAS DE DESFOGUE EN PLANTAS QUÍMICAS INDUSTRIALES."**

**PRESIDENTE:**      **ING. ROBERTO BLANCO BAUTISTA**  
**VOCAL:**            **ING. TERESA CELIA MORENO BAÑUELOS**  
**SECRETARIO:**    **ING. ERNESTO PEÑALOZA ROMERO**  
**SUPLENTE:**        **ING. JORGE RODRIGUEZ LUNA**  
**SUPLENTE:**        **ING. GLADIS FUENTES CHAVEZ**

Quiero subrayar que la director de tesis es el **Ing. Ernesto Peñaloza Romero** el cual está incluida con base en lo que reza el reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EE ESPIRITUS"**  
*San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Noviembre 18 de 1998.*  
**EL JEFE DE CARRERA**

  
**ING. JUAN GASTALDI PÉREZ**



c.c.p. **Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares.**  
**Ing. Ernesto Peñaloza Romero.- Director de Tesis.**

TESIS CON JGP/mav.  
ALLA DE ORIGEN

1999



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

JEFATURA DE INGENIERÍA EN  
COMPUTACIÓN

OFICIO ENAR/JACO/434/98

ASUNTO: Asignación de jurado.

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS**  
*Secretario Académico*  
**Presente.**

Por este conducto me permito presentar a usted, nombres de los Profesores que sugiero integren el *Sínodo del Examen Profesional* del alumna **RIOS RAMOS MARIA DE LOURDES**, que presenta el tema de tesis: **"SIMULADOR PARA EL DISEÑO Y/O REVISIÓN DE SISTEMAS DE DESFOGUE EN PLANTAS QUÍMICAS INDUSTRIALES."**

**PRESIDENTE:**      **ING. ROBERTO BLANCO BAUTISTA**  
**VOCAL:**            **ING. TERESA CELIA MORENO BAÑUELOS**  
**SECRETARIO:**    **ING. ERNESTO PEÑALOZA ROMERO**  
**SUPLENTE:**        **ING. JORGE RODRIGUEZ LUNA**  
**SUPLENTE:**        **ING. GLADIS FUENTES CHAVEZ**

Quiero subrayar que el director de tesis es el **Ing. Ernesto Peñaloza Romero** el cual está incluida con base en lo que reza el reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**  
*San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Noviembre 18 de 1998.*  
**EL JEFE DE CARRERA.**

  
**ING. JUAN GASTALDI PÉREZ**

c.c.p. **Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez**.- Jefe del Departamento de Servicios Escolares.  
**Ing. Ernesto Peñaloza Romero**.- Director de Tesis.

JGP/mav.

## ***AGRADECIMIENTOS***

### ***A Dios***

Por estar siempre con nosotros y darnos las fuerzas necesarias para recorrer el camino de la vida.

### ***A nuestros Padres y Hermanos***

Por habernos brindado su comprensión y apoyo en la realización de cada una de nuestras metas.

### ***A nuestro Asesor y Sinodales***

A todos y cada uno de Ustedes, que gracias a su ayuda desinteresada y enseñanza han hecho posible la realización de este trabajo.

### ***A el Ing. José Luis Gómez Rodríguez***

Que más que un jefe o compañero de trabajo, es un gran amigo; por su comprensión, apoyo y sobre todo por haber estado cerca de nosotros en aquellos momentos en los cuales nos sentimos derrotados.

### ***A nuestros amigos***

Ing. Raúl H. Abraján Osorio  
Ing. Salvador J. Gallegos Ramales  
y compañeros de la escuela  
que con su apoyo y amistad nos impulsaron a seguir adelante.

***Gracias a todos...***

---

# CONTENIDO

---

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
---------------------------	---

---

## **CAPÍTULO I**

<i>GENERALIDADES</i> .....	5
----------------------------	---

---

## **CAPÍTULO II**

### *FUNDAMENTOS TEÓRICOS*

II.1 Flujo de fluidos .....	9
II.1.1 Compresibles .....	19
II.1.2 Incompresibles.....	20
II.2 Sistemas de Desfogue .....	22
II.2.1 Bases para determinar las fallas en válvulas de seguridad .....	31
II.3 Software Comercial.....	36

---

## **CAPÍTULO III**

### *DESARROLLO Y OPERACIÓN DEL SIMULADOR*

III.1 Análisis y diseño estructurado .....	40
Preanálisis .....	44
Diagrama de Contexto .....	50
Diagrama de Conectividad .....	50
Diagrama de Flujo de Datos .....	51
Diccionario de Datos .....	52
Miniespecificaciones .....	54
Definición de Archivos .....	56
Estructura Lógica de los Archivos .....	57
Censo de Accesos Físicos .....	59
Censo de Lecturas Lógicas .....	61
Censo de Escrituras Lógicas .....	61
Sistema de Empaquetamiento .....	63

III.2	Codificación del sistema	
III.2.1	Características del lenguaje seleccionado.....	70
III.2.2	Herramientas de programación .....	73
III.2.3	Programación .....	75
III.3	Pruebas del sistema	
III.3.1	Simulación del sistema .....	84
III.4	Documentación	
III.4.1	Manual de usuario .....	86
III.4.2	Manual de operación.....	88

## **CAPÍTULO IV**

---

<i>APLICACIÓN Y VALIDACIÓN</i> .....	92
--------------------------------------	----

## **OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

---

## **GLOSARIO**

---

## **APÉNDICE**

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

## INTRODUCCIÓN.

El alto grado de complejidad que se demanda actualmente para la ejecución de proyectos en todas las áreas de la ciencia, ha llevado a la necesidad de desarrollar software, con la finalidad básicamente de reducir tiempo, costo y lograr mayor exactitud en la aplicación. Por esta razón se detectó la necesidad de desarrollar un Simulador de Sistemas de Desfogue elaborado en su totalidad en México y que cubra con las necesidades que se tienen actualmente en la industria.

En toda planta química, petroquímica o de refinación, la seguridad es muy importante, por lo tanto, ésta se considera desde el diseño propiamente de la misma, hasta su construcción y operación.

No obstante, se pueden presentar riesgos durante el proceso, manifestándose en un aumento de presión excesiva, provocando con ello daños en el equipo (torres, tanques, intercambiadores de calor, etc.) afectando de paso así como hasta el personal por una eventual explosión. Esta presión se puede controlar de varias formas, siendo la más efectiva y común, la inclusión de un sistema de desfogue (sistema de relevo) dentro del diseño integral de la planta.

La operación de un sistema de desfogue se establece cuando se alcanza la máxima presión de diseño de los equipos debido a alguna falla, y ésta se evita con el desalojo de fluidos hacia un lugar seguro; dicho sistema contiene de forma general válvulas de seguridad, tubería, tanques de separación y quemador de campo. Es por eso que el objetivo de un sistema de desfogue es la de proteger del equipo, el personal de la planta, las poblaciones circunvecinas, y por ende al medio ambiente.

Por lo anterior, y dado que en el Instituto Mexicano del Petróleo, dentro de las actividades que se desarrollan en la División de Ingeniería de Sistemas se tiene la responsabilidad de diseñar o revisar los sistemas de relevo de emergencia (sistemas de desfogue) de las plantas químicas, y en virtud de que en la actualidad se está dando un avance sustancial en el empleo de computadoras y, por lo tanto de software para todas las actividades de la ingeniería tales como: la química, la mecánica, la eléctrica, la electrónica, etc., las compañías de Ingeniería se han visto en la necesidad de desarrollar o adquirir software para usos específicos en el desarrollo de sus proyectos.

Existe software comercial, como una herramienta auxiliar para los Sistemas de Desfogue, dentro de los cuales destacan el SIMPROC que fue desarrollado por la División de Ingeniería Básica del Instituto Mexicano del Petróleo y el PROII el cual fue desarrollado por SIMSCI (Simulation Sciences Inc.), mismos que para su funcionamiento requieren de una gran cantidad de datos que son supuestos por el usuario.



Actualmente se emplean en el Instituto Mexicano del Petróleo dos herramientas para el diseño de Sistemas de Desfogue que son el INPLANT, desarrollado por SIMSCI (Simulation Sciences Inc.), y el de DESFOGUE desarrollado por la División de Ingeniería de Sistemas de la institución antes mencionada.

Aún cuando se cuenta con el software ya indicado, el primero tiene un costo muy alto de licencia anual, y el segundo no cuenta con una entrada de datos amigable para el usuario, razón por la cual, con la aplicación de las técnicas de programación y de análisis de sistemas se desarrollará un simulador con el cual se pretende elaborar el esquema requerido, tomando como base dibujos típicos, mismos que podrán ser activados para introducir los datos mínimos necesarios para poder efectuar la simulación del sistema de desfogue; considerando también que efectúe un autodiagnóstico para verificación del sistema, con la finalidad de saber si está adecuadamente estructurado.

El fin que se persigue con el desarrollo de este simulador es el homogeneizar los criterios utilizados en las normas y códigos tanto nacionales como internacionales para el diseño de los sistemas de desfogue, así como el contribuir en la disminución del consumo de horas-hombre para su realización, logrando con esto además el evitar la compra de software comercial, el cual tiene un precio muy elevado.

Dentro del *Capítulo I*, se establecen las *generalidades* de lo que se desarrolla en este trabajo, tanto desde el punto de vista de bases teóricas de flujo de fluidos, como de las herramientas, el proceso de concepción del sistema y su desarrollo.

Por lo que respecta al *Capítulo II*, en esta parte se establecen los *fundamentos teóricos* para el caso de flujo de fluidos, tanto para el caso de fluidos compresibles como incompresibles, estableciendo e indicando las propiedades físicas de cada uno de ellos. Por otro lado, se muestran también los diferentes métodos de aproximación para el cálculo de cabezales de relevo, continuando con el establecimiento de la determinación de las fallas que se pueden presentar para el dimensionamiento de las válvulas de seguridad, finalizando con un breve análisis del software comercial que existe en el mercado y, que se utiliza actualmente en el Instituto Mexicano del Petróleo para la simulación de los sistemas de desfogue.

En el *Capítulo III*, se indica el *Desarrollo y Operación del Simulador*, se establece el análisis y diseño estructurado del sistema, efectuando un preanálisis del sistema en donde se identifican las funciones de cada una de las partes, así como su organización y relación. También se muestra los diferentes diagramas que intervienen en el Análisis y Diseño estructurado, tales como el de contexto, conectividad y de flujo de datos. Dentro de la estructura lógica de archivos se marcan los censos físicos de lecturas y escrituras lógicas, al igual que el sistema de empaquetamiento empleado para lograr el diseño estructurado.

Como también parte importante de este capítulo se efectúa un análisis somero y una descripción de las características del lenguaje seleccionado y de las herramientas de programación seleccionadas, al igual que las descripciones de los módulos desarrollados.

Finalmente, se marcan las consideraciones que se toman en cuenta para efectuar las pruebas al sistema, así como los puntos principales a considerar en los manuales de usuario y operación.

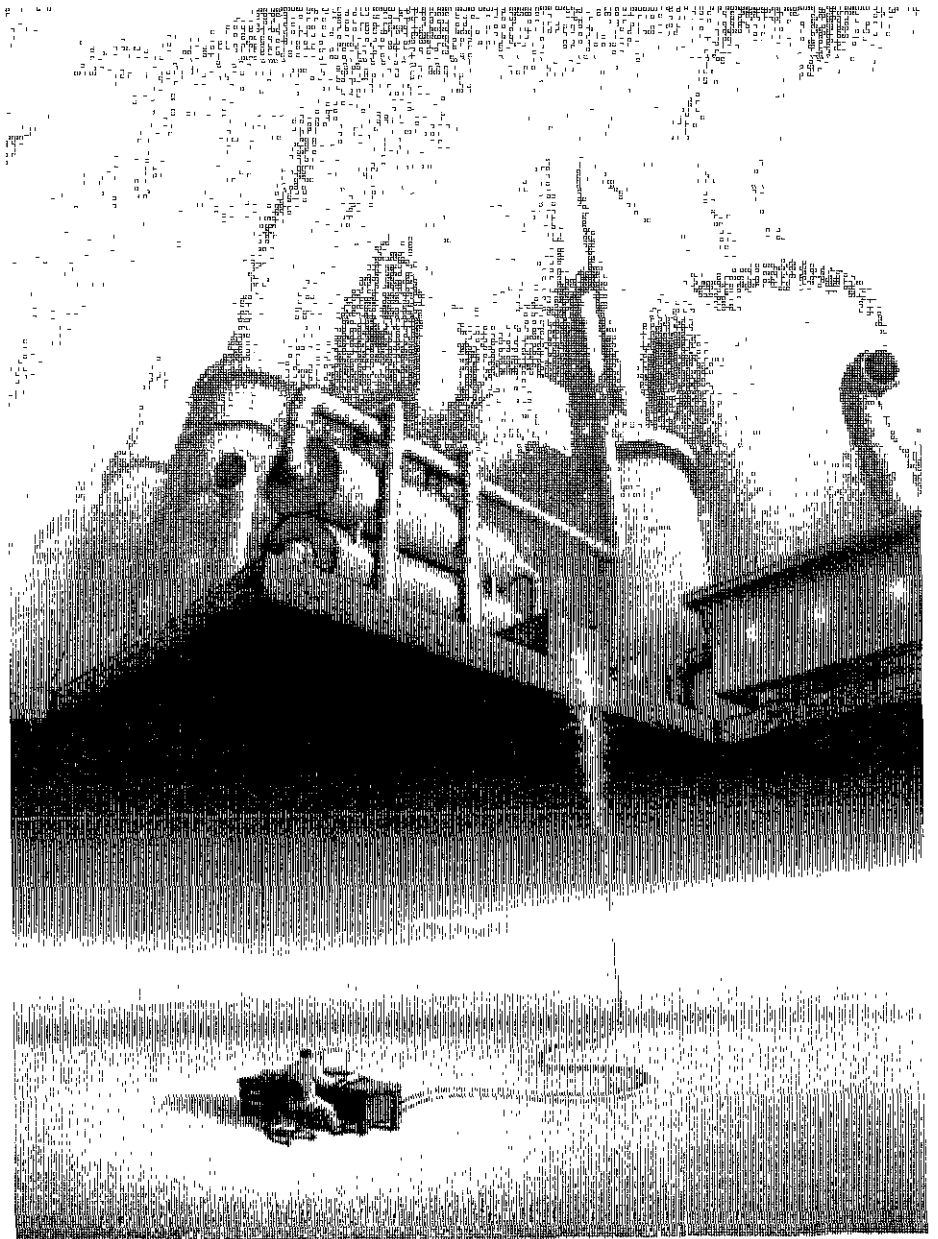
En relación con el *Capítulo IV*, se refiere a la *Aplicación y Validación* del sistema, en el cual se efectuó una “corrida”, tomando como base un problema práctico que ya se había resuelto por medio de otros simuladores, presentando los resultados obtenidos con el sistema desarrollado.

También se incluye un apartado de *Observaciones y Conclusiones* en donde se vierten los logros obtenidos en el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, se incluye un *Glosario* con el propósito de dar las definiciones de aquellos conceptos que se manejan en el trabajo y también se anexa parte de la *Bibliografía* consultada, con el objeto de que en caso necesario, el lector pueda ampliar su acervo sobre algún tema en especial

CAPITULO I

*Generalidades*



## I. GENERALIDADES.

Una manera práctica de proteger a los equipos y personal de la planta, es por medio de un sistema de desfogue, ya que no es posible el diseñar equipos para todas las condiciones posibles de operaciones anormales, ya que llegaría a ser impráctico.

Es por eso que los dispositivos y tuberías que permiten disminuir el exceso de presión en un equipo hasta un lugar seguro se llaman *sistemas de desfogue o de Relevo*.

Dentro de estos sistemas, dependiendo de la forma de manipular el fluido existen tres tipos: abierto, cerrado y con recuperación.

El sistema abierto es aquel en donde la masa a relevar entra en contacto directo con la atmósfera; en tanto que en un sistema cerrado como en uno a recuperación la masa a relevar no debe entrar en contacto directo con la atmósfera; y dependiendo de su grado de toxicidad y corrosividad se elige si es cerrado o a recuperación.

Para el diseño o dimensionamiento del cabezal para un sistema de desfogue existen varios métodos, los cuales tienen como objetivo el determinar su diámetro; pudiendo mencionar el método API (American Petroleum Institute), de Conison, de Missen, Adiabático y de Mak, los cuales se abordarán a detalle en capítulos posteriores.

Todo sistema de desfogue maneja fluidos, es decir, sustancias que tienen la propiedad de adoptar la forma de los recipientes que los contienen y estos incluyen tanto a los líquidos como a los gases. Otros materiales difieren de éstos ya que no satisfacen la definición, razón por la cual plásticos y sólidos se excluyen de ésta clasificación. Dichos fluidos pueden ser compresibles y/o incompresibles; en los primeros se encuentran los gases, ya que estos si se pueden comprimir; mientras que los líquidos dada su naturaleza no pueden ser comprimidos y por lo tanto pertenecen a los segundos.

La mecánica de los fluidos se ha desarrollado mediante el entendimiento de sus propiedades, la aplicación de las leyes básicas de la mecánica y termodinámica, las cuales se abordarán posteriormente más a detalle.

El movimiento de fluidos tanto en líquidos como en gases es muy importante en la industria petrolera, ya que en cualquier refinería las tuberías y gasoductos forman gran parte de ellas y podría decirse que son las venas y arterias de las mismas. El flujo de fluidos es afectado no solamente por la longitud de la tubería, sino por el número y tipos de accesorios en el sistema, así como también del grado de aspereza de la pared interna de la tubería, y para el dimensionamiento de ésta, las ecuaciones que son comúnmente empleadas en el caso de los fluidos líquidos son las de Darcy o Fanning, y tales métodos podrían ser utilizados para fluidos gaseosos siempre y cuando se encuentren dentro de los rangos permitidos.

Basándose en los conceptos anteriores, con el estudio de las ventajas y desventajas del software comercial, que es en realidad un estudio de viabilidad, y con la elección de las herramientas, así como de las características del lenguaje (Visual Basic) y elementos de la programación propiamente dicha; serán la materia prima para el análisis y diseño estructurado del propio sistema, que consiste básicamente en identificar los componentes, lo que hacen y la interrelación que tienen entre cada uno de ellos. Mismos que serán la parte medular para el desarrollo e implementación del sistema, así como el empleo de un diccionario de datos, definición y estructura lógica de los archivos.

Aunado a ello, los diagramas de contexto y conectividad son los que nos darán una idea general de la situación o problemática del sistema, cumpliendo con el objetivo y cristalización del sistema de desfogue.

Adicionalmente y no menos importante está la inclusión de una alternativa que lo hace aun más útil, consistente en el cálculo de válvulas de seguridad para las fallas que se establecen en los códigos internacionales vigentes.

Por lo que se refiere al concepto de programación estructurada se tomó en consideración el hecho de que el escribir un programa es para resolver un problema por medio de la computadora. Razón por la cual se emplearon algunos principios metodológicos básicos para subdividir el problema en parte asequible para su análisis, y hacer esto de forma tal que se agilice el proceso de entender por completo tanto el problema como su solución.

Tratándose de programación, estos módulos o subdivisiones deseadas han de cumplir los siguientes requisitos:

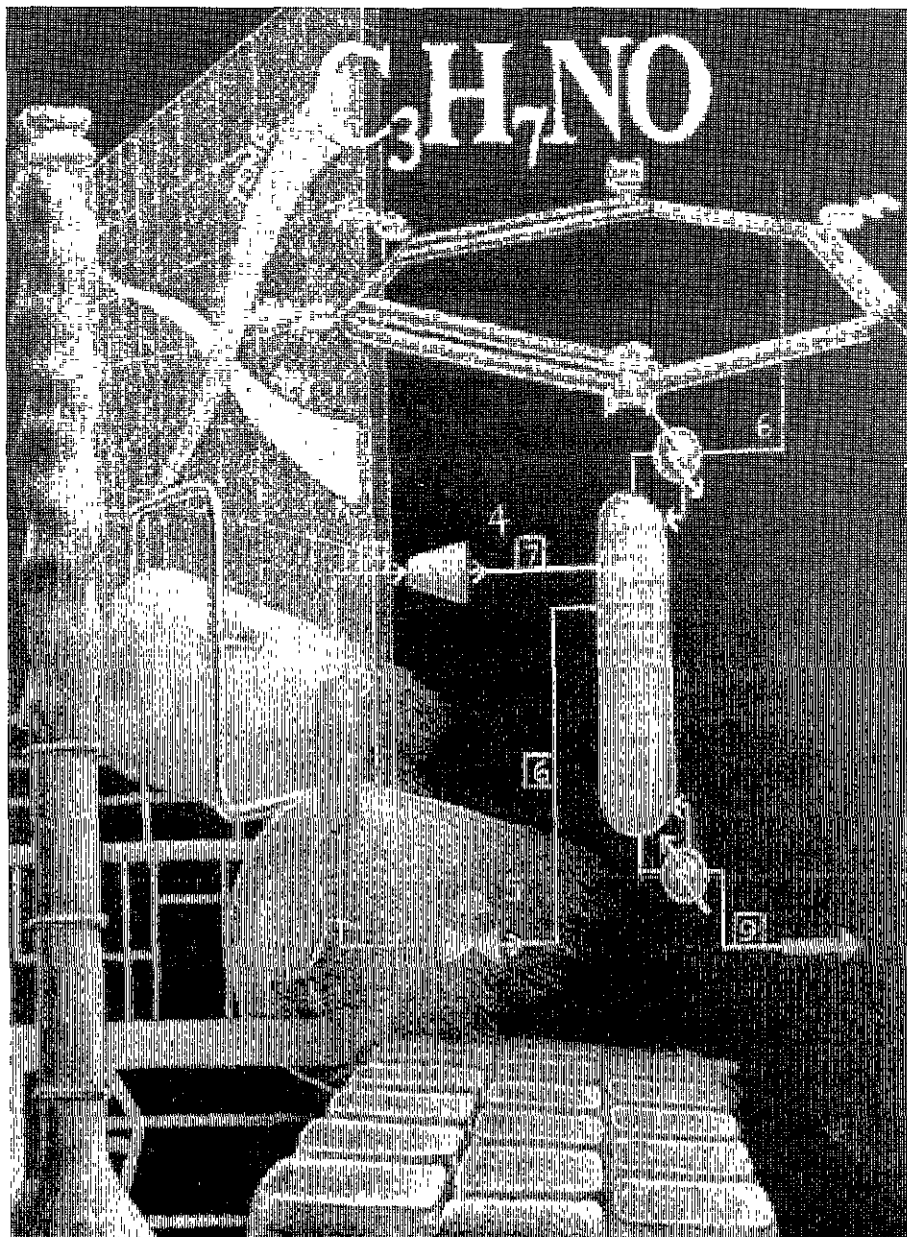
- a) Deberán estar jerarquizados
- b) Deberán ser pequeños y sencillos
- c) Deberán “esconder” los detalles poco importantes a módulos superiores en la jerarquía.
- d) Deberán, a su vez, usar tantos módulos de más baja jerarquía como se necesario.
- e) Deberán usar las estructuras de datos y control adecuadas para que sean pequeños y sencillos.
- f) Deberán ser legibles; esto es, que no sólo su autor sea capaz de entenderlo, sino cualquiera que tenga acceso a ellos y aún conocimiento elemental de programación.

En lo referente a jerarquización es conocido generalmente como “programación de arriba hacia abajo” y se refiere a que un programa consta, en el caso general, de un módulo principal y de varios módulos de nivel más bajo (gobernados por éste) que se encargan de ejecutar las “órdenes” dadas por él.

Un aspecto muy importante dentro del desarrollo de sistemas es efectuar las pruebas del mismo, esto implica que debe efectuarse la validación por medio de comparaciones con resultados que ya se tengan de proyectos terminados, y en su caso, proceder a efectuar correcciones y/o adaptaciones de acuerdo a los resultados obtenidos, cuidando en todo momento que el sistema cumpla con los objetivos y alcances planteados al inicio de su desarrollo.

Una vez que ya se efectuó la validación del sistema, el último punto dentro del proceso es la aplicación final del mismo; por lo que serán los usuarios los que intervienen en esta fase. Destacando que se pueden distinguir varios tipos, entre los cuales se encuentran: los beneficiados o afectados, los usuarios directos y los encargados de su mantenimiento y operación.

*Fundamentos Teóricos*



## II.1 FLUJO DE FLUIDOS <sup>14</sup>

Los fluidos son de gran importancia en los sistemas de desfogue, por tal motivo en este capítulo se explicarán sus conceptos y principios básicos de los mismos.

Se dice que toda sustancia que fluye libremente y toma la forma del recipiente que los contiene se le denomina *fluido*, tal es el caso de los gases y líquidos. Otros materiales difieren de estos porque no satisfacen esta definición, razón por la cual los plásticos y sólidos se excluyen de esta clasificación.

Por otro lado, los fluidos se clasifican en newtonianos y no newtonianos; los primeros se refieren cuando hay una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante (es el componente de la fuerza tangente a la superficie) aplicado y la rapidez de deformación, generalmente los gases y los líquidos delgados tienden a caer en este grupo, mientras que los no newtonianos son aquellos en donde la relación entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado no es lineal, y dentro de esta clasificación podemos mencionar a los hidrocarburos espesos de cadena larga, la miel y la melaza entre otros. Además, su flujo puede ser estacionario o no estacionario, rotacional o irrotacional, viscoso o no viscoso, compresible o incompresible.

El movimiento de los fluidos (líquidos y gases) es de trascendencia en la industria del petróleo y el método más común para transportarlos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tubería, en donde el flujo puede ser afectado por: la gravedad, el tipo de fluido y la viscosidad.

La gravedad es la fuerza de atracción que sufren los cuerpos hacia el centro de la tierra y por lo tanto el flujo de fluidos a través de las tuberías es afectado por esta misma, porque la fuerza requerida para mantener el movimiento es proporcional al de su peso, este efecto es más significativo para el caso de los líquidos.

En lo que respecta al tipo de flujo, éste puede ser turbulento o laminar; en el turbulento las partículas del fluido (pequeñas masas moleculares) se mueven en trayectorias muy irregulares que causan un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra, como se muestra en la figura II.1



Figura II.1 Flujo Turbulento



En cambio, el flujo laminar es aquel en el cual las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias suaves, en láminas o capas, con una capa deslizándose suavemente sobre una capa adyacente, como se muestra en la figura II.2. Este flujo no es estable en situaciones en las que hay combinaciones de baja viscosidad, alta velocidad y grandes avenidas de flujo.



Figura II.2 Flujo Laminar

La naturaleza del flujo laminar o turbulento, y su posición relativa sobre una escala que indique la importancia relativa de las tendencias de turbulento a laminar son indicadas por el número de Reynolds, el cual se considera como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. El número de Reynolds es:

$$Re = \frac{D\bar{v}\rho}{\mu} = \frac{D\bar{v}}{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D\mu} \quad (II.1)$$

Donde:

- D = diámetro interno, pies.
- $\bar{v}$  = velocidad media del fluido.
- $\rho$  = densidad media del fluido, lb/pie<sup>3</sup>.
- $\mu$  = viscosidad absoluta, lb/pie seg.
- $\frac{\mu}{\rho}$  = viscosidad cinemática.
- Q = flujo que circula por la tubería, GMP.

EL número de Reynolds también puede expresarse en función del flujo másico, mediante la siguiente ecuación II.1.a:

$$Re = 6.31 \frac{W}{D\nu} \quad (II.1.a)$$

Donde:

- D = Diámetro interno, pulg.
- W = Flujo que circula por la tubería, lb/hr
- $\nu$  = Viscosidad, centipoises

La viscosidad es aquella propiedad de los fluidos que expresa la facilidad de circular cuando se les aplica una fuerza externa; ésta se puede predecir en la mayor parte de los fluidos, ya que en algunos casos ésta depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos. Por ejemplo, en el caso del flujo laminar la acción de la viscosidad amortigua las tendencias a las turbulencias. Además en las refinerías es muy importante porque esta afecta el funcionamiento del equipo y existen productos que presentan especificaciones sobre viscosidad para asegurar la operación apropiada del mismo.

La ley de viscosidad de Newton afirma que dada la rapidez de deformación angular en el fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad, es decir:

$$\tau = \mu \, du / dy \quad (II.2)$$

Donde:

$du/dy$  = Velocidad angular o rapidez con la que una capa se mueve en relación con una capa adyacente.

$\mu$  = Factor de proporcionalidad denominado viscosidad del fluido.

$\tau$  = Esfuerzo cortante = fuerza aplicada / área específica.

Las variaciones en las tendencias de la temperatura se pueden explicar por el examen de las causas de la viscosidad. La resistencia de un fluido al corte depende de su cohesión y de su rapidez de transferencia de la cantidad de movimiento molecular.

Un líquido, cuyas moléculas dejan espacio mucho más cerrado entre ellas que las de un gas, tienen fuerzas cohesivas mucho mayores que éste. La cohesión decrece con la temperatura así como también la viscosidad.

Para presiones ordinarias, la viscosidad es independiente de la presión, dependiendo solo de la temperatura; para presiones muy grandes, los gases y la mayor parte de los líquidos han mostrado variaciones erráticas con respecto a la presión.

## ECUACIÓN DE CONTINUIDAD <sup>28</sup>

El uso de la ecuación general de continuidad se desarrolla a continuación. Primero, considérese flujo a régimen permanente a través de una porción del tubo de corriente de la figura II.3. El volumen de control comprende las paredes del tubo de corriente entre las secciones 1 y 2, más las áreas en los extremos de las secciones 1 y 2. Dado que el flujo es a régimen permanente,

es cero; se tiene que la masa neta de flujo que sale del volumen de control debe ser cero como se indica en la ecuación II.3.

$$\int_{sc} \rho v dA = 0 \quad (II.3)$$

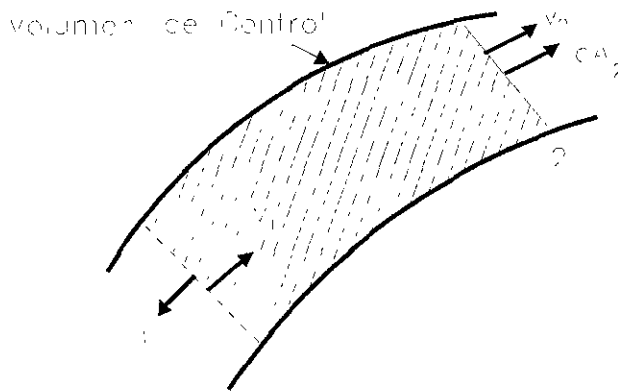


Figura II.3 Flujo a régimen permanente a través de un tubo de corriente

En la sección 1 la masa neta de flujo que sale es  $\rho_1 v_1 dA_1 = \rho_1 v_1 dA_1$ , y en la sección 2 es  $\rho_2 v_2 dA_2 = \rho_2 v_2 dA_2$ . Ya que no hay flujo a través de la pared del tubo de corriente,

$$\rho_1 v_1 dA_1 = \rho_2 v_2 dA_2 \quad (II.4)$$

es la ecuación de la continuidad aplicada a dos secciones a lo largo de un tubo de corriente en flujo a régimen permanente.

Para un arreglo de tubos de corriente, como en la figura II.4, si  $\rho_1$  es la densidad promedio de la sección 1 y  $\rho_2$  la densidad promedio en la sección 2,

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \quad (II.5)$$

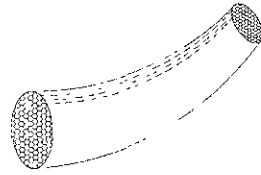


Figura II.4 Arreglo de tubos de corriente entre fronteras fijas

en la que  $V_1, V_2$  representa velocidades promedio sobre las secciones transversales y  $\dot{m}$  es la rapidez de flujo de masa. La velocidad promedio sobre una sección transversal está dada por

$$V = \int v \, dA$$

Si la descarga  $Q$  (llamada también *gasto volumétrico o flujo*) se define como

$$Q = AV \tag{II.6}$$

la ecuación de continuidad puede tomar la forma

$$\dot{m} = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \tag{II.7}$$

para flujo incompresible a régimen permanente

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \tag{II.8}$$

es una forma útil de la ecuación.

Para flujo con densidad constante, a régimen permanente o no permanente, la ecuación general de continuidad se convierte en

$$\int_{sc} v \, dA = 0 \tag{II.9}$$

la cual expresa que el flujo neto de volumen es cero (esto implica que el volumen de control está lleno con líquido en todo tiempo).

Para estudios de flujo bi y tridimensionales deben usarse expresiones diferenciales de la ecuación de continuidad. Para coordenadas cartesianas tridimensionales, la ecuación general de

continuidad se aplica al elemento de volumen de control  $\delta x \delta y \delta z$  de la figura II.5, con centro en  $(x, y, z)$  donde los componentes de velocidad en las direcciones  $x, y, z$  son  $u, v, w$ , respectivamente y  $\rho$  es la densidad. Considérese primero el flujo a través del par de caras normal a la dirección  $x$ . En la cara derecha el flujo hacia fuera es

$$\left[ \rho u + \frac{\delta}{\delta x} (\rho u) \frac{\delta x}{2} \right] \delta y \delta z$$

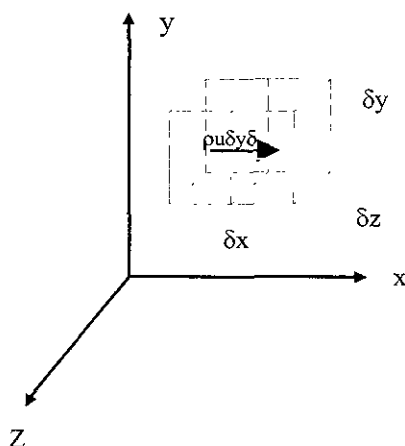


Figura II.5 Volumen de control para la derivación de la ecuación de continuidad tridimensional en coordenadas cartesianas

ya que ambos,  $\rho$  y  $u$ , se supone varían continuamente a través del fluido; en esa expresión  $\rho u \delta y \delta z$  es el flujo de masa a través de la cara central normal al eje  $x$ . El segundo término es la rapidez de aumento del flujo másico, con respecto a  $x$ , multiplicado por la distancia  $\delta x/2$  a la cara derecha. De igual modo, en la cara izquierda, el flujo hacia adentro del volumen es

$$\left[ \rho u - \frac{\delta}{\delta x} (\rho u) \frac{\delta x}{2} \right] \delta y \delta z$$

ya que el paso es  $-\delta x/2$ . El flujo neto a través de estas dos caras es

$$\frac{\delta}{\delta x} (\rho u) \delta x \delta y \delta z$$

Las otras dos direcciones producen expresiones similares; por lo tanto, el flujo neto de masa hacia fuera es

$$\left[ \frac{\delta}{\delta x} (\rho u) + \frac{\delta}{\delta y} (\rho v) + \frac{\delta}{\delta z} (\rho w) \right] \delta x \delta y \delta z$$

la cual toma lugar de la parte del volumen de control, en donde la rapidez de aumento de la masa dentro de éste, es justamente igual a la rapidez neta del flujo hacia adentro del volumen de control. La parte de la ecuación de continuidad donde se involucra el comportamiento de la densidad con respecto a la diferencial del volumen de control, se convierte en

$$-\frac{\delta \rho}{\delta t} \delta x \delta y \delta z$$

Cuando se usan estas dos expresiones en la ecuación general de continuidad, después de dividir todo por el elemento volumen y tomando el límite cuando  $\delta x \delta y \delta z$  se acerca a cero, la ecuación de continuidad en un punto se convierte en

$$\frac{\delta}{\delta x} (\rho u) + \frac{\delta}{\delta y} (\rho v) + \frac{\delta}{\delta z} (\rho w) = -\frac{\delta \rho}{\delta t} \quad (II.10)$$

que debe cumplirse para todo punto en el flujo, a régimen permanente o no permanente, compresible o incompresible. \* Para flujo incompresible, sin embargo, se simplifica a

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0 \quad (II.11)$$

Las ecuaciones (II.10) y (II.11) se pueden escribir en forma compacta en notación vectorial. Por medio de vectores unitarios fijos en las direcciones  $x, y, z$ ,  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$ , respectivamente, el operador  $\nabla$  se define como

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\delta}{\delta x} + \mathbf{j} \frac{\delta}{\delta y} + \mathbf{k} \frac{\delta}{\delta z} \quad (II.12)$$

y el vector velocidad  $\mathbf{q}$  esta dado por

$$\mathbf{q} = \mathbf{i}u + \mathbf{j}v + \mathbf{k}w \quad (II.13)$$

Entonces

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{q}) = \left( \mathbf{i} \frac{\delta}{\delta x} + \mathbf{j} \frac{\delta}{\delta y} + \mathbf{k} \frac{\delta}{\delta z} \right) \cdot (\mathbf{i} \rho u + \mathbf{j} \rho v + \mathbf{k} \rho w)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{q}) = \frac{\delta}{\delta x} (\rho u) + \frac{\delta}{\delta y} (\rho v) + \frac{\delta}{\delta z} (\rho w)$$

porque  $i \cdot i = 1$ ,  $i \cdot j = 0$ , etc. La ecuación (II.10) se convierte en

$$\nabla \cdot \mathbf{q} = - \frac{\delta \rho}{\delta t} \quad (II.14)$$

y la ecuación (II.11) se convierte en

$$\nabla \cdot \mathbf{q} = 0 \quad (II.15)$$

El producto punto  $\nabla \cdot \mathbf{q}$  se denomina *divergencia* del vector velocidad  $\mathbf{q}$ , es decir, es el flujo neto de volumen por unidad de volumen en un punto y debe ser cero para flujo incompresible.

El flujo bidimensional, el cual generalmente se supone que ocurre en planos paralelos al plano  $xy$ ,  $w=0$  y no hay cambio con respecto a  $z$ , así que  $\delta/\delta z=0$ , lo que reduce las ecuaciones tridimensionales dadas para continuidad.

A medida que un fluido circula por una tubería de sección transversal y elevación variable, la presión cambiará a lo largo de la misma. Bernoulli fue el primero en deducir una expresión fundamental que relaciona la presión con la velocidad del fluido y la elevación, esta es una forma de manifestar la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. Todas las expresiones matemáticas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas al rozamiento, dicho teorema expresa que: "La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad"<sup>8</sup>, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = H \quad (II.16)$$

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía al sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura  $H$  permanecerá constante para cualquier punto del fluido.

Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli, por lo tanto el balance de energía puede escribirse para 2 puntos del fluido, según se indica en la figura II.6

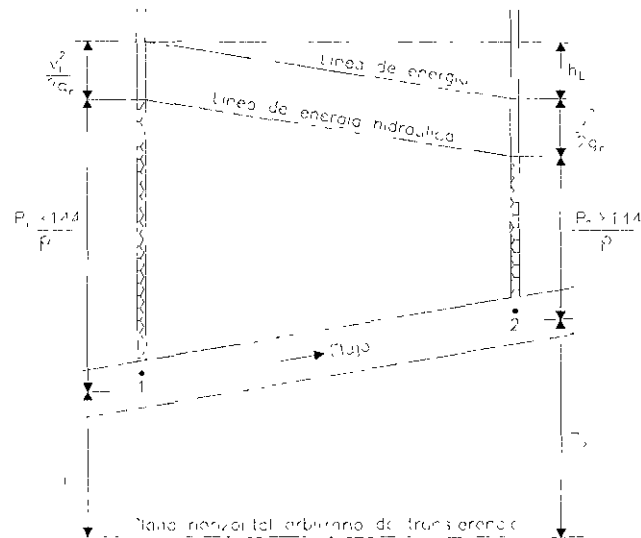


Figura II.6 Balance de energía para 2 puntos de un fluido\*

Entonces, la ecuación (II.16) puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{144P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (II.17)$$

Debido a que la circulación de los fluidos en tuberías siempre está acompañada del rozamiento de las partículas del fluido entre sí, necesariamente existirá una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La ecuación general de la pérdida de presión, es conocida como la fórmula de Darcy:

$$\Delta P = \frac{\rho f L v^2}{144 D 2g} \quad (II.18)$$

Donde:

- $\Delta P$  = Caída de presión
- $\rho$  = Densidad (lb/pie<sup>3</sup>)
- $f$  = Factor de fricción
- $L$  = Longitud base (pies)
- $v$  = Velocidad dentro de la tubería (pies/seg)
- $D$  = Diámetro del tubo (plg.)
- $g$  = Aceleración de la gravedad (32.2 pies/seg<sup>2</sup>)
- 144 = Factor de corrección

\* Fluid Mechanics. R.A. Dodge and M.J. Thompson. McGraw-Hill Book Company, Inc.



La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido (fluidos incompresibles) en una tubería. Con las restricciones necesarias, ésta ecuación puede utilizarse con gases y vapores (fluidos compresibles).

Esta fórmula puede deducirse mediante un análisis dimensional a excepción del factor de fricción  $f$ , el cual debe ser determinado experimentalmente. Dicho factor de fricción tanto para condiciones de flujo laminar ( $Re < 2000$ ), como para flujo turbulento ( $Re > 4000$ ), se encuentra en función del número de Reynolds y a la región que se encuentra entre ambos flujos se conoce como zona crítica; en esta región el factor de fricción es indeterminado, teniendo límites más bajos si se trata de flujo laminar y más altos si es turbulento.

El factor de fricción para el flujo laminar puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu}{124d\nu\rho} \quad (II.19)$$

Cuando se trate de flujo turbulento, el factor de fricción no depende solo del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería ( $\epsilon$ ) comparada con el diámetro de la tubería ( $d$ ).

Las tuberías de diámetro pequeño se acercan a la condición de gran rugosidad y en general tienen mayores factores de fricción que tuberías del mismo material pero de diámetros mayores.

### II.1.1 FLUIDOS COMPRESIBLES.<sup>14</sup>

Si la caída de presión debida al paso de un gas por un sistema es lo suficientemente grande, en comparación con la presión de entrada, y ocasiona una disminución del 10% ó más en la densidad del gas, entonces se considera que el flujo es “compresible”.

El flujo a régimen permanente ocurre cuando las condiciones en cualquier punto del fluido no cambian con el tiempo. En flujo a régimen permanente no hay cambio en la densidad  $\rho$ , presión  $P$ , temperatura  $T$  o velocidad  $v$  con el tiempo en cualquier punto, es decir:

$$\frac{dP}{dt} = 0 \quad \frac{d\rho}{dt} = 0 \quad \frac{dT}{dt} = 0 \quad \frac{dv}{dt} = 0 \quad (II.1.1)$$

El flujo se desarrolla a régimen no permanente cuando las condiciones en cualquier punto cambian con el tiempo.

#### Principios del flujo de fluidos compresibles en tuberías.

La determinación exacta de la pérdida de presión de un fluido compresible que circula por una tubería requiere un conocimiento de la relación entre presión y volumen específico; esto no es fácil de determinar para cada problema en particular. Los casos extremos considerados normalmente son el flujo adiabático ( $P' V_a^\gamma = \text{constante}$ ) y el flujo isotérmico ( $P' V_a = \text{constante}$ ).

El flujo adiabático se supone que ocurre en tuberías cortas y bien aisladas. Esto es debido a que no se transfiere calor desde o hacia la tubería, excepto la pequeña cantidad de calor que se produce por fricción que se añade al flujo.

El flujo isotérmico o flujo a temperatura constante se considera que ocurre muy a menudo, en parte por conveniencia, o más bien, porque se acerca más a la realidad de lo que sucede en las tuberías. El caso extremo de flujo isotérmico ocurre principalmente en las tuberías de gas natural. Dodge y Thompson demuestran que el flujo de gas en tuberías aisladas está muy cerca del flujo isotérmico para presiones muy altas.

Como la relación entre presión y volumen, para un fluido compresible, puede adoptar cualquier otra forma ( $P' V_a^n = \text{constante}$ ) llamado flujo politrópico, cuando se trabaja con fluidos compresibles como aire, vapor de agua, etc., deben tenerse en cuenta las siguientes restricciones al utilizar la fórmula de Darcy:

$$\Delta P = \frac{\rho f L v^2}{144 D 2g} \quad (II.1.2)$$

- 1.- Si la pérdida de presión calculada ( $P_1 - P_2$ ) es menor que el 10% de la presión de entrada  $P_1$ , se obtiene una exactitud razonable si el volumen específico que se introduce en la fórmula se basa en las condiciones de entrada o en las condiciones de salida, cualesquiera que sean conocidas.
- 2.- Si la caída de presión calculada ( $P_1 - P_2$ ) es mayor que un 10% pero menor que un 40%, de la presión de entrada  $P_1$ , la ecuación de Darcy puede aplicarse con razonable precisión utilizando el volumen específico basado en una media de las condiciones de entrada y de salida.
- 3.- No es recomendable para pérdidas de presión mayores, como las que se encuentran a menudo en tuberías muy largas, en cuyo caso se utilizan las ecuaciones de: Weymouth, Moody y Panhandle.

## II.1.2 FLUIDOS INCOMPRESIBLES.<sup>14</sup>

El fluido se considera como incompresible si la sustancia en movimiento es un líquido o si se trata de un gas cuya densidad cambia del sistema en un valor no mayor de 10%.

### Propiedades de los fluidos incompresibles.

- a) Viscosidad cinemática.
- b) Densidad, volumen específico, peso específico, densidad relativa.
- c) Presión de vapor.

A continuación se describen brevemente dichas propiedades:

- a) Viscosidad cinemática.

A la viscosidad  $\mu$  frecuentemente se le denomina viscosidad absoluta o viscosidad dinámica para evitar confundirla con la viscosidad cinemática  $\nu$ , que es la razón de viscosidad a densidad de masa.

$$\mu = \frac{\nu}{\rho} \quad (II.1.3)$$

La viscosidad es casi independiente de la presión y depende sólo de la temperatura. La viscosidad cinemática de líquidos y de gases a una presión dada, es primordialmente una función de la temperatura.

## b) Densidad.

La densidad  $\rho$  de un fluido se define como su masa por unidad de volumen. Para definir la densidad en un punto, la masa  $\Delta m$  de un pequeño volumen  $\Delta V$  rodeando el punto se divide entre  $\Delta V$  tiende a  $l^3$  donde  $l$  es aún grande comparada con la distancia media entre moléculas.

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow l^3} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (II.1.4)$$

La densidad es función de la temperatura; a no ser que se consideren presiones muy altas, el efecto de la presión sobre la densidad de los líquidos carece de importancia en los problemas de flujo de fluidos.

## Volumen específico.

El volumen específico  $V_e$  es el recíproco de la densidad, esto, es volumen ocupado por la unidad de masa del fluido.

$$V_e = \frac{1}{\rho} \quad (II.1.5)$$

## Peso específico.

El peso específico de una sustancia es su peso por unidad de volumen. Cambia con el lugar dependiendo de la aceleración de la gravedad.

$$\gamma = \rho g \quad (II.1.6)$$

## Densidad Relativa.

La densidad relativa  $S$  de una sustancia es la razón de su peso al peso de un volumen igual al del agua en condiciones estándar. También se puede expresar como una razón de su densidad o peso específico con respecto al del agua.

## c) Presión de vapor.

Los líquidos se evaporan debido a que las moléculas se escapan de la superficie del mismo. Las moléculas de vapor ejercen una presión parcial en el espacio conocido como presión de vapor. Si el espacio arriba del líquido es limitado después de un tiempo suficiente el número de moléculas de vapor que golpean la superficie del líquido y se condensan es justamente igual al número que escapa en cualquier intervalo de tiempo, dándose así el equilibrio. Este fenómeno depende de la actividad molecular que es función de la temperatura, la presión de vapor de un fluido dado depende de la temperatura y aumenta con ella. Cuando la presión arriba de un líquido es igual a la presión de vapor del líquido ocurre la ebullición.

Es posible que se produzcan presiones muy bajas que sean iguales a la presión de vapor, o menos, cuando esto ocurre el líquido se evapora rápidamente. A este fenómeno se le da el nombre de cavitación el cual se presenta dentro de las líneas pudiendo afectar el desempeño operativo de bombas así como ocasionar erosión en partes metálicas.

## II.2 SISTEMAS DE DESFOGUE.<sup>15</sup>

En el diseño de una planta no es posible diseñar el equipo de proceso para todas las condiciones posibles que puedan causar las operaciones anormales, por tal motivo la manera práctica de protegerlos es por medio de un sistema de desfogue, el cual se compone de válvulas de seguridad, discos de ruptura, tubería, tanques, etc.

Recibe el nombre de *sistema de desfogue* aquel que está formado por dispositivos y tuberías, que permiten disminuir un exceso de presión en algún equipo, por medio del desplazamiento de una masa determinada desde el equipo presionado hacia un lugar en el que se pueda disponer de ella con toda seguridad.

Básicamente existen tres tipos de sistemas de desfogue, de acuerdo a la forma en que se dispone el flujo relevado:

- a) Sistema Abierto.- Se llama de esta forma al sistema en virtud de que la masa relevada entra en contacto directo con la atmósfera. Esto solo se permitirá cuando dicha substancia no reaccione químicamente con el aire formando mezclas explosivas o inflamables con el mismo. Si los desfogues a la atmósfera son peligrosos deberán conducirse a un quemador.

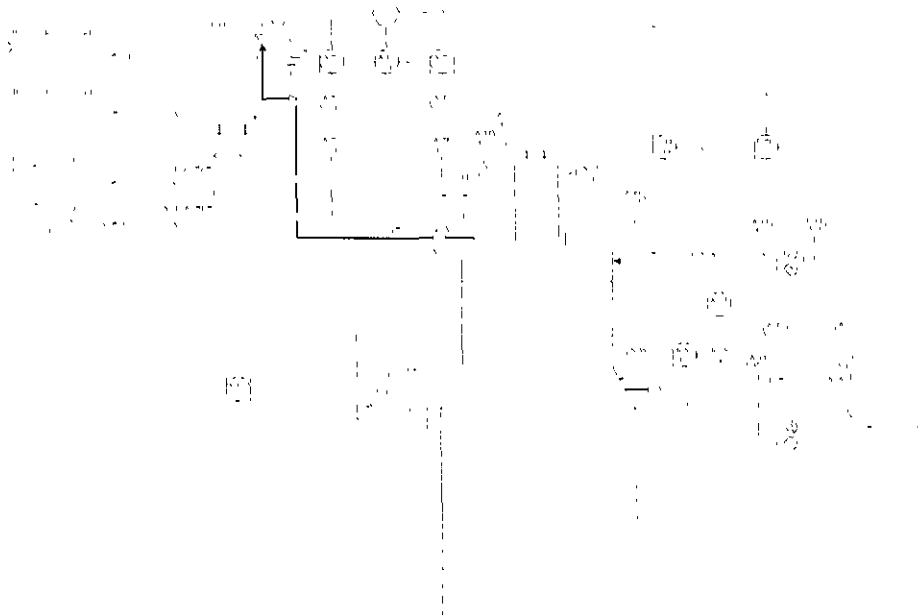


Figura II.2.1 Sistema de Desfogue Abierto

Como puede observarse, con la línea gruesa se identifica el envío hacia la atmósfera la descarga de la válvula de seguridad.

- b) Sistema Cerrado.- Si el fluido no debe entrar en contacto directo con la atmósfera se requiere de este sistema, el cual consiste de un cabezal y ramales, a los cuales se incorpora la descarga de los dispositivos de seguridad, y se conduce el fluido de descarga (hidrocarburos) hacia un lugar seguro, ver figura II.2.2.

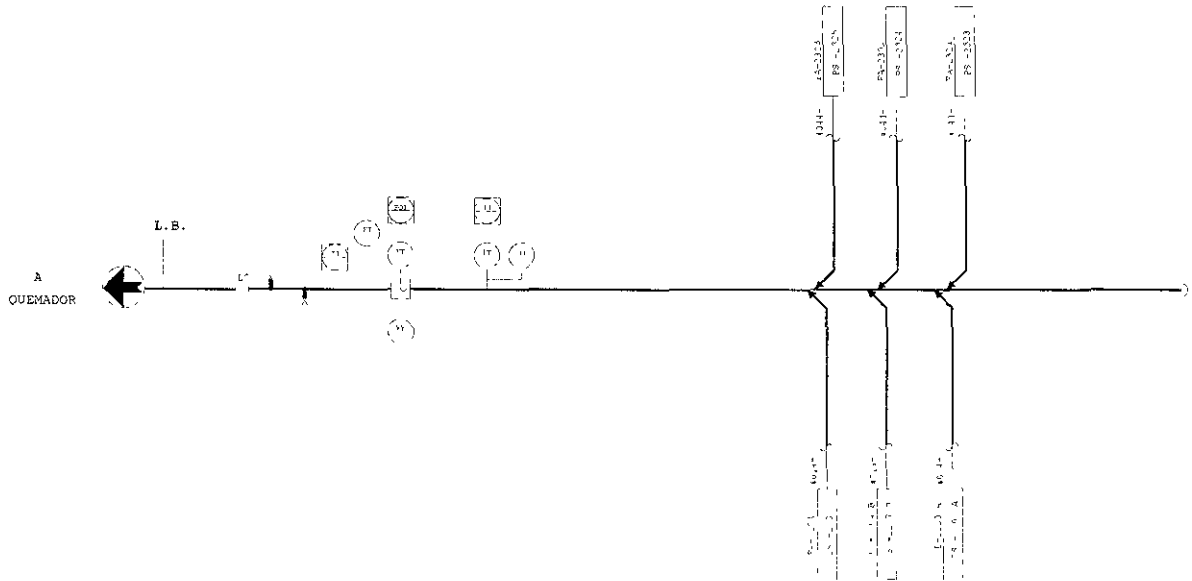


Figura II.2.2 Sistema de Desfogue Cerrado

- c) Sistema a Recuperación.- Es cuando en el desfogue del fluido en cuestión puede crear riesgos mayores debido a su toxicidad o inflamabilidad, se puede conducir hacia un sistema de este tipo, el cual está formado por cabezales, ramales y equipos que en su conjunto nos dan la posibilidad de recuperar el producto, su neutralización o conversión hacia productos menos riesgosos.

En la figura II.2.3 puede apreciarse en qué consiste la recuperación, para el caso de un sistema típico de una refinería, el cual esta formado por un tanque separador de la corriente líquida, la mediante control de nivel se envía por medio de las bombas, en este caso accionadas por motor eléctrico, hacia recuperación, y la corriente gaseosa es enviada hacia un quemador para su combustión segura.

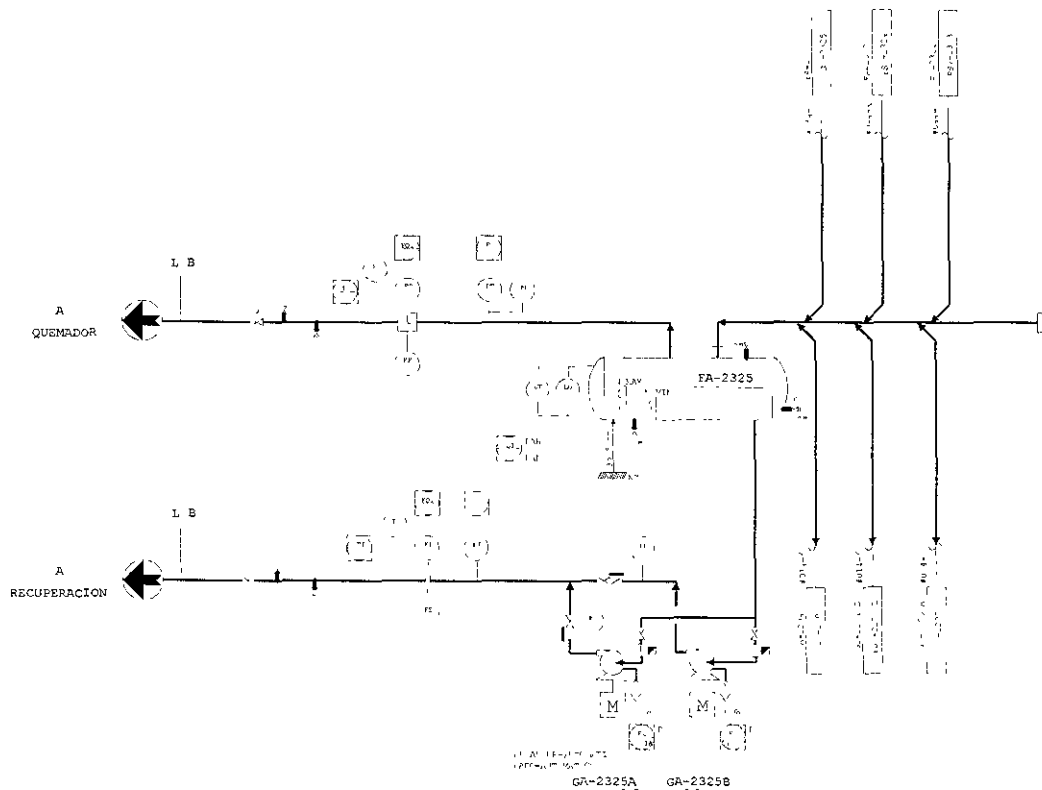


Figura II.2.3 Sistema a Recuperación

La selección entre el uso de un determinado tipo de sistema o el otro, se hace de acuerdo a muy distintos factores, por ejemplo: su grado de toxicidad e inflamabilidad, criterio del diseñador y en algunas ocasiones, de reglamentos locales que van relacionados con la contaminación y el ruido. Por estas razones, en Plantas de Refinación y Petroquímica, se prefiere que todos los hidrocarburos y productos químicos desfoguen a un sistema cerrado y solo se permita salir al sistema abierto; el relevo de agua de enfriamiento, vapor de agua, aire y gas inerte generalmente, a excepción de ciertos casos específicos plasmados en la normatividad nacional e internacional.

Para un adecuado desfogue de éstos, se debe de tomar en cuenta el dimensionamiento del cabezal de relevo; que es propiamente, una tubería a la cual llegan todas las descargas de las masas a relevar, donde los principales factores que afectan al diseño de los mismos son:

- La distribución física de la planta.
- El proceso que se lleva a cabo.
- La máxima descarga simultánea a los cabezales.
- Tipo y características de las válvulas de relevo ya seleccionadas.
- La máxima caída de presión disponible o permisible.
- El método matemático para el cálculo de ésta caída de presión para establecer diámetros en el sistema.

Las válvulas que han de relevar en forma simultánea sustentan la capacidad máxima requerida de descarga que puede suceder por causas: tales como fuego, falla de agua de enfriamiento, falla de energía eléctrica, etc., que serán detalladas en el punto II.2.1.

La medida del diámetro a utilizar en el cabezal radica en no producir más caída de presión que la disponible; donde la caída de presión disponible está determinada por la presión de relevo más baja de entre todas la válvulas que se integran al sistema menos la presión de salida del cabezal que se esté diseñando.

La contrapresión permisible es indicada por el tipo de válvula utilizada; en el caso de las válvulas convencionales, su contrapresión será la presión de ajuste y en válvulas balanceadas será del 30 % de la presión de relevo, para que no sea afectada su capacidad, pudiendo llegar hasta el 50%, previa revisión en la afectación de la masa que será relevada.

Existen métodos de aproximación para el cálculo de cabezales de relevo, los cuales se mencionan a continuación:

- Método API (American Petroleum Institute).<sup>15</sup>

Este método se recomienda solo para un chequeo rápido, pues comúnmente da resultados conservadores. Su naturaleza es la de una ecuación de flujo isotérmico:

$$\frac{2\Delta P_E}{P_1} = 1 - \left[ 1 - \left( C_K \frac{\Delta P_E}{P_1} \right)^2 + \frac{G^2}{\rho_1 P_1 g} \ln \left( 1 - \frac{C_k P_E}{P_1} \right)^2 \right] \quad (II.2.1)$$

El procedimiento consiste en calcular la caída de presión estándar, por medio de la ecuación de Fanning y usando las propiedades físicas del fluido a las condiciones de entrada o inicio del cabezal; después se procede a calcular o estimar el valor del factor de corrección por energía cinética  $C_K$  y finalmente, ya teniendo el valor del factor de corrección por energía cinética, la caída de presión  $\Delta P_C$  será:

$$\Delta P_C = \Delta P_E C_K \quad (II.2.2)$$

- Método de Conison.<sup>15</sup>

En condiciones de salida conocidas o calculadas por medio de la ecuación de Crocker para presión crítica. Este método se aplica para cualquier tubería en la cual el diámetro y el gasto permanecen constantes a lo largo de la trayectoria y en donde los cambios en calor específico, viscosidad y temperatura no son significativos.

Su ecuación es:

$$P_1 = \left[ \left( \frac{f L_T \rho_2 V_2^2}{2gd} \right) (2P_2) + P_2^2 + \frac{2V_2^2 \rho_2 P_2}{g} \ln \frac{V_2}{V_1} \right]^{0.5} \quad (II.2.3)$$



Donde:

- $f$  = Factor de fricción.
- $L_T$  = Longitud total de tubo recto y accesorios en pies.
- $\rho$  = Densidad en lb/pie<sup>3</sup>.
- $V$  = Velocidad de flujo en pies/seg.
- $d$  = Diámetro en pies.
- $P$  = Presión en lb/pie<sup>2</sup>.
- $g$  = Aceleración de la gravedad 32.2 pie/seg.

El subíndice 1 se refiere a las condiciones de entrada o iniciales del cabezal y el 2 a las condiciones de salida o finales del mismo.

Cuando se cuenta con la facilidad de una computadora o se desea un cálculo manual aún más preciso, la forma de trabajar la ecuación original, es la siguiente:

$$\alpha = \frac{fL_T \rho_2 V_2^2 P_2}{gd} + P_2^2 \quad (II.2.4)$$

$$\beta = \frac{2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 \rho_2 P_2}{g} \quad (II.2.5)$$

Se calcula un valor inicial de  $P_1$  con:

$$P_1 = \sqrt{\alpha} \quad (II.2.6)$$

Con el valor de  $P_1$  recién obtenido, se calcula  $V_1$ . Se corrige el valor de  $P_1$  estimado inicialmente:

$$P_{1c} = \sqrt{\alpha + \beta \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (II.2.7)$$

Si  $P_{1c}$  es distinta de  $P_1$ , se hace:

$$P_1 = P_{1c}$$

se repite hasta convergencia. Habiendo calculado  $P_1$ , se compara éste a su vez con el valor de la contrapresión permisible de la válvula con la menor presión de relevo. El diámetro correcto será aquel en que la presión inicial  $P_1$  calculada sea igual o menor que la contrapresión permisible.

- Método Adiabático.<sup>15</sup>

La ecuación de flujo adiabático es más rigurosa pues toma en cuenta cambios que otros métodos no consideran como es el producto  $PV^k$ .

La ecuación adiabática es la siguiente:

$$P_1 = \left[ P_2 \binom{k+1}{k} + \left( \frac{5.59851 * 10^{-7} W^2 P_2 \binom{1}{k}}{D^4 \rho_2} \right) \left( \frac{k+1}{k} \right) \left( \frac{fL_T}{2D} + \ln \frac{P_1}{P_2} \right) \right] \binom{k}{k+1} \quad (II.2.8)$$

El manejo de la ecuación se puede hacer de la siguiente manera:

$$\beta = \left( \frac{5.59851 * 10^{-7} W^2 P_2 \binom{1}{k}}{D^4 \rho_2} \right) \left( \frac{k+1}{k} \right) \quad (II.2.9)$$

$$\alpha = P_2 \binom{k+1}{k} \quad (II.2.10)$$

$$k_F = \frac{fL_T}{2D} \quad (II.2.11)$$

Se calcula el valor inicial de  $P_1$

$$P_1 = (\alpha + \beta k_F) \binom{k}{k+1} \quad (II.2.12)$$

$$P_{1C} = \left( \alpha + \beta k_F \ln \frac{P_1}{P_2} \right) \binom{k}{k+1} \quad (II.2.13)$$

Se compara  $P_{1C}$  con  $k P_1$ , si no son iguales, se toma  $P_1 = P_{1C}$  y se repite hasta convergencia. Nuevamente, el diámetro correcto, será el que nos dé un valor de la presión inicial  $P_1$  menor o igual que la contrapresión permisible en la válvula con la menor presión de relevo.

- Método de Missen<sup>15</sup>.

Este se basa en las condiciones de salida y, también es necesario iterar el valor de  $P_1$ . La ecuación es:

$$P_1 = \left[ \left( \frac{2G^2 V_2}{gP_2} \ln \frac{P_1}{P_2} \right) + \left( \frac{fG^2 V_2 L_T}{GP_2 D} \right) + 1 \right]^{0.5} P_2 \quad (II.2.14)$$

Para manejar esta expresión se tiene:

$$\alpha = \frac{2G^2 V_2}{gP_2} \quad (II.2.15)$$

$$\beta = \frac{fG^2 V_2 L_T}{gP_2 D} + 1 \quad (II.2.16)$$

Se calcula el valor inicial de  $P_1$ .

$$P_1 = \beta^{0.5} P_2 \quad (II.2.17)$$

$$P_{1c} = \left( \alpha \ln \frac{P_1}{P_2} + \beta \right)^{0.5} P_2 \quad (II.2.18)$$

Se hace la comparación de la presión inicial  $P_1$  con la contrapresión permisible para determinar si el diámetro propuesto es el adecuado.

- Método de MAK.<sup>15</sup>

Está basado en la ecuación de flujo isotérmico y en las condiciones de salida y su ecuación es:

$$\frac{fL_T}{D} = \frac{1}{M_2^2} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^2 - 1 \right] - \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \quad (II.2.19)$$

La ecuación puede reorganizarse para facilitar su manejo, de la siguiente forma:

$$\frac{fL_T}{D} = \frac{1}{M_2^2} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^2 - 1 \right] - \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \quad (II.2.20)$$

donde  $M$  es el número de Mach, el cual se calcula con la ecuación:

$$M_2 = \left( \frac{1.336 * 10^5 W}{P_2 A^2} \right) \left( \frac{Z_2 T_2}{PM} \right)^{0.5} \quad (II.2.21)$$

El manejo de la ecuación se hace:

$$\alpha = \frac{fL_T}{D} \quad (II.2.22)$$

El valor inicial de  $P_1$  se logra con:

$$P_1 = P_2 \left[ \alpha M_2^2 + 1 \right]^{0.5} \quad (II.2.23)$$

Con este valor se corrige el valor de  $P_1$ .

$$P_{1c} = P_2 \left[ \left( \alpha + \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \right) M_2^2 + 1 \right]^{0.5} \quad (II.2.24)$$

Para comprobar si el diámetro considerado es correcto, se compara los valores de  $P_1$  y la contrapresión máxima permisible de la válvula con la menor presión de relevo.

Después de haber realizado un minucioso análisis, desde el punto de vista termodinámico y de resultados de caída de presión, se puede concluir lo siguiente:

1. El proceso que se lleva a cabo en el cabezal de desfogue es *isotérmico* (temperatura constante), y se aplica a fluidos compresibles (gases), ya que son éstos los que se van a enviar al cabezal. La razón del porque es isotérmico se debe a que la transferencia de calor que se lleva a cabo entre el punto inicial y el final no sufre cambios, si es que tomamos en consideración las diferenciales de longitud con respecto al cabezal. Por otro lado, si se hubiese establecido el proceso como adiabático, la certeza de que no exista transferencia de calor entre el sistema y sus alrededores es poco probable, ya que en la parte exterior del cabezal se tienen factores que efectúan esa transferencia como lo es el viento, la temperatura de ambiente, etc. Si se quiere considerar el Método de Conison, se puede decir que el inconveniente que presenta es el de considerar que no existen cambios en calor específico, viscosidad y temperatura, lo cual no es cierto; ya que precisamente una característica de los fluidos compresibles es que hay cambios en la presión y temperatura.

Después de que Lapple, C.E. \* realizó la comparación de los resultados a los procesos mencionados, isotérmico y adiabático, concluyó también que el primero es el más representativo para este tipo de sistemas.

2. Por lo que se refiere al cálculo de caída de presión ( $\Delta P$ ), de los métodos ya descritos no existen grandes diferencias en los resultados, exceptuando el de Conison, que tiene como restricciones que el gasto y el diámetro permanezcan constantes. Por esta razón, la ecuación seleccionada fue la de Mak<sup>20</sup>, de la cual pueden obtener los datos necesarios de una forma más accesible, además de arrojar resultados bastantes confiables.

---

\* Lapple, C.E., "Isothermal and Adiabatic Flow of Compressible Fluids", Trans. AIChE, Vol. 39.

## II.2.1 BASES PARA DETERMINAR LAS FALLAS EN VÁLVULAS DE SEGURIDAD.<sup>1,2,3</sup>

Cuando la presión se eleva, el dispositivo de seguridad alivia ese exceso de presión al desalojar una cierta masa de fluido hacia otro lugar.

El dispositivo de relevo debe estar diseñado de tal forma que maneja la masa necesaria para el desfogue, y que además no sea mayor de lo realmente requerido pues se elevaría su costo en forma innecesaria.

El exceso de presión se puede producir por diferentes causas, y la masa necesaria de relevar en cada caso es distinta. Puede haber varias causas de presión en un equipo, pero sola una de ellas ocurrirá a la vez. No pueden existir causas simultáneas, en todo caso, una causa puede dar origen a otra, pero definitivamente no existen causas simultáneas. Cuando hay varias causas posibles, el dispositivo de relevo se diseña para la mayor masa posible a generarse, y así también funcionará adecuadamente para las otras causas.

De los diagramas de tubería e instrumentación y según la distribución de equipos, se debe analizar dónde se considera necesario instalar un dispositivo de relevo de presión y poniendo especial cuidado dónde se considere que pueda existir descarga bloqueada.

Posteriormente se deben localizar los dispositivos de relevo, tratando de proteger el mayor número de equipos con la menor cantidad de válvulas de seguridad.

En base a esto se efectúa el estudio de las diferentes emergencias en la planta para determinar las cargas máximas a los cabezales. Los flujos individuales de cada válvula servirán para su dimensionamiento.

Las causas de sobrepresión que a continuación se listan, son los más comunes:

- 1.- Fuego Externo.
- 2.- Descarga Bloqueada.
- 3.- Ruptura de tubos.
- 4.- Falla de Agua de Enfriamiento.
- 5.- Falla de Reflujo.
- 6.- Expansión Térmica de Líquidos.
- 7.- Falla de Corriente Eléctrica.
- 8.- Falla de Aire de Instrumentos.

Además de las anteriores, pueden existir fallas en las cuales no es factible usar este tipo de dispositivos. Tal es el caso que se presenta cuando existe una explosión interna y se desea proteger el o los recipientes, para lo cual es de común uso el disco de ruptura.

A continuación se explican brevemente las causas de exceso de presión listadas y, se indica como se calcula la masa a desfogar para cada una de ellas.

## FUEGO EXTERNO.

Cuando se produce un incendio en una planta, cualquier recipiente que procesa o maneja materiales flamables o no flamables puede estar expuesto al fuego. Si el recipiente contiene líquido, el calor suministrado ocasionará que una parte o todo el líquido pase a la fase vapor, provocando un aumento de presión que debe ser aliviado por un dispositivo de relevo.

Existe una limitación de tipo físico con respecto al tamaño de la flama. De la observación de varios incendios se determinó que la altura máxima que puede alcanzar una flama es de 25 pies a partir de cualquier superficie capaz de sostenerla. Para recipientes horizontales y verticales, se compara la altura del líquido hasta el nivel normal, con el valor de 25 pies, para considerar que porción del recipiente se va a ver afectado por el fuego. La superficie se considera hasta el menor de dos valores. Lo mismo se hace con los recipientes esféricos y se compara la elevación hasta el diámetro mayor, con el valor de 25 pies, se considera también el líquido hasta el nivel normal. Cuando la altura del líquido está en la parte superior de la esfera, se compara dicha elevación contra el valor de 25 pies y se utiliza el menor. Cuando la altura del líquido está en la mitad inferior, se utiliza siempre la altura del líquido.<sup>1</sup>

Cálculo de la Masa a Relevar.

La masa que se debe relevar está en función del calor absorbido por el recipiente y del calor latente de vaporización del líquido.

$$W = Q / \lambda \quad (II.2.1.1)$$

Q = Calor absorbido en BTU/hr.

$\lambda$  = Calor latente de vaporización en BTU/lb.

W= Masa a relevar en lb/hr.

El calor absorbido puede ser calculado a partir de la siguiente expresión.

$$Q = 21\,000 F A^{0.82} \quad (II.2.1.2)$$

Q = Calor total absorbido en BTU/hr.

F = Factor de aislamiento.

A= Area mojada expuesta a fuego en pie<sup>2</sup>.

El factor de aislamiento F, depende del tipo de aislante que se utilice, aunque es preferible suponer que el recipiente está desnudo, con lo cual F=1. Esta suposición es válida, porque en el caso de un incendio prolongado, el aislante puede caer ya sea porque se ha quemado, o porque el soporte o cubierta de retención han sido dañados por el fuego, o por la fuerza de los chorros de agua contra incendio. Los valores recomendados son:

Tipos de Instalación	Factor "F"
1.- Recipientes Desnudos	1.0
2.- Recipientes Aislados	
a) 4.0 BTU/hr pie <sup>2</sup> °F	0.3
b) 2.0 BTU/hr pie <sup>2</sup> °F	0.15
c) 1.0 BTU/hr pie <sup>2</sup> °F	0.075
3.- Recipientes con Sistemas de Regadera	1.0
4.- Servicios de Depresuramiento y Vaciado	1.0
5.- Recipientes Bajo Suelo Cubierto con Tierra	0.0
6.- Recipiente sobre Suelo Cubiertos con Tierra	0.03

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 Molliere.

### DESCARGA BLOQUEADA. <sup>1</sup>

Existe esta causa de sobrepresión, en un equipo o recipiente cuya salida o descarga pueda ser bloqueada por cualquier razón y que está recibiendo un fluido a una presión que pueda llegar a ser mayor que aquella para la cual se diseñó.

### RUPTURA DE TUBOS. <sup>1</sup>

En este caso se protegen la envolvente o los tubos de un cambiador de calor. Se presenta cuando la presión de operación de uno de los lados es mayor que la presión de diseño del otro lado. En el caso de la ruptura de un tubo, la alta presión se comunicaría de uno a otro lado. La colocación del dispositivo de seguridad será entonces en el lado de menor presión.

En la práctica, la válvula de seguridad es requerida cuando la presión de operación mas alta excede 1.5 veces la presión de diseño del lado de baja presión.

Existen varios criterios para calcular la masa en ésta causa, pero el más aceptado es el que utiliza la diferencia teórica de volúmenes al relacionar las dos presiones:

$$\text{Para líquidos:} \quad Q = 34.8 d^2 (\Delta P / S)^{0.5}$$

$$\text{Para Vapores:} \quad W = 1580 d^2 (P \rho)^{0.5}$$

Q = Gasto Volumétrico en gal/min.

$\Delta P$  = Diferencia de Presiones en lb<sub>f</sub>/plg<sup>2</sup>.

W = Gasto Masa en lb/ hr.

d = Diámetro Interior del Tubo en pulgadas.

S = Densidad Relativa del Líquido.

P = Presión Mayor en lb<sub>f</sub>/plg<sup>2</sup>.

$\rho$  = Densidad del Fluido a la Presión Mayor en lb/pic<sup>3</sup>.



## **FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO. <sup>1</sup>**

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

Como masa a relevar en este caso, normalmente es confiable tomar la masa total de vapor que entra al condensador.

En una torre de fraccionamiento, la capacidad de relevo requerida, es igual al total del gas y vapor que entra a la torre, más el generado ahí, menos el vapor condensado por una corriente lateral o algún reflujo enfriado por algún medio que no sea agua de enfriamiento.

## **FALLA DE REFLUJO. <sup>1</sup>**

En una torre de destilación, el vapor que asciende del segundo plato, produce la ebullición del líquido en el primer plato. Este líquido es precisamente el reflujo proveniente del tanque acumulador. 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 todo los platos, produciéndose una gran cantidad de vapor que probablemente ocasione un aumento de presión que sea necesario aliviar.

La fuente de calor que contribuya a generar los mencionados vapores puede ser determinante en el estimado de la masa a relevar. Además es necesario considerar las siguientes circunstancias:

Si hay adecuada capacidad para recibir o absorber de algún modo el producto de los domos, la falla de reflujo podría ser despreciable desde el punto de vista de aumento de presión.

Normalmente, la masa a relevar será la masa que sale del domo en operación normal. En caso de que existan rehervidores, la masa a relevar sería la masa normal del domo, mas la masa de vapores alimentados por el rehervidor. Si la fuente de calor es la alimentación misma, se deben estimar los vapores producidos en la zona inmediata a la alimentación.

## **EXPANSIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS. <sup>1</sup>**

Cuando en un recipiente o cambiador de calor puede de alguna manera bloquearse un líquido, y existe alguna fuente de calor que pueda calentar ese líquido, este tenderá a expandirse en mayor o 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.

El caso común se tiene en cambiadores de calor en que la corriente “fría” es bloqueado y la fuente de calor es la corriente “caliente”.

Es práctica común poner válvulas de seguridad en la salida de agua de enfriamiento de condensadores y enfriadores.

Esta falla se puede presentar también en líneas de gran longitud y expuestas a una posible fuente de calor, como los cabezales de agua de enfriamiento.

Para este caso no hace falta calcular una masa a relevar, ya que un ligero desahogo de la presión la disminuye enormemente. La válvula de relevo que se utiliza se pide comúnmente de

capacidad nominal y aún así estará sobrada. En caso de requerirse el cálculo de una masa, se puede utilizar la fórmula siguiente:

$$Q = \beta H / (500 S C_p)$$

Q = Capacidad Requerida en gal/min.

H = Calor Suministrado en BTU/hr.

S = Densidad Relativa del Líquido.

C<sub>p</sub> = Capacidad Calorífica del Líquido en BTU/lb °F.

β = Coeficiente de Expansión Volumétrica.

Los valores que se dan a continuación son recomendados por un fabricante de válvulas de seguridad:

Para agua :	β = 0.0001 °F <sup>-1</sup>
Para hidrocarburos ligeros:	β = 0.001 °F <sup>-1</sup>
Para gasolina:	β = 0.0008 °F <sup>-1</sup>
Para destilados:	β = 0.0005 °F <sup>-1</sup>
Para residuos:	β = 0.0004 °F <sup>-1</sup>

## FALLA DE CORRIENTE ELÉCTRICA. <sup>1</sup>

En muchas plantas, ciertos equipos y controles son operados por corriente eléctrica, y si ésta falla, dichos controles quedarán inutilizados.

En el caso de controles, la masa a relevar se determina por medio de un análisis semejante al que se efectúa en el caso de falla de control.

En el caso de equipos, la masa depende del tipo del mismo que queda inutilizado. Por ejemplo, en muchas plantas se utilizan aroenfriadores para condensar vapores, y los ventiladores de este tipo de cambiadores de calor son operados por motores eléctricos. Cuando falla la energía eléctrica, falla el ventilador y se suspende la condensación, y sobreviene el aumento de presión. Pero este caso es similar a la falla de agua de enfriamiento ya mencionada y en consecuencia la masa se estima de la misma manera. Cuando se trata de una bomba cuyo accionador es un motor eléctrico, y si la bomba de relevo también es accionada por motor; el servicio se verá totalmente suspendido. Esto trae como consecuencia el relacionar esta falla con alguna de las otras mencionadas.

## FALLA DE AIRE DE INSTRUMENTOS. <sup>1</sup>

En este caso se trata básicamente de válvulas de control operadas neumáticamente, las cuales quedarán inutilizadas a falla del aire de instrumentos. En este caso en particular, la posición del dispositivo de relevo influye en la masa a relevar y consecuentemente, en el tamaño y el costo del mismo.

## **SIMULTANEIDAD DE FALLAS.**

La práctica común de todos los diseñadores es la de considerar la no existencia de dos fallas simultáneas, ya que en la práctica es realmente difícil que suceda. Cuando se da el remoto caso de dos fallas simultáneas, siempre se encuentra que una de ellas ha sido consecuencia de la otra, por ejemplo, cuando el agua de enfriamiento es suministrada por bombas operadas por motor eléctrico, la falla de energía eléctrica trae como consecuencia la falla de agua de enfriamiento. Sin embargo, cuando la falla subsecuente tiene lugar después de un lapso de tiempo que permita la acción correctiva de los operadores, solo debe considerarse la falla primaria. En el caso de que definitivamente si haya posibilidad de dos causas simultáneas, el dispositivo de relevo se ha de diseñar para la causa que requiera mayor masa relevada.

### **II.3 SOFTWARE COMERCIAL.**

Como es bien sabido, en la actualidad se ha generado una verdadera guerra para desarrollar software que cubra con las necesidades que demanda el usuario en sus diferentes áreas de especialización, lo cual ha llevado, indudablemente, a abatir los costos de venta y ofrecer programas mucho más completos, sin embargo en la mayoría de las ocasiones las aplicaciones se desarrollan de una manera muy general y no se ajustan íntegramente a las necesidades del usuario.

Para el caso particular que nos ocupa, es decir, el software comercial que ha sido desarrollado para la simulación de sistemas de desfogue tenemos básicamente dos, denominados "INPLANT" y "VISUALFLARE", los cuales han sido desarrollados por la compañía SIMULATION SCIENCES Inc. (SIMSCI), quienes tienen sus oficinas en la ciudad de Brea, California, U.S.A.

A continuación se mencionarán algunas de las características principales de los programas citados anteriormente.

- **INPLANT**

Es un simulador poderoso para la investigación de tuberías de plantas de proceso y servicios auxiliares, en flujo estacionario y flujo de fluidos multifase. Este simulador ayuda a diseñar sistemas nuevos, monitorear sistemas en operación actualmente y, prevenir o solucionar problemas que se tengan en sistemas de tubería. El INPLANT combina los estándares de la industria en cuanto a la tecnología de la simulación de flujo de fluidos multifásicos con un banco de datos de propiedades físicas y los métodos termodinámicos disponibles hasta el momento.

El INPLANT simula rigurosamente la mayoría de los sistemas más complejos que se puedan tener en la industria. Con este simulador se pueden examinar y monitorear sistemas de tubería simples, sistemas de desfogue y/o relevo, “redes” de tubería, cabezales de desfogue y tubería de servicios auxiliares. Se pueden diseñar sistemas nuevos con un máximo de eficiencia y actualizar sistemas existentes para nuevos requerimientos. Cualquier caso que requiera un análisis, dentro de la industria del petróleo, petroquímica o industrias químicas se podrá reproducir con este simulador.

El *modus operandi* del INPLANT se puede resumir básicamente en 5 puntos, que son:

1. Dispositivos de flujo: tuberías, accesorios y equipo.
2. Banco de datos de Propiedades PVT:
  - Composicional: datos de los componentes, datos termodinámicos y propiedades de transporte.
  - No-composicional: vapor, gas, una sola fase gas, una sola fase líquido y agua.
3. Métodos de caída de presión: flujos multifásicos, modelos de accesorios y fluidos en fase simple.
4. Modelos de cálculo: sistemas simples, “redes”, depresurización de recipientes, distribución preferencial.
5. Conveniencia de manejo para el usuario: versión PC Windows, soporte técnico, amplia documentación.

Por lo que se refiere particularmente a los sistemas de desfogue, sabemos que éstos son diseñados para proteger el equipo de proceso de una eventual sobrepresión y disponer de una manera segura los fluidos que pasan a través de las válvulas de seguridad. Para una situación como esta el INPLANT calculará las contrapresiones de cada una de las válvulas involucradas, teniendo la opción de calcular los diámetros mínimos para ajustarse a la máxima contrapresión permitida de todas las válvulas de relevo. Si se suministran los coeficientes de descarga, se podrán calcular las áreas nominales de cada válvula, y se recomendará un determinado tipo de válvula.

El costo anual por el uso de cada licencia del INPLANT, para ser usado por el Instituto Mexicano del Petróleo, es de \$15,000.00 U.S. dlls. (quince mil dólares americanos).

- VISUAL FLARE

Es un simulador que considera el “estado del arte” en relación a la simulación de sistemas de relevo de refinerías, plantas químicas y plantas de generación de fuerza, adicionalmente también presenta las ventajas de dimensionar los cabezales, así como las válvulas de seguridad, considerando los conocimientos necesarios de termodinámica y flujo de fluidos multifásicos.

Mientras que se ha prestado mucha atención al desarrollo de software para documentar y administrar los sistemas de seguridad, se ha hecho muy poco en relación a ayudar al diseñador de los sistemas de desfogue a desarrollar su actividad de una manera más eficiente, en aquellos diseños nuevos y/o analizar los sistemas existentes. Es importante considerar que en la actualidad los ingenieros no disponen del tiempo suficiente para estudiar programas complejos que tradicionalmente se manejarían en sistemas de mainframes o workstation.

Este programa tiene la versatilidad de trabajarse en un ambiente de "windows", de tal forma que pueda ser manejado de una forma fácil y rápida con respecto a otros programas que existen en el mercado, así mismo se tiene una estructura flexible de tal forma que puede tener la posibilidad de poder implementar de forma externa alguna ecuación específica, ya sea desde el punto de vista termodinámico o de flujo de fluidos, que no se encuentre considerada dentro del programa.

El Visual Flare fue desarrollado utilizando las técnicas de programación de C++ orientada a objetos, combinada con las mejores tecnologías disponibles en las áreas de termodinámica y flujo de fluidos en un ambiente de simulación donde el usuario simplemente construye el esquema, tomando y colocando los componentes en el mismo, también el usuario puede proporcionar información con mucho mayor detalle simplemente presionando sobre el componente e introduciendo los datos que se tengan disponibles.

Otras ventajas adicionales son:

1. La opción de manejar quemadores múltiples.
2. Redes de desfogue.
3. Isométricos de tubería de los cabezales de desfogue.
4. Generación automática de accesorios (codos, expansiones etc.)
5. Verificación de flujo crítico en todas las uniones.
6. Cálculos rigurosos de caída de presión, incluyendo cálculos de equilibrio de fases.
7. Exportación de datos a Excel y Lotus.
8. Número ilimitado de componentes, incluyendo: tanques, válvulas de relevo, tubería, etc.
9. Definición predeterminada de las cargas de relevo.

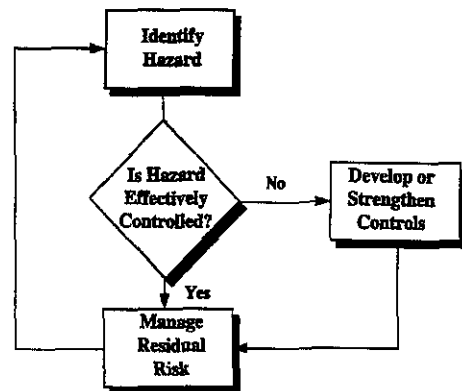
El costo anual por el uso de cada licencia del VISUAL FLARE, para ser usado por el Instituto Mexicano del Petróleo, es de \$12,000.00 U.S. dls. (doce mil dólares americanos).

Dentro de este capítulo se desarrolló el marco teórico de Flujo de Fluidos, Válvulas de Seguridad y Desfogue, con la finalidad de poder establecer y definir las ecuaciones que se emplearán en el desarrollo del Simulador de Desfogue, así como para el cálculo de las Válvulas de Seguridad, los cuales se desarrollarán en el siguiente capítulo.

Finalmente, se hace referencia al software comercial que se tiene disponible en el mercado, indicando cuáles son sus características principales y su costo.

## CAPITULO III

# *Desarrollo y Operación del Simulador*

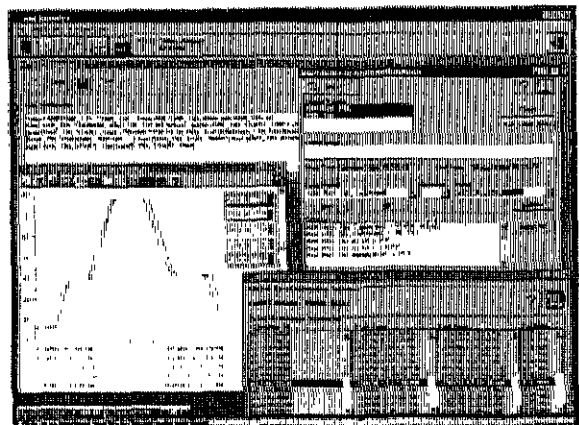


```
Private Sub List1_Db1Click ()  
    Command1.Value = True  
    ' Desencadena el evento
```

```
Click.  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click ()  
    Text1.Text = List1.Text  
    ' Presenta la selección.
```

```
End Sub
```



### III.1 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURADO

La concepción principal para desarrollar el simulador de Sistemas de Desfogue y Válvulas de Seguridad, está basada en el hecho de poder efectuar la aplicación de los conocimientos de programación, estructura de datos, preanálisis y análisis de sistemas, adquiridos en el transcurso de la carrera, aplicándolos a un requerimiento práctico de la industria química, en este caso en particular.

Se puede considerar que la parte medular de este trabajo es precisamente la que se desarrolla en el presente capítulo, ya que aquí se efectúan las fases para la construcción de un sistema, las cuales son las siguientes:

- 0) *Entender* el problema (preanálisis).
- 1) Hacer el *análisis* del mismo (a veces a este paso se le denomina análisis del sistema).
- 2) *Programar* el modelo de solución propuesto.
- 3) *Codificarlo*.
- 4) Cargarlo a la computadora para su *ejecución y ajuste*.
- 5) Darle *mantenimiento* durante su tiempo de vida.

El paso cero parece banal, pero deja de parecerlo cuando se piensa en la gran cantidad de proyectos de computación que se desarrollan (y a veces se terminan) sin haber comprendido bien para qué eran, o cuál era el problema que supuestamente iban a resolver. Y si, además, se toman en cuenta que los sistemas de programación reales, a diferencia de los ejercicios de carácter didáctico o académico, muchas veces son largos y complejos, e implican la participación de varias personas (a veces decenas o cientos) durante largos periodos, se podrá comprender la importancia de entender con claridad el problema antes de abocar recursos a su solución. El mundo está demasiado poblado de proyectos o sistemas (no solo de computación) que, o no resuelven el problema para el que fueron diseñados, o bien lo hacen pero de una manera sólo aproximada y deficiente.

No existe un criterio único e infalible para entender con claridad un problema, por eso se recomienda mesura y claridad en el momento de enfrentarse a uno por primera vez. Al final, de lo que se trata es de crear y mantener una idea clara, un “mapa mental” del problema propuesto, y de ser capaz de abarcarlo con un solo vistazo. Esto obliga a hacer caso omiso de detalles y particularidades operativas en una primera instancia.

#### **ANÁLISIS DE SISTEMAS** <sup>17,18</sup>

La fase I es muy importante, consiste en efectuar un análisis completo del problema o sistema existente, con la finalidad de proponer un modelo para su solución.

Está claro que este modelo no puede existir sin que se haya especificado con claridad todos y cada uno de los componentes estructurales del sistema.

Se debe entender por sistema a un conjunto estructurado de elementos interrelacionados de alguna manera que pueda hacerse explícita. Esta definición insiste en los aspectos estructurales porque son la clave para entender y analizar un problema no trivial.

La estructura de un sistema es la forma en que están relacionados entre sí sus diversos componentes, de modo que es perfectamente posible tener dos sistemas diferentes con componentes iguales. La diferencia estará en la forma de hacer corresponder unos con otros.

Se debe efectuar el análisis del sistema (o problema) que es candidato a ser “computarizado”; para esto se dispone de varios enfoques cualitativos, cuya finalidad consiste en proponer el lugar y la función de los componentes aislables del sistema.

La función del analista de sistemas consiste en describir el modelo que mejor se adapte a la estructura del problema que se estudia. Un enfoque funcional puede ser adecuado en muchos casos (es decir hacer el análisis partiendo de la función que cada componente desempeña en el sistema como un todo). El análisis de sistemas en computación es una actividad compleja y altamente dependiente de consideraciones humanas; por tanto no ha sido aún comprendida en su totalidad dentro de un esquema matemático.

El resultado final de un análisis puede consistir en diagramas que muestren el flujo de la información; esto es equivalente a un mapa que muestra los diferentes caminos que la información toma dentro del conjunto, junto con una jerarquización de las diversas funciones que el sistema desempeña.

## **PROGRAMACIÓN**<sup>17,18</sup>

Una vez hecho el análisis de un sistema se procede a convertirlo en un programa de computadora. Este está formado, estructuralmente, por dos tipos de componentes: estructura de control y estructuras de datos.

Las *estructuras de control*, son las formas que existen para dirigir el flujo de las acciones que el procesador efectuará sobre los datos que se manejan en un programa, mismos que están organizados de maneras diversas que son, precisamente, las *estructuras de datos*.

Las estructuras de control básicas son la secuenciación, la selección y la iteración condicional, mientras que las estructuras de datos más comunes son los arreglos (o vectores), listas, cadenas, pilas y árboles.

Como *componentes no estructurales* de un programa se puede mencionar, en orden creciente de complejidad, los enunciados, instrucciones, funciones, subrutinas (o procedimientos) y módulos. Llamar no estructurales a los anteriores elementos significa que su aparición dentro de un programa obedece a razones guiadas por los componentes que sí lo son: las estructuras de datos y de control. O lo que es igual, lo primero que hay que definir al construir un programa son precisamente sus elementos estructurales, aquellos sin los cuales el programa no es tal.



## **CODIFICACIÓN**<sup>17,18</sup>

Una vez terminada la fase de programación se habrá producido una descripción del modelo propuesto, escrita en pseudocódigo. La razón de ser de ese paso es la de disponer de un programa que pueda ser probado mentalmente para averiguar si es correcto en principio, y para determinar en qué grado considera todo el análisis hecho anteriormente. El proceso mediante el cual se llega a un programa esencialmente correcto recibe el nombre de refinamientos progresivos. El objetivo de estos refinamientos consiste en acercar lo más posible el programa escrito en pseudocódigo a un programa escrito en algún lenguaje de programación en particular.

## **EJECUCIÓN Y AJUSTE**<sup>17,18</sup>

Cuando al fin se tiene el programa codificado y compilado llega el momento de ejecutarlo y probarlo “sobre la marcha”. Es decir, permitir que la computadora lo ejecute para evaluar los resultados.

Existen dos tipos de falla que es posible encontrar: los errores de sintaxis y errores de lógica de programación; los primeros son relativamente triviales, mientras que los segundos son los causantes de los frecuentes retrasos que sufren los proyectos de programación en todos los niveles de complejidad.

En efecto, un error de lógica apunta claramente a omisiones y errores en el modelado que se está tratando de hacer de la realidad. Esto casi siempre se debe a un deficiente análisis o a una programación en pseudocódigo incompleta y apresurada.

La concepción moderna de la prueba de un programa se ha desplazado de la etapa de ejecución a la etapa de la programación en pseudocódigo, con las siguientes ventajas en ahorro de recursos de cómputo utilizados y de tiempo dedicado al cansado ciclo de codificación-compilación-ejecución-corrección-codificación.

Esto no implica, por supuesto, que la metodología propuesta sea infalible o produzca resultados limpios en la primera prueba; significa que el camino que lleva a la concepción de un sistema hasta su ejecución por medio de una computadora sea más corto y con menos sobresaltos.

## **MANTENIMIENTO**<sup>17,18</sup>

Si se ha tomado el trabajo de planear cuidadosamente un sistema y transformarlo en un conjunto bien estructurado de programas y módulos, seguramente tendrá una vida útil prolongada.

Este simple hecho obliga a considerar un esquema de mantenimiento que asegure que el modelo ya sistematizado evolucione a un ritmo parecido al que lo haga la realidad que está siendo simulada. Tal vez llegue el momento en que ese proceso o aspecto de la realidad para el que se construyó el sistema haya cambiado cualitativamente, en cuyo caso se habla del término de vida útil del sistema.

Mientras tanto, sin embargo, hay que ser capaces de hacer alteraciones no estructurales al sistema en costo mínimo en recursos de análisis y programación, lo cual de alguna manera está asegurado si el sistema se ha construido de una manera modular y estructurada, y si se dispone de la documentación adecuada que lo describa tanto en su diseño como en su uso.

La realización del diseño estructurado se basa en la aplicación de los siguientes conceptos:

- Ir de lo general a lo particular, descendiendo en la estructura del programa y en su nivel de detalle.
- De la definición inicial del problema se pasa a un esquema de algoritmo descrito en pseudocódigo.
- Independencia inicial del lenguaje.
- Diseño por niveles, dejando los detalles para niveles posteriores. Verificar en cada nivel el esquema correcto.
- Finalizar con un trabajo de recomposición del algoritmo completo.

Por otro lado, se establece la forma en que se efectúa las pruebas del sistema, tanto de módulos como de integración.

Finalmente, se establece el contexto mediante el cual queda establecida la simulación integral del sistema y bajo que criterios técnicos (limitaciones, valores de protección, tipo de proceso termodinámico considerado etc.) fue que quedó definido el simulador.

## PREANÁLISIS

### I. Cuántas partes habrá en el sistema.

- ◆ Simulación
- ◆ Memorias de cálculo (conjunto de simulaciones)
- ◆ Cálculo de contrapresión
- ◆ Dimensionamiento
- ◆ Establecimiento de la secuencia de cálculo
- ◆ Archivo fallas psv
- ◆ Archivo configuración (geometría del sistema)
- ◆ Datos usuario

### II. Qué hace cada una de estas partes.

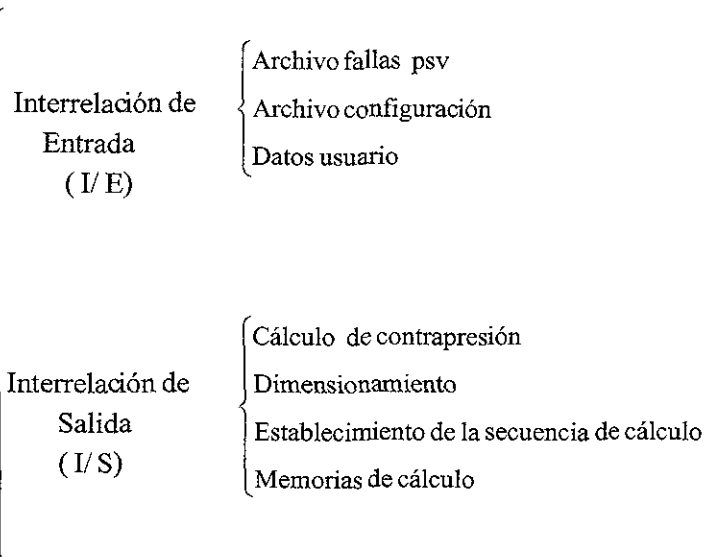
- ◆ Simulación.- Registro de los resultados finales de la simulación; elemento primordial del sistema.
- ◆ Memorias de cálculo.- Registro de todas las simulaciones realizadas por cada usuario.
- ◆ Cálculo de contrapresión.- Registro de la caída de presión que se genera, así como el factor de fricción y la longitud equivalente.
- ◆ Dimensionamiento.- Registra el seguimiento de la orden de cálculo.
- ◆ Establecimiento de secuencia de cálculo.- Registra la secuencia que seguirán los sistemas (tramos simples de tubería) y válvulas (tramos unidos directamente a una válvula), dependiendo del tipo de falla que se presente en la configuración del sistema.
- ◆ Archivo maestro datos.- Registro de los datos necesarios para efectuar la simulación.
- ◆ Archivo fallas psv.- Registro de las propiedades de las válvulas de seguridad.
- ◆ Archivo configuración.- Registro de la información referente a todos los elementos y consideraciones que forman el sistema.
- ◆ Datos usuario.- Registro de la información referente al usuario.

### III.- Cómo están organizadas estas partes.

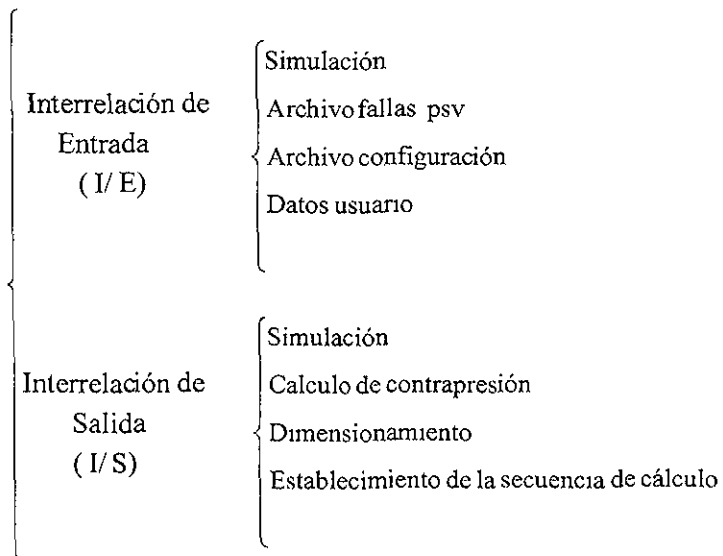
- ◆ Simulación.- Formato de los resultados finales.
- ◆ Memorias de cálculo.- Conformado por el conjunto de formatos de los resultados finales de cada simulación.
- ◆ Cálculo de contrapresión.- Conformado por los cálculos del flujo compresible isotérmico para la caída de presión, así como la región de flujo turbulento y laminar.
- ◆ Dimensionamiento.- Es el seguimiento de la secuencia de cálculo mediante la comparación de la máxima contrapresión permitida, cuando se trata de una válvula o la mínima si es un sistema.
- ◆ Establecimiento de la secuencia de cálculo.- Conformado por los datos de la geometría del sistema de desfogue y las propiedades de las válvulas en cada tipo de falla.
- ◆ Archivo fallas psv.- Conformado por las propiedades de cada válvula para cada tipo de falla.
- ◆ Archivo configuración.- Es la información referente a cada válvula y sistema en la geometría del sistema de desfogue.
- ◆ Datos usuario.- Conformado por la información referente al usuario.

**IV.- Qué relación existe entre las partes.**

**SIMULACIÓN**



**MEMORIAS  
DE  
CÁLCULO**



### CÁLCULO DE CONTRAPRESIÓN

Interrelación de  
Entrada  
(I/E)

- Datos usuario
- Archivo fallas psv
- Archivo configuración
- Establecimiento de la secuencia de cálculo
- Dimensionamiento

Interrelación de  
Salida  
(I/S)

- Simulación
- Dimensionamiento
- Establecimiento de la secuencia de cálculo

### DIMENSIONAMIENTO

Interrelación de  
Entrada  
(I/E)

- Datos usuario
- Archivo Configuración
- Archivo fallas psv
- Establecimiento de la secuencia de cálculo

Interrelación de  
Salida  
(I/S)

- Simulación
- Establecimiento de la secuencia de cálculo
- Cálculo contrapresión

**ESTABLECIMIENTO  
DE LA SECUENCIA  
DE CÁLCULO**

Interrelación de  
Entrada  
(I/E)

{ Datos usuario  
{ Archivo configuración  
{ Archivo fallas psv

Interrelación de  
Salida  
(I/S)

{ Cálculo contrapresión

**ARCHIVO FALLAS  
PSV**

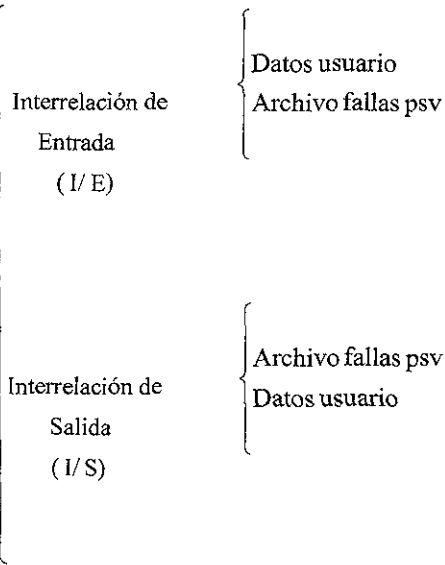
Interrelación de  
Entrada  
(I/E)

{ Generalidades  
{ Dat - gral  
{ Causas

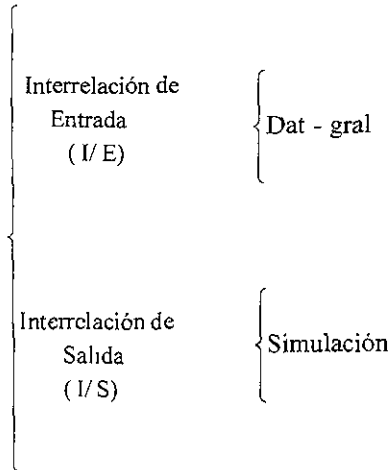
Interrelación de  
Salida  
(I/S)

{ Archivo fallas psv

**ARCHIVO  
CONFIGURACIÓN**



**DATOS  
USUARIO**

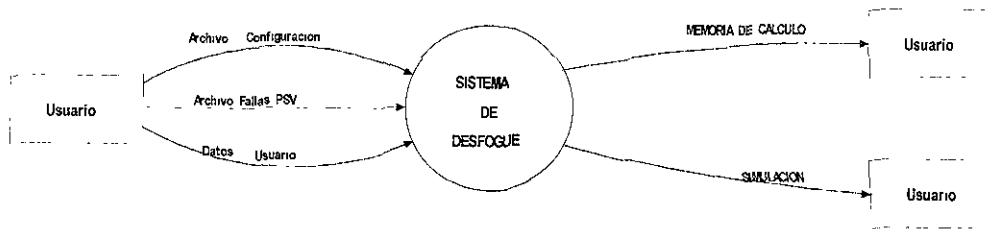




## ANÁLISIS ESTRUCTURADO

- DIAGRAMA DE CONTEXTO.**

Es el análisis universal del problema en el que se establecen qué entradas tiene el sistema y qué salidas tiene su universo.



- DIAGRAMA DE CONECTIVIDAD.**

Es un preanálisis de lo que existe en el universo, en este caso el de simulación.

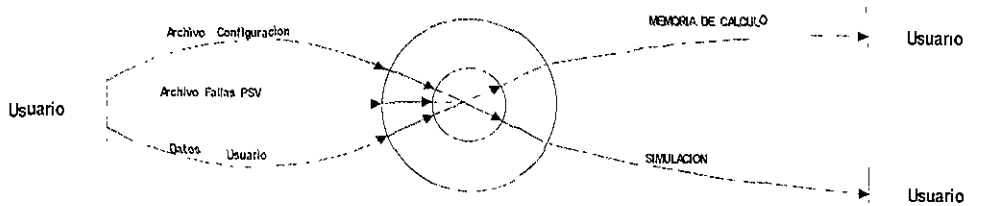
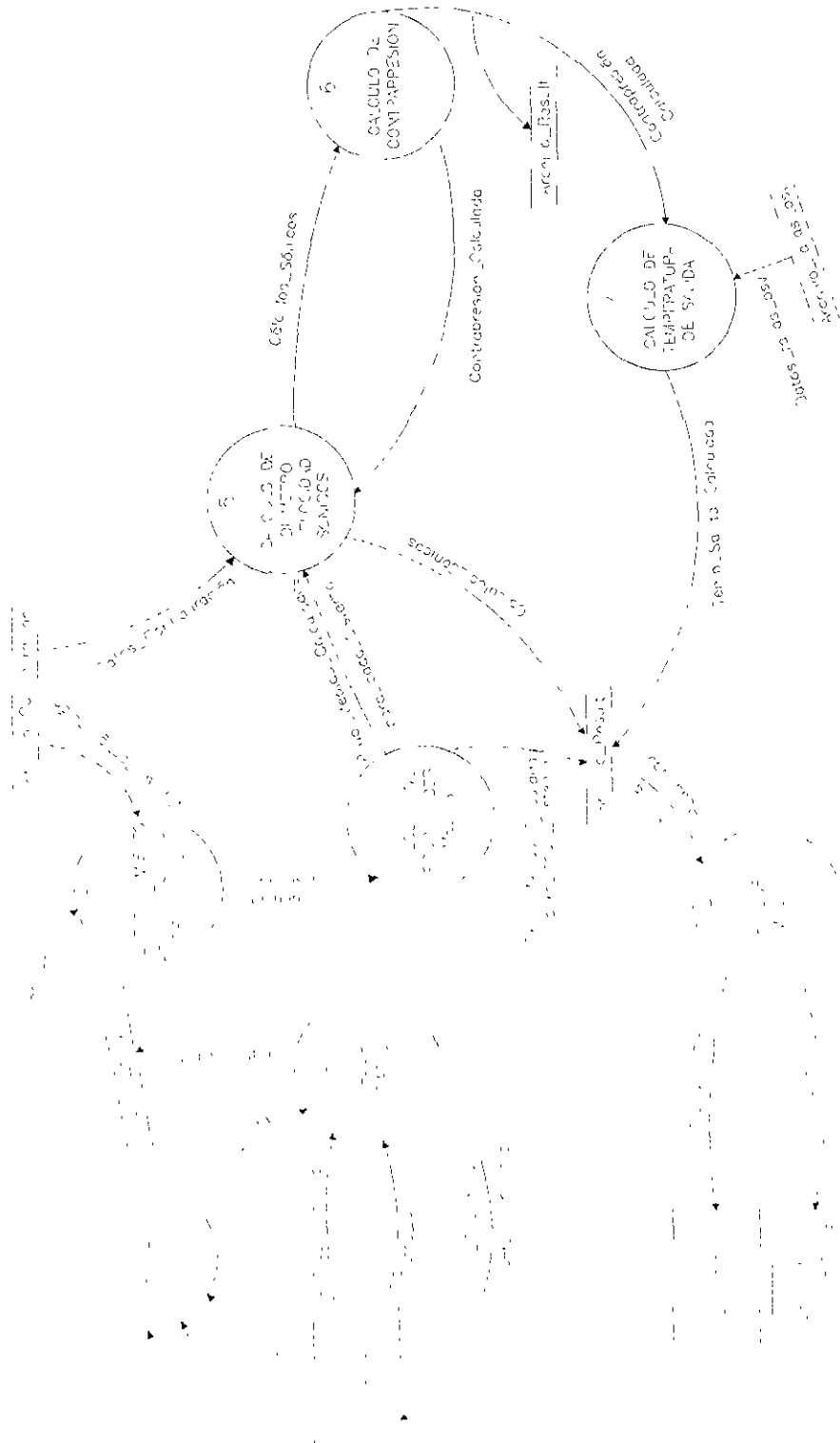


DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS ( DFD )



• **DICCIONARIO DE DATOS.**

Notación:

- = se compone de
- + junto con
- [ ] seleccionar uno de
- { } alteraciones de
- () opcional

$$\text{Causas} = \left[ \begin{array}{l} 1 \text{ Fuego} \\ 2 \text{ Descarga Bloqueada} \\ 3 \text{ Agua de Enfriamiento} \\ 4 \text{ Ruptura de Tubos} \\ 5 \text{ Falla de Reflujo} \\ 6 \text{ Expansión Térmica} \\ 7 \text{ Corriente Eléctrica} \\ 8 \text{ Aire de Instrumentos} \\ 9 \text{ Otra Causa} \end{array} \right] + \text{Tipo de aislante} \left[ \begin{array}{l} 1 \text{ Rec. desnudo con sistema} \\ \text{de regadera} \\ 2 \text{ Rec. aislados } 4\text{BTU/hr pie}^2 \\ 3 \text{ Rec. aislados } 2\text{BTU/hr pie}^2 \\ 4 \text{ Rec. aislados } 1\text{BTU/hr pie}^2 \\ 5 \text{ Rec. sobre suelo cubiertos} \\ \text{con tierra} \end{array} \right]$$

**Cálculos\_Sónicos** = Diámetro sónico + velocidad sónica + velocidad calculada

**Contrapresión Calculada** = Densidad ( $\rho$ ) + factor de fricción ( $f$ ) + longitud ( $L$ ) + velocidad ( $v$ ) + diámetro ( $D$ ) + aceleración de la gravedad ( $g$ ) + factor de corrección.

**Datos configuración** = Número del sistema +  $\left[ \begin{array}{l} 1 \text{ sistema} \\ 2 \text{ válvula} \end{array} \right]$  + sistema al que descarga + variable de control + longitud del sistema + (diámetro comercial del sistema) + número de accesorios + número de identificación +  $\left[ \begin{array}{l} 1 \text{ Codo } 90^\circ \text{ radio corto } 4T \\ 2 \text{ Codo } 45^\circ \\ 3 \text{ T flujo lineal} \end{array} \right]$

- Datos fallas psv** = Número del sistema + gasto másico + temperatura de relevo + presión de relevo + diámetro + máxima presión permitida + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + viscosidad + coeficiente de Joule Thomson + factor de compresibilidad + peso molecular.
- Dat-gral** = nombre de la planta + localización + no-contrato + patm.
- Datos usuario** = número de contrato + idiam + iras + patm + pfijs + iopc + xdiam + toler.
- Datos rechazados por ser incorrectos** = datos usuario incorrectos + datos fallas psv incorrectos + datos configuración incorrectos.
- Datos\_de\_resultado** = { caída de presión + temperatura de salida + diámetro sónico + propiedades medias }
- Datos válidos** = indicador válido + datos configuración + datos fallas psv + datos usuario.
- Generalidades** = clave de la válvula + número de DTI + clave del equipo + temperatura de diseño + temperatura de operación + presión de operación + tipo de fluido.
- Memorias de cálculo** = {datos usuario + datos configuración + datos fallas psv + simulación}
- Propiedades medias calculadas** = Viscosidad + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + factor de compresibilidad + peso molecular.
- Secuencia\_Cálculo** = Datos configuración + datos fallas psv.
- Idim** = 
$$\left[ \begin{array}{l} 0 \text{ Cálculo de todos los diámetros} \\ 1 \text{ Cálculo de los diámetros que tengan como valor 0} \\ 2 \text{ Cálculo solamente de contrapresiones} \end{array} \right]$$
- Iras** = Variable de control 
$$\left[ \begin{array}{l} 0 \text{ Sin datos extras} \\ 1 \text{ Con datos extras} \end{array} \right]$$
- Patm** = presión atmosférica.

**Pfija** = presión fija.

**Iopc** = Variable de control  $\begin{bmatrix} 1 \text{ cálculo isoentrópico} \\ 2 \text{ cálculo isoentálpico} \end{bmatrix}$

**Temp\_Salida\_Calculada** =  $\begin{bmatrix} \text{temperatura isoentrópicamente} \\ \text{temperatura isoentálpicamente} \end{bmatrix}$

**Toler** = valor de protección.

**Simulación** = Datos\_de\_resultado + contrapresión calculada + propiedades medias calculadas + temperatura de salida calculada.

**Xdiam** = valor de protección del diámetro.

- **MINIESPECIFICACIONES.**

**Proceso 1** Fallas psv

Contenido: Por cada falla psv:

Se establece el área de transferencia, calor transferido, gasto másico, coeficiente adiabático, factor de corrección de la capacidad debida a la contrapresión, coeficiente de descarga, área del orificio calculado, los cuales serán validados.

**Proceso 2** Valida datos

Contenido: Por cada dato:

Verificar que sea correcto, de ser así se archiva en el archivo\_fallas\_psv, de otra forma se va a datos rechazados por ser incorrectos.

**Proceso 3** Establecimiento de la secuencia de cálculo

Contenido: Por cada secuencia de cálculo:

Se establece la misma para cada tipo de falla existente en la información de los datos fallas psv.

**Proceso 4** Cálculo de propiedades medias

Contenido: Por cada cálculo de las propiedades medias:

Se considera el flujo isotérmico en todo el sistema y los datos del número de sistema, válvula o sistema, gasto, temperatura de relevo, presión de relevo, diámetro del orificio, presión máxima permitida, capacidad calorífica (CP), coeficiente de Joule Thomson, coeficiente adiabático o isoentrópico (K), viscosidad, factor de compresibilidad (Z), peso molecular (PM), los cuales son procesados y son archivados así como gasto (W), peso molecular (PM), densidad ( $\rho$ ), viscosidad (cp) en el archivo result.

**Proceso 5** Cálculo de diámetro, velocidad sónicos

Contenido: Por cada cálculo del diámetro, velocidad sónico:

Se considera el gasto, la temperatura, el coeficiente adiabático, la presión; y el diámetro interno que se asignó en la configuración del sistema, los cuales son procesados y almacenados en el archivo result.

**Proceso 6** Cálculo de la contrapresión

Contenido: Por cada cálculo de la contrapresión:

Se establece la caída de presión y el factor de fricción, interactuando con el cálculo de temperatura de salida, propiedades medias y diámetro sónico mediante la orden de la secuencia de cálculo, archivándolo en result.

**Proceso 7** Cálculo de temperatura de salida

Contenido: Por cada temperatura de salida:

Si la expansión es isoentrópica, el coeficiente isoentrópico será igual al coeficiente adiabático; de otra manera se tomará como dato el coeficiente de Joule Thomson. Este resultado es almacenado en el archivo result.

**Proceso 8** Elabora simulación

Contenido: Por cada simulación:

Se genera las memorias de cálculo y el reporte de la misma.

**• DEFINICIÓN DE ARCHIVOS.**

Nombre del archivo: **Datos de Configuración del Sistema de Desfogue**

Alias : Configuración

Composición : { datos configuración }  
Secuencial canalizado por número de sistema.

Organización:

Nombre del archivo: **Resultados**

Alias : Result

Composición : { contrapresión mínima + temperatura de salida + propiedades medias +  
diámetro sónico + contrapresión }

Organización : Secuencial canalizado por número de contrato.

Nombre del archivo: **Válvulas de Seguridad**

Alias : PSV

Composición : { Datos\_fallas\_psv }

Organización : Secuencial canalizado por número de sistema.

• ESTRUCTURA LÓGICA DE LOS ARCHIVOS.

Es la declaración completa de los datos contenida por los archivos que existen en el "sistema de desfogue".

**CONFIGURACIÓN** { datos configuración

Datos configuración = número del sistema +  $\left[ \begin{array}{l} 1 \text{ sistema} \\ 2 \text{ válvula} \end{array} \right]$  + sistema al que descarga + variable de control + longitud del sistema + (diámetro del sistema comercial + número de accesorios + número de identificación  $\left[ \begin{array}{l} 1 \text{ codo } 90^\circ \text{ corto } 4t \\ 2 \text{ codo } 45^\circ \\ 3 \text{ t flujo lineal} \end{array} \right]$

**FALLAS PSV** { datos\_fallas\_psv

Datos fallas psv = Número del sistema + gasto másico + temperatura de relevo + presión de relevo + diámetro + máxima presión permitida + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + viscosidad + coeficiente de Joule Thomson + factor de compresibilidad + peso molecular.



**RESULTADO** { contrapresión mínima + temperatura de salida  
+ propiedades medias + diámetro sónico +  
contrapresión

Contrapresión mínima = Densidad ( $\rho$ ) + factor de fricción ( $f$ ) + longitud ( $L$ ) + velocidad ( $v$ ) + diámetro ( $D$ ) + aceleración de la gravedad ( $g$ ) + factor de corrección.

Propiedades medias = Viscosidad + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + factor de compresibilidad + peso molecular.

Temperatura de salida = Coeficiente isoentrópico + coeficiente isoentálpico.



CENSO DE ACCESOS FÍSICOS

Acceso	Proceso	Leer / Escribir	Propósito del flujo de datos
1	2	Escribir	Almacenar los datos de las fallas psv que son válidos.
2	3	Leer	Traer los datos fallas psvs para el establecimiento de la secuencia de cálculo.
3	3	Leer	Traer los datos de la configuración para el establecimiento de la secuencia de cálculo.
4	4	Escribir	Almacenar las propiedades medias para cada sistema en el archivo de resultados.
5	5	Leer	Traer los datos de configuración para el cálculo de diámetro, velocidad sónicos.
6	5	Escribir	Almacenar el cálculo del diámetro, velocidad sónicos, en el archivo de resultados.
7	6	Escribir	Almacenar el cálculo de contrapresión calculada en el archivo de resultados.
8	7	Leer	Traer los datos de las fallas psv elaborar el cálculo de la temperatura de salida.
9	7	Escribir	Almacenar la temperatura de salida calculada en el archivo de resultados.
10	8	Leer	Traer los datos de resultado para elaborar la simulación.

• CENSO DE LECTURAS LÓGICAS.

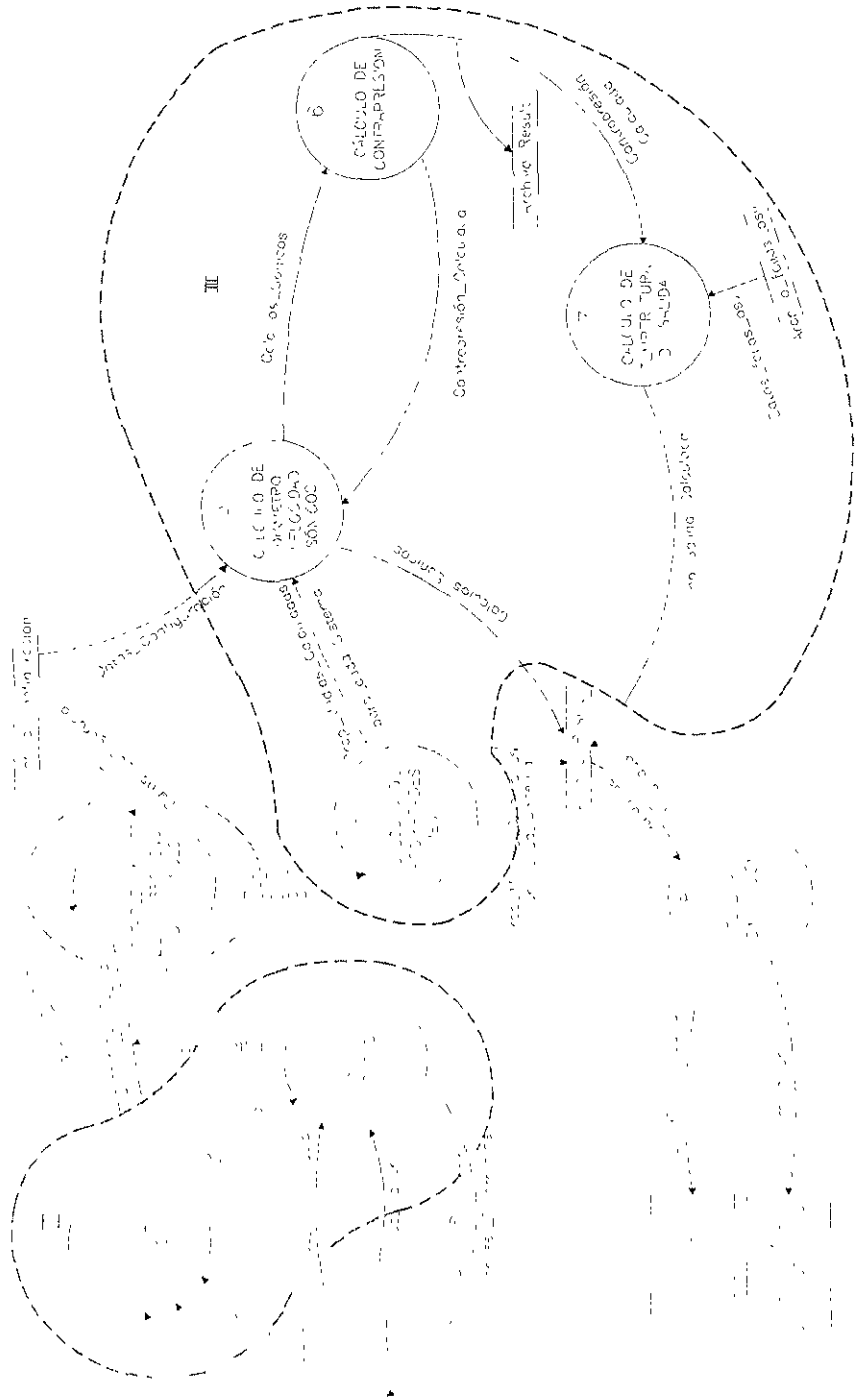
Acceso	Llave	Flujo de datos lógicos
2, 8	Datos_fallas_psv	Número del sistema + gasto másico + temperatura de relevo + presión de relevo + diámetro + máxima presión permitida + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + viscosidad + coeficiente de Joule Thomson + factor de compresibilidad + peso molecular.
3, 5	Datos_configuración	número del sistema + $\begin{bmatrix} 1 \text{ sistema} \\ 2 \text{ válvula} \end{bmatrix}$ + sistema al que descarga + variable de control + longitud del sistema + (diámetro del sistema comercial + número de accesorios + número de identificación $\begin{bmatrix} 1 \text{ codo } 90^\circ \text{ corto } 4t \\ 2 \text{ codo } 45^\circ \\ 3 \text{ t flujo lineal} \end{bmatrix}$ )
10	Datos de resultados	Contrapresión mínima + temperatura de salida + propiedades medias + diámetro sónico + contrapresión.

• CENSO DE ESCRITURAS LÓGICAS.

Acceso	Llave	Flujo de datos lógicos
1	Datos válidos	Datos configuración + datos fallas psv + datos usuario + indicador válido.
4	Propiedades medias	Viscosidad + capacidad calorífica + coeficiente adiabático + factor de compresibilidad + peso molecular.
6	Cálculos_Sónicos	valor numérico del diámetro, velocidad sónicos calculados.

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 7 | Contrapresión calculada para c/sistema | Densidad + factor de fricción + longitud del sistema + diámetro + aceleración de la gravedad +factor de corrección. |
| 9 | Temperatura de salida                  | Temperatura isoentrópicamente + temperatura isoentálpicamente.  |

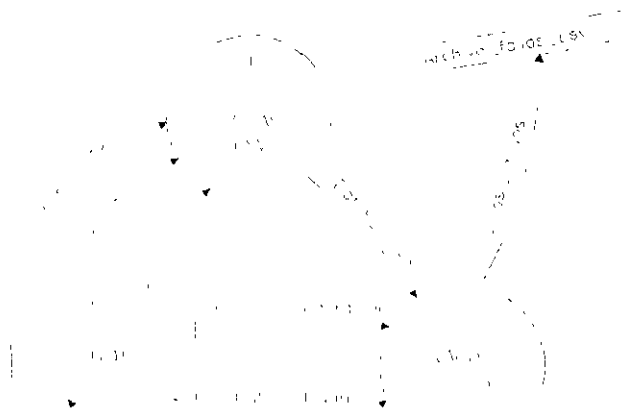
SISTEMA DE EMPAQUEAMIENTO



# SISTEMA DE EMPAQUETAMIENTO PARA LOGRAR EL DISEÑO ESTRUCTURADO.

## ANÁLISIS DE TRANSFORMACIÓN.

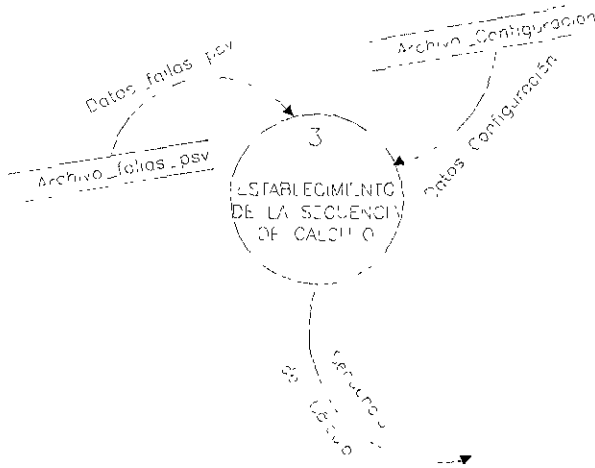
Paquete I.



ANÁLISIS DE TRANSFORMACIÓN  
PAQUETE I



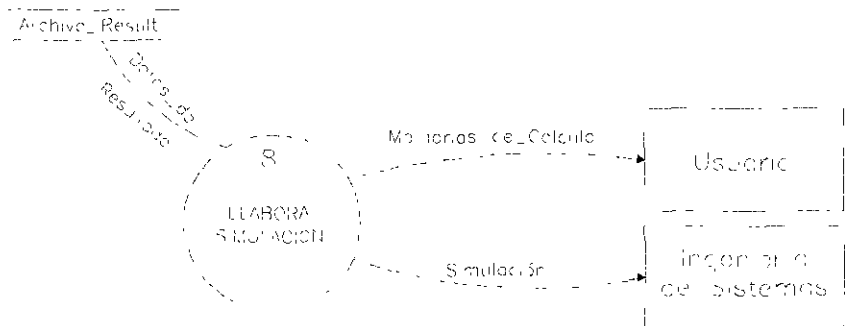
Paquete II.



Paquete III.

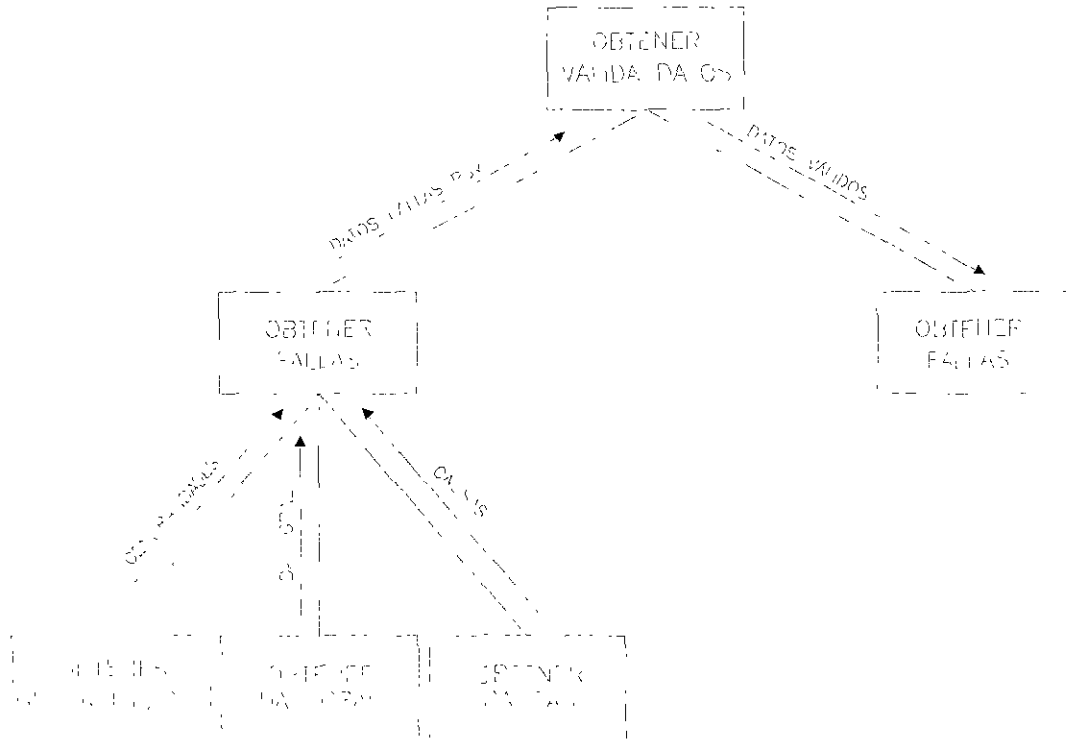






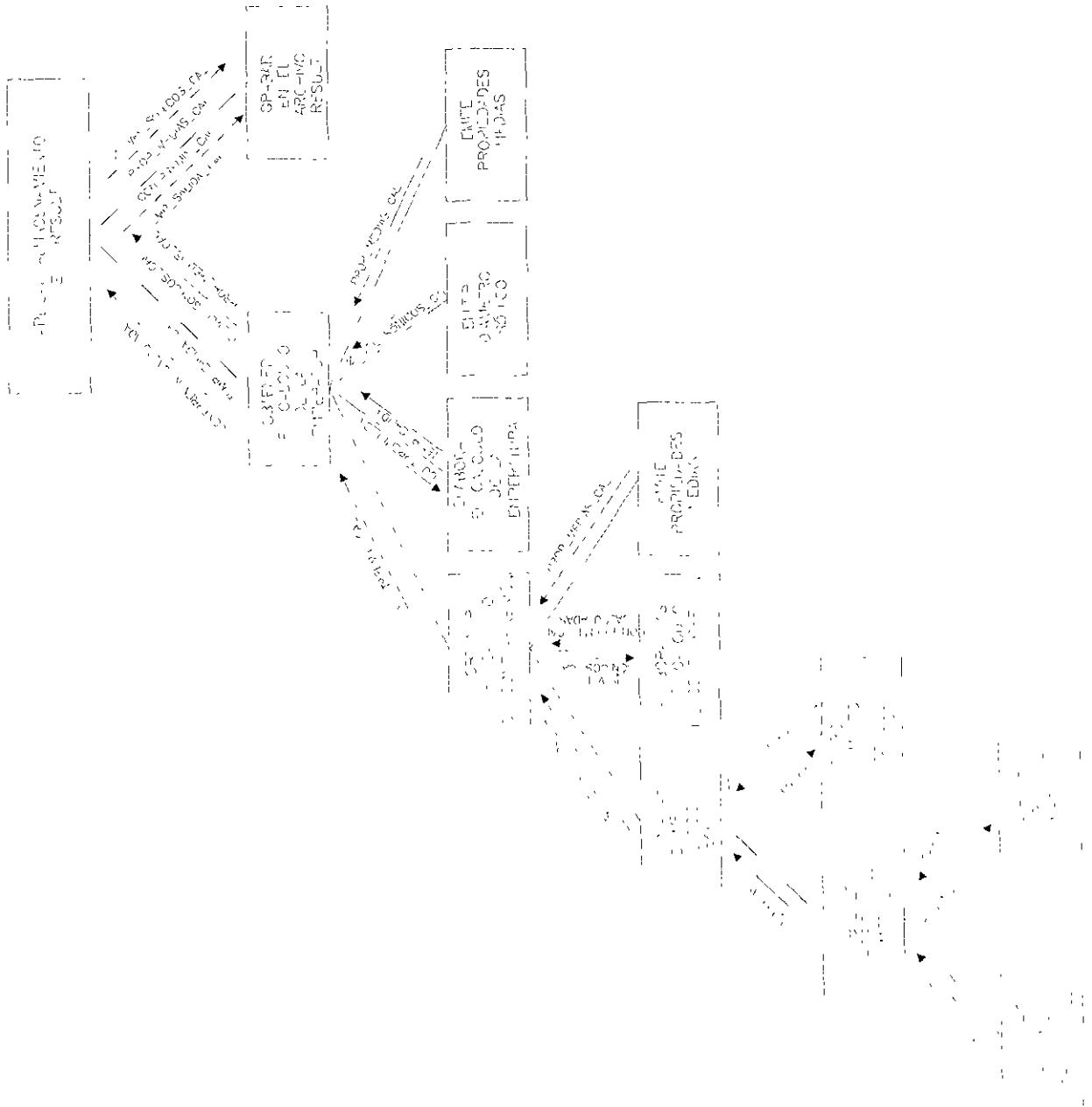
## DISEÑO DE LOS DIAGRAMAS DE ESTRUCTURA DE DATOS (D. E. D.)

### TRABAJO 1.

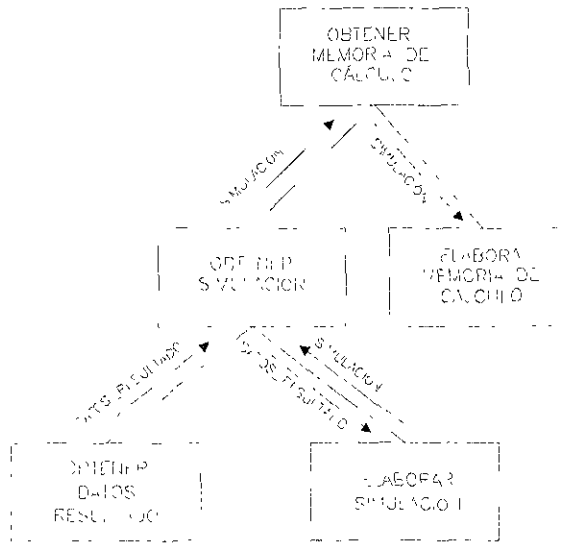


### TRABAJO 2.





TRABAJO 4.



## III.2 CODIFICACIÓN DEL SISTEMA

### III.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL LENGUAJE SELECCIONADO

Bill Gates describe a Visual Basic como la herramienta más potente y sencilla para el desarrollo de aplicaciones Windows en Basic. Esto no parece ser suficiente para justificar tanto revuelo, hasta que se cae en cuenta de que existen millones de personas que utilizan Microsoft Windows, y que anteriormente el desarrollo de una aplicación Windows requería de un experto en programación en C, que dispusiera de unos 10 kilos de documentación necesaria para el compilador de C correcto y sus complementos.

Han existido comentarios hacia el Visual Basic, algunos como los externados por Charles Petzold (autor de uno de los libros estándar de programación en C para Windows), dijo en el New York Times: “ Para todos aquellos que dedicamos nuestra vida a explicar a los programadores las dificultades de la programación en Windows, Visual Basic supone realmente una amenaza para nuestro trabajo”.

La palabra "Visual" hace referencia al método que se utiliza para crear la interfaz gráfica de usuario (GUI). En lugar de escribir numerosas líneas de código para describir la apariencia y la ubicación de los elementos de la interfaz, simplemente puede arrastrar y colocar objetos prefabricados en su lugar dentro de la pantalla.

La palabra "Basic" hace referencia al lenguaje BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), un lenguaje utilizado por más programadores que ningún otro lenguaje en la historia de la informática o computación. Visual Basic ha evolucionado a partir del lenguaje BASIC original y ahora contiene centenares de instrucciones, funciones y palabras clave, muchas de las cuales están directamente relacionadas con la interfaz gráfica de Windows. Los principiantes pueden crear aplicaciones útiles con sólo aprender unas pocas palabras clave, pero, al mismo tiempo, la eficacia del lenguaje permite a los profesionales alcanzar cualquier objetivo que pueda desarrollarse mediante cualquier otro lenguaje de programación de Windows.

La Edición para aplicaciones del sistema de programación de Visual Basic, incluida en Microsoft Excel, Microsoft Access y muchas otras aplicaciones Windows, utilizan el mismo lenguaje. El sistema de programación de Visual Basic, Scripting Edition (VBScript) para programar en Internet es un subconjunto del lenguaje Visual Basic.

Si dentro de los objetivos del desarrollo de un pequeño programa para uso personal o para grupo de trabajo, un sistema para una empresa o incluso aplicaciones distribuidas de alcance mundial a través de Internet, Visual Basic dispone de las herramientas que se requieran.

- Las características de acceso a datos le permiten crear bases de datos y aplicaciones cliente-servidor para los formatos de las bases de datos más conocidas, incluidos Microsoft SQL Server y otras bases de datos de ámbito empresarial.

- Las tecnologías ActiveX™ permiten utilizar la funcionalidad proporcionada por otras aplicaciones, como el procesador de textos Microsoft Word, la hoja de cálculo Microsoft Excel y otras aplicaciones Windows. Puede incluso automatizar las aplicaciones y los objetos creados con la Edición profesional o la Edición empresarial de Visual Basic.
- Las capacidades de Internet facilitan el acceso a documentos y aplicaciones a través de Internet desde su propia aplicación.
- La aplicación terminada es un auténtico archivo .exe que utiliza una biblioteca de vínculos dinámicos (DLL) de tiempo de ejecución que puede distribuir con toda libertad.

### **Ediciones de Visual Basic**

Visual Basic se encuentra disponible comercialmente en tres versiones, cada una de las cuales está orientada a unos requisitos de programación específicos.

- La Edición de aprendizaje de Visual Basic permite a los programadores crear robustas aplicaciones para Microsoft Windows 95 y Windows NT®. Incluye todos los controles intrínsecos, además de los controles de cuadrícula, de fichas y los controles enlazados a datos.
- La Edición profesional proporciona a los expertos un completo conjunto de herramientas para desarrollar soluciones para terceros. Incluye todas las características de la Edición de aprendizaje, así como controles ActiveX adicionales, incluyendo controles para Internet y el Generador de informes de Crystal Reports.
- La Edición empresarial permite a los profesionales crear sólidas aplicaciones distribuidas en un entorno de equipo. Incluye todas las características de la Edición profesional, así como el Administrador de automatización, la Galería de objetos, las herramientas de administración de bases de datos, el sistema de control de versiones orientado a proyectos Microsoft Visual SourceSafe™, etc.

Considerando las versiones comerciales que se han introducido al mercado, el Visual Basic 2.0 era más rápido, más potente e incluso más sencillo de utilizar que Visual Basic 1.0. El Visual Basic 3.0 incorporó una forma sencilla de tener acceso a las bases de datos más potentes, sin embargo el Visual Basic 4.0 incorporó soporte para el desarrollo en 32 bits e inició el proceso de transformar Visual Basic en un lenguaje de programación orientada a objetos. Finalmente, el Visual Basic 5.0 incorpora la posibilidad de crear auténticos programas ejecutables e incluso la posibilidad de crear sus propios controles. Siendo así, el más simple y potente de todos los Visual Basic.

Todas las aplicaciones utilizan información estructurada de un tipo u otro, ya sea información contable, datos científicos, información sobre empleados o una lista de recetas culinarias. El acceso a datos de Microsoft Visual Basic proporciona las herramientas necesarias para crear y utilizar sistemas estructurados de base de datos para administrar los datos de cualquier aplicación.

Entre esas herramientas están el motor de bases de datos de Microsoft Jet, el control **Data** y la interfaz de programación de Objetos de acceso a datos (DAO).

Mediante los objetos de acceso a datos se pueden crear bases de datos y aplicaciones de características avanzadas para tener acceso a las bases de datos existentes con los formatos más populares, incluidas Microsoft Access, Btrieve, dBase, Microsoft Foxpro y Paradox, así como base de datos ODBC (Open Database Connectivity, Conectividad abierta de bases de datos) de cliente-servidor como Microsoft SQL Server.

La posibilidad de crear sistemas estructurados de base de datos y tener acceso a ellos le ofrece grandes ventajas de programación:

- Permite escribir programas que utilizan base de datos existentes.
- Permite que la aplicación comparta datos con otros programas.
- Simplifica la programación, ya que no es necesario controlar la búsqueda y el acceso a archivos de bajo nivel.

El modelo DAO es una colección de clases de objetos que modelan la estructura de un sistema de base de datos relacional. Proporcionan las propiedades y los métodos que le permitirán llevar a cabo todas las operaciones necesarias para administrar un sistema de ese tipo, incluidas funciones para crear base de datos, definir tablas, campos e índices, establecer relaciones entre las tablas, desplazarse por la base de datos y crear consultas sobre ella, etc.

El motor de base de datos Jet convierte estas operaciones, definidas sobre objetos de acceso de datos, en operaciones físicas que se efectúan directamente sobre los propios archivos de la base de datos y que controlan todos los mecanismos de interfaz con las distintas bases de datos compatibles.

La programación de base de datos con Visual Basic consiste en la creación de objetos de acceso a datos, como los objetos **Database**, **TableDef**, **Field** e **Index**, que corresponden a las distintas partes de la base de datos a la que se desea tener acceso. Puede utilizar las propiedades y los métodos de estos objetos para realizar operaciones en las bases de datos. Mediante controles dependientes e independientes, puede mostrar en pantalla los resultados de estas operaciones y aceptar la entrada de datos por parte del usuario en formularios de Visual Basic.

Este método simplifica el código que debe escribir, al tiempo que le aísla de la estructura subyacente y de los mecanismos físicos de obtención y actualización de datos. Proporciona también una gran flexibilidad, ya que es posible utilizar los mismos objetos, propiedades y métodos para trabajar con una gran variedad de formatos de base de datos compatibles. Además, si cambia de un formato de base de datos a otro (por ejemplo, si pasa una base de datos local de Microsoft Access a una base de datos SQL Server en una red), solo tendrá que efectuar unos pocos cambios en el código para ajustar el cambio. Incluso puede crear aplicaciones que combinen tablas de dos o más bases de datos distintas en una única consulta o informe.

Visual Basic reconoce a través de DAO y del motor Jet las bases *nativas*, estos archivos de base de datos utilizan el mismo formato que Microsoft Access. El motor Jet crea y manipula directamente esta base de datos, que proporcionan la máxima flexibilidad y velocidad.

### III.2.2 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

El dibujo en ingeniería ha sido y sigue siendo, una parte integral de la industria; es la unión entre el diseño de ingeniería, construcción y la manufactura. La información para la manufactura se transfiere con rapidez en forma de dibujos preparados de acuerdo con las normas preescritas por el diseño.

#### HISTORIA DEL CAD

El dibujo asistido por computadora comercial se introdujo en el año de 1964 cuando la International Business Machine Corp. (IBM) lo hizo accesible al usuario, y Applicon Incorporated realizó en 1970 el primer sistema completo (turnkey). Sin embargo, sólo hace muy poco tiempo, esta nueva herramienta técnica ha hecho sentir su drástico impacto.

A finales de 1981, por ejemplo, se usaban menos de 5,000 sistemas en la industria de Estados Unidos. Aunque la aplicación del CAD en los inicios de la década de 1980 sucedía solo en las grandes compañías, ahora afecta con gran intensidad todas las facetas de la industria. La proyección de mercado del número de estaciones de trabajo que se sumarán cada año va de 12,000 en 1983 a más de 63,000 en 1988. Por tanto, la “revolución técnica” de esta tecnología “avanzada” continuará. El número exacto de estaciones de trabajo no es importante, sin embargo, la velocidad de crecimiento exponencial que el CAD ha experimentado desde 1980 sí lo es. En este período no se espera un estancamiento en la tendencia por una saturación de mercado de los sistemas CAD.

#### DEFINICIÓN DE CAD

Un dibujo de ingeniería puede prepararse con herramientas distintas a las convencionales. Tradicionalmente, los instrumentos de dibujos se utilizan para aplicar tinta o lápiz sobre papel o mylar. Ahora, la alternativa más popular es preparar un dibujo con ayuda de una computadora, método que se conoce como *dibujo asistido por computadora o diseño asistido por computadora*, cuyas abreviaturas del inglés son: CAD (Computer Aided Design). Este método está reemplazando con gran rapidez al dibujo manual. Se utilizan, también, muchos otros términos, como los siguientes.

- Dibujo con ayuda de computadora.
- Dibujo agrandado por computadora.
- Dibujo automatizado con computadora.

El AutoCad fue diseñado para propósitos de dibujo en general. Sin embargo, se ha descubierto que puede satisfacer otras necesidades- muchas compañías han desarrollado sus propios estándares, y cada dibujante o diseñador ha desarrollado un estilo único de trabajo. Esto es porque se ha utilizado una *arquitectura abierta* que permite extender muchas de las características de AutoCad a las necesidades particulares de cada uno.



Utilizando la arquitectura abierta de AutoCad, se puede:

- Mejorar la productividad por medio de la interfaz con AutoCad.
- Automatiza tareas repetitivas.
- Implementa y mantiene dibujos estandarizados.
- Hace al AutoCad fácil de aprender.
- Crea tipos de letra, tipos de línea y patrones de sombreado.
- Crea librerías de símbolos y partes.
- Crea presentaciones.
- Usa y manipula tipos PostScript en los dibujos.

Con AutoCad se puede ajustar y moldear cualquier dibujo de acuerdo a sus necesidades.

Se puede seleccionar un grupo de objetos de un dibujo para hacerlo como una sola entidad compuesta llamada *block* (bloques). Los bloques se pueden utilizar para desarrollar una librería de partes de dibujos para una aplicación en particular. Porque los bloques permiten dibujar un objeto y usarlo muchas veces, logrando de esta manera ahorrar tiempo. Estos también permiten mantener los dibujos estandarizados, además pueden ser automáticos y globalmente actualizados o redefinidos.

También se puede adicionar información de texto, llamada atributos, para cada bloque. Esta información se puede extraer de un dibujo y transferirla a un programa de base de datos o de volumen de obra.

Se pueden usar otros programas en forma conjunta con AutoCad. Por ejemplo, se puede utilizar un editor de texto o copiar un disco mientras se encuentra en una sesión editando Autocad. Se pueden desarrollar esas tareas sin abandonar AutoCad adicionando únicamente el comando externo apropiado a los parámetros del archivo del programa, *acad.pgp*.

AutoLISP, que es un lenguaje de programación especializado de LISP, es una parte integral de AutoCad. También se puede adaptar el uso de AutoCad a trabajos particulares usando como auxiliar el autoLISP para automatizar trabajos repetitivos y crear nuevos comandos de AutoCad.

La extensión de AutoCad SQL (ASE) es una Structure Query Language Interface entre AutoCad y muchos sistemas de base de datos relacional. Utilizando la interfaz con el usuario ASE, se pueden asociar (link), entidades gráficas de los dibujos de AutoCad con bases de datos externos. Paradox, dBASE III+, dBASE IV, ORACLE e INFORMIX. También se pueden utilizar otras bases de datos con sus respectivos “manejadores” (drivers).

El ASE, también contiene una interface en lenguaje “C”, ASI, que es una librería que permite crear las propias aplicaciones SQL que permiten la comunicación con sistemas de bases de datos externos en forma conjunta con AutoCad.

## EQUIPO INDISPENSABLE Y OPCIONAL PARA UTILIZAR AUTOCAD

- Procesador Intel 486, Pentium (recomendado) o superior.
- Pantalla VGA 640x480 (1024x768 recomendado).
- Unidad de CD ROM, sólo para la instalación inicial.
- Adaptador de pantalla aceptado por Windows.
- Mouse u otro dispositivo señalador.
- Sólo para versiones internacionales de un solo usuario y educativas protegidas: llave de protección y puerto paralelo IBM compatible.

Además, el siguiente equipo adicional es recomendable, pero no esencial:

- Impresora o trazador.
- Digitalizador.
- Puerto en serie o paralelo (para dispositivos periféricos).

### III.2.3 PROGRAMACIÓN <sup>17</sup>

Tras conocer las características que debe tener un programa, es necesario seguir una metodología encaminada al cumplimiento de esas características. La metodología de la programación, que es la técnica que permite que la programación sea lo más eficaz posible en cuanto a desarrollo y mantenimiento. Si la complejidad del problema aumenta, es necesario recurrir a técnicas que nos ayuden en la descripción de los organigramas y fundamentalmente de los algoritmos.

#### ***PROGRAMACIÓN CONVENCIONAL*** <sup>17</sup>

La realización de un programa sin seguir un método de programación riguroso, aunque funcione, a la larga no será más que un conjunto más o menos grande de instrucciones. La definición de las diferentes etapas adolecen en general de indefinición y de continuidad (desarrollo y mantenimiento). La consecuencia inmediata de lo expuesto se podría recoger en la siguiente relación de *problemas y defectos* que suelen tener los problemas escritos sin un determinado método.

- Los programas suelen ser excesivamente rígidos, presentando problemas para adaptarlos a las cada día más cambiantes configuraciones.
- Los programadores gastan la mayoría de su tiempo corrigiendo sus errores.
- Los programadores generalmente rehusan el uso de programas y módulos ya escritos y en funcionamiento, prefiriendo escribir los suyos. La comunicación entre programadores es muy difícil.
- Un proyecto de varios programadores tiene normalmente varios conjuntos diferentes de objetivos.

- Cada programador tiene sus propios programas convirtiéndose esta relación en algo inseparable.
- Las modificaciones en las aplicaciones y programas son muy difíciles de hacer, implican mucho tiempo y elevado costo de mantenimiento. Ello conduce a colocar “*parches*” que complican cada vez más el diseño inicial o bien a que el programa caiga en desuso y frente al elevado costo de actualización se opte por crear una nueva aplicación que sustituya a la existente.
- Deficiencias en la documentación:
  - Descripciones incompletas o escasas.
  - Ausencia de diagramas.
  - No actualizada

En esencia, los problemas anteriores y otros no citados imposibilitan la evolución y mantenimiento de los programas. Por consiguiente, es de suma importancia prever las futuras modificaciones, con el objeto de mantener los programas correctamente y puestos al día. Estas previsiones se pueden resumir en:

- Aumento del volumen de datos y estructuras.
- Cambios en la organización de la información.
- Cambios debido a la modernización de los documentos y los formatos.
- Sustitución, ampliación o reducción en el sistema de proceso de datos, etc.

Así pues, se deben prever las posibles modificaciones mediante la creación de programas con la suficiente flexibilidad para que puedan adaptarse a los cambios. Deben crearse programas claros, inteligibles y breves con el objetivo de que puedan ser entendidos y fácilmente modificables.

En resumen, se deben establecer una serie de normas que permitan el paso de una programación artesanal a una programación que permita conseguir una estandarización y en consecuencia una disminución de los costos informáticos, mayor independencia del programador.

A la hora de diseñar un programa, éste debe reunir unas características fundamentales:

- *Correcto / fiel*: producir los resultados requeridos
- *Legible*: debe ser entendido por cualquier programador, con el objeto de que permita fáciles modificaciones;
- *Modificable*: el diseño nunca debe ser definitivo y por ello su estructura debe de ser susceptible de efectuar modificaciones;
- *Depurable*: debe ser fácil la localización y corrección de errores.

En resumen, se debe realizar un programa siguiendo técnicas o métodos estandarizados que consigan las características anteriores rápida y eficazmente.

Las técnicas de programación que permiten seguir una metodología de la programación son:

- Programación modular
- Programación estructurada

Estas técnicas suelen ser complementarias, ya que el análisis de un problema puede utilizar criterios de programación modular para dividirlo en partes independientes y utilizar métodos estructurados en la programación de cada módulo.

## ***PROGRAMACIÓN MODULAR***<sup>17</sup>

El concepto básico de la programación modular es muy simple, consiste en dividir un programa en “paquetes” llamados módulos.

En realidad es un método de diseño que tiende a dividir el problema, de forma lógica, en partes perfectamente diferenciadas que pueden ser analizadas, programadas y puestas a punto independientemente.

La división de un problema en módulos o programas independientes exige otro módulo que controle y relacione a todos los demás, que generalmente es denominado *módulo base o principal* del problema.

Realmente la programación modular es un intento para diseñar programas, de forma tal que cualquier función lógica pueda ser intercambiada sin afectar a otras partes del programa.

Las *ventajas* de la programación modular se puedan resumir en los siguientes puntos:

- a) Un programa modular es más fácil de escribir y depurar (ejecutar, probar y poner a punto). Se puede profundizar en las pruebas parciales de cada módulo mucho más de lo que se hace en un programa mayor.
- b) Un programa modular es fácil de modificar y mantener.
- c) Un programa modular es fácil de controlar. El desglose de un problema en módulos permite encomendar los módulos más complejos a los programadores más experimentados, los más sencillos a los programadores más noveles.
- d) Posibilita el uso repetitivo de las rutinas en el mismo o diferentes programas.

Los *inconvenientes* se pueden resumir en:

- a) No se dispone de algoritmos formales de modularidad, por lo que a veces los programadores no tienen claras las ideas de los módulos.
- b) La programación modular requiere más memoria y tiempo de ejecución.

Se podrían sintetizar los *objetivos* de la programación modular en los siguientes aspectos:

- Disminuir la complejidad.
- Aumentar la claridad y fiabilidad.
- Disminuir el costo.
- Aumentar el control del proyecto.
- Facilitar la ampliación del programa mediante nuevos módulos.
- Facilitar las modificaciones y correcciones al quedar automáticamente localizadas en un módulo.

Un *módulo* está constituido por una o varias instrucciones físicamente contiguas y lógicamente encadenadas, las cuales pueden referenciar mediante un nombre y pueden ser llamadas desde diferentes puntos de un programa; un módulo puede ser:

- Un programa
- Una función
- Una subrutina (o procedimiento)

Los módulos deben de tener la máxima cohesión y el mínimo acoplamiento. Es decir, deben tener la máxima independencia entre ellos.

La salida del módulo debe ser función de la entrada pero no de ningún estado interno. La esencia del módulo ha de ser una caja negra que facilite unos valores de entradas y suministre unos valores de salida que sean exclusivamente función de las entradas.

En la descripción de los módulos deben cumplirse tres aspectos básicos: descripción, rendimiento y diseño.

En la descripción se definen las funciones y objetivos del programa. Para obtener el máximo rendimiento se ha de comprobar que el programa realice el proceso aprovechando al máximo todos los recursos de los que dispone. En cuanto al diseño se debe comprobar la estructura que sigue el módulo, así como la estructura de los datos y la forma de comunicación entre los diversos y diferentes módulos.

Con la independencia de las técnicas, los requisitos que debe cumplir la programación modular son:

- a) Establecimiento de un organigrama modular.
- b) Descripción del módulo principal.
- c) Descripción de los módulos básicos o secundarios.
- d) Normas de programación.

El organigrama modular se realiza mediante bloques, en el que cada bloque corresponde a un módulo y muestra gráficamente la comunicación entre el módulo principal y los secundarios.

Los módulos básicos deben resolver partes bien definidas del problema. Solo pueden tener un punto de entrada y un punto de salida. Si un módulo es complejo de resolver conviene que se subdivida en submódulos.

Para programar cada módulo es necesario aplicar las técnicas clásicas de diseño de organigramas o algoritmos y en realidad no se introduce ninguna norma o regla nueva.

En sucesivas fases de confección de un programa sabemos que la depuración y puesta a punto junto con el mantenimiento continuo constituye uno de los problemas más graves con que se enfrenta el programador, la comunicación.

La validez real de un sistema solo se podría dar haciendo una prueba exhaustiva con todo el rango posible de los valores de entrada, cosa realmente imposible en la mayoría de los casos. La comunicación usuario/máquina no solo se manifiesta en la fase de depuración sino también en la fase de mantenimiento. Un sistema normalmente debe ser modificado cada cierto tiempo y en muchas ocasiones la modificaciones han de ser realizadas por terceras personas que no intervinieron en el diseño.

Para aumentar la eficiencia de la programación y el mantenimiento se necesita dotar a los sistemas de una *estructura*. Las razones para ello no sólo es el aumento de fiabilidad y eficiencia sino asegurar que los sistemas sean adaptables, manejables, fácilmente comprensibles y transportables.

El desarrollo del simulador del Sistema de Desfogue, objetivo principal de este trabajo, consta de 4 módulos principalmente, para poder llevar a cabo el sistema de desfogue, los cuales están interrelacionados como se muestra en el siguiente diagrama III.2.3.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

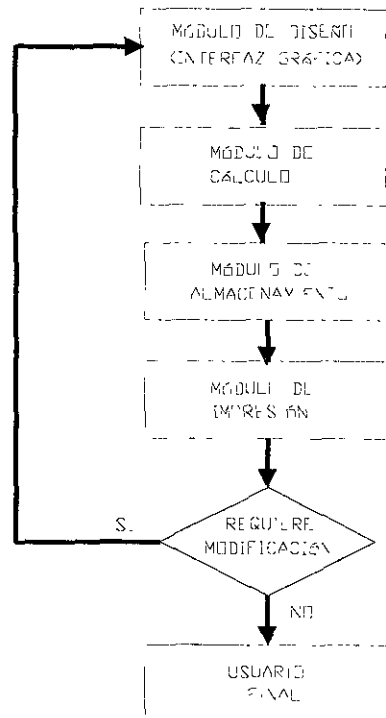


Figura III.2.3 Estructura de los Módulos que Conforman el Simulador del Sistema de Desfogue

### Módulo de Diseño (Interfaz Gráfica)

Se requiere de una interfaz gráfica para extraer la configuración de la estructura de la red de tubería que constituye el sistema de desfogue. Esta estructura se maneja desde un programa con aplicación CAD y se ha seleccionado para esto la plataforma Autocad R14. Los datos contenidos en el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) del desfogue, se han definido con celdas con propiedades (dibujos inteligentes) que representan a las tuberías que son interconectadas.

A través de una rutina escrita en AutoLisp, se obtienen las propiedades de la ingeniería que el diseñador ha colocado en el diagrama; esta rutina esta constituida de una plantilla de extracción de atributos (spock.txt) que genera un archivo de salida con el mismo nombre del diagrama pero con extensión *.txt*, el cual contiene los datos de las tuberías que se ven indicadas en el DTI (presión, temperatura, flujo, etc.)

Este archivo de salida es la base para las rutinas de cálculo incorporadas en el núcleo del simulador.

## **Módulo de Cálculo (Núcleo del Simulador)**

### **Cálculo de las Válvulas de Seguridad**

Para el caso del cálculo y selección de las válvulas de seguridad, se procedió a considerar lo que establecen las prácticas: API Recommended Practice 520 “Sizing, selection and installation of pressure-relieving devices in refineries” (March,1993), API Recommended Practice 521 “Guide for pressure-relieving and depressuring systems” (March,1997) y API Standard 526 “Flanged steel safety relief valves” (1993), es decir, efectuar el análisis de las diferentes emergencias de la planta en estudio para determinar las cargas máximas al cabezal de desfogue y, establecer los flujos individuales en cada válvula.

Las causas de sobrepresión que se consideraron son:

- 1.- Descarga Bloqueada.
- 2.- Ruptura de Tubos.
- 3.- Falla de Agua de Enfriamiento.
- 4.- Fuego Externo.
- 5.- Falla de Energía Eléctrica.
- 6.- Falla de Reflujo.
- 7.- Falla de Aire de Instrumentos.

El procedimiento que se siguió fue básicamente el de ir seleccionando el caso de sobrepresión que aplique para cada válvula, de acuerdo a las ecuaciones que se especifican en las prácticas mencionadas para el caso de capacidad con certificación.

### **Cálculo del Desfogue**

Para el desarrollo del cálculo del “Sistema de Desfogue” se requirió del manejo de propiedades termofísicas de los diferentes compuestos que intervienen en cada una de las corrientes, así como el de sistematizar cálculos iterativos, los cuales, dependiendo del número de válvulas y fallas que intervengan en el sistema, aumenta considerablemente la complejidad, si el cálculo se hace manualmente, razón por la cual se procedió a desarrollar el simulador, realizando 4 rutinas, que se describen a continuación:

- 1.- Cálculo de las propiedades medias.

Las propiedades medias (viscosidad, capacidad calorífica, coeficiente adiabático, factor de compresibilidad, peso molecular), así como las condiciones de presión y temperatura deben ser alimentados como dato de cada válvula que desfoga al sistema, pero en los puntos intermedios del sistema las propiedades medias se calculan de la siguiente manera:



Se considera flujo isotérmico en todo el sistema. El cálculo de las temperaturas de mezcla en cada punto del sistema se calcula por medio de la ecuación que involucra las propiedades termofísicas del gas. Para el caso del peso molecular, capacidad calorífica ( $C_p$ ) y factor de compresibilidad ( $Z$ ) se considera las ecuaciones de mezclado de cada una de ellas en función de su fracción mol.

Para el cálculo de la viscosidad promedio se utilizó la correlación de Wilke.

## 2.- Condiciones sónicas.

Para las condiciones sónicas (velocidad y diámetro) se utilizó la ecuación de Croker.

## 3.- Cálculo de la caída de presión.

Se utilizó la ecuación de flujo compresible isotérmico. El cálculo del factor de fricción se hizo mediante la ecuación de Colebrook.

## 4.- Temperatura de salida de las válvulas.

En este caso se utilizaron dos ecuaciones debido a la diferencia de criterios existentes, cada una de estas es opcional; considerando la expansión a través de la válvula como isoentrópica o isoentálpica. El coeficiente de Joule Thomson se debe de alimentarse como dato.

## Módulo de Almacenamiento

La información generada del cálculo de las válvulas de seguridad, así como de los cálculos del sistema de desfogue, se irán almacenando en una base de datos en Access, la cual está constituida por 4 tablas principales que involucran los diferentes tipos de fallas en su fase gas, vapor de agua, líquido y fuego.

<i>Nombre de la Tabla</i>	<i>Falla Involucrada</i>
Otras_gas	Agua de Enfriamiento Descarga Bloqueada De Reflujo Energía Eléctrica Ruptura de Tubos Aire de Instrumentos
Otras_vapor	Descarga Bloqueada Aire de Instrumentos
Otras_líquido	Descarga Bloqueada Ruptura de Tubos Expansión Térmica
Fuego	Fuego

Las tablas otras\_gas, otras\_vapor y otras\_líquido, están constituidas por los siguientes campos:

0. Número de sistema.
1. Gasto.
2. Temperatura de relevo.
3. Presión de relevo.
4. Orificio.
5. Contrapresión.
6. Viscosidad
7. Factor de compresibilidad
8. Peso molecular.
9.  $C_p/C_v$
10. Coeficiente adiabático.
11. Coeficiente de Joule Thomson.
12. Tipo de falla.
13. Descripción.

Así, de la misma manera la tabla “fuego” contiene los mismos campos, solo que se le adiciona en la posición 14 un campo más llamado *área*.

### **Módulo de Impresión**

En éste módulo, se genera un reporte de los cálculos realizados en el núcleo del sistema, en el cual nos indica para cada uno de los diferentes tipos de fallas sus correspondientes resultados, con el objetivo de que el diseñador los analice y sea capaz de tomar la mejor decisión para el sistema de desfogue en estudio.

Para poder calcular los orificios de salida de las válvulas de seguridad, se utilizaron las diferentes funciones; que dependiendo del tipo de falla (Fuego, Descarga Bloqueada, Aire de Instrumentos, Energía Eléctrica, Reflujo etc.) indicando cuáles serán los diferentes parámetros que se recibirán. La codificación de dichas funciones principales que se ejecutan en el simulador del sistema de desfogue se podrán ver en el Apéndice.

### III.3 PRUEBAS DEL SISTEMA

#### III.3.1 SIMULACIÓN DEL SISTEMA

##### 1.- Consideraciones:

Se han tomado las siguientes consideraciones para poder efectuar los cálculos:

- a) Existe una presión conocida al final del sistema, ya sea en el tanque o en el quemador, la cual se encuentra fija y que el programa solo cambiará y avisará, en el caso del cálculo solamente de contrapresiones, cuando esta presión sea menor a la crítica y el flujo sea sónico.
- b) El cálculo de las válvulas se ha efectuado con anterioridad quedando de esta forma fija la presión y la temperatura de relevo, así como el tamaño del orificio y la máxima contrapresión permisible (en el caso de no alimentarse ésta, se calculará como el 30% de la presión de relevo).
- c) Es conocido el gasto a relevar para las válvulas en una determinada falla, así como las propiedades físicas medias del gas a relevar para ese caso.
- d) Se conoce la configuración geométrica del sistema de relevo, así como las longitudes rectas de tubería.
- e) Se considerará flujo isotérmico a lo largo de toda la tubería.
- f) Sin entrada y salida de calor a los alrededores, y sin cambio en la temperatura para un mismo tramo de tubería debido a la expansión del gas.

##### 2.- Establecimiento de la secuencia de cálculo.

Llamaremos "*sistemas*" a los tramos simples de tubería que no están conectados directamente a una válvula de desfogue y serán "*válvulas*" aquellos tramos de tubería unidos directamente a una válvula.

Como se conoce la geometría del sistema de relevo se sabe a qué sistema llegará cada válvula o sistema.

Para establecer la secuencia de cálculo u orden de cálculo se seguirán los siguientes criterios:

- a) Se iniciará siempre por el sistema final (sistema 1) el cual tendrá presión final fija.
- b) Se ve qué sistemas llegan al número 1, en caso de que alguno de estos corresponda a una válvula se calculará primero, si hay 2 ó más se selecciona uno y se deja pendiente el otro.
- c) Para el sistema seleccionado se sigue un procedimiento similar al sistema 1.
- d) Cuando a un sistema lleguen solamente válvulas, se calcularán y se considerará terminado para esa rama, y se proseguirá con los sistemas pendientes.

Es necesario hacer notar que la orden de cálculo será seleccionada por el programa y no por el usuario que solamente se limitará a proporcionar la configuración y las válvulas que relevan en cada falla.

Sin embargo, para aclarar el establecimiento de la orden de cálculo, seguiremos con un ejemplo sencillo esta secuencia.

a) Numerar el sistema con números secuenciales empezando por el 1 en el último sistema. Para estos 15 sistemas si suponemos que desfogan todas las válvulas, el programa puede establecer la siguiente secuencia de cálculo:

1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 6.

Se pueden numerar en cualquier orden, siempre y cuando no falte un número en la secuencia.

### 3.- Dimensionamiento.

Se seguirá el orden de cálculo anterior. Se calculará primero el diámetro sónico para el sistema en cuestión, con este diámetro se calcula su contrapresión y se compara esta con su máxima contrapresión permitida (si corresponde a una válvula esta será la máxima contrapresión a la salida de la válvula, si es un sistema será la menor de estas contrapresiones permitidas de las válvulas que descarguen a este sistema), si ésta es mayor se aumenta el diámetro al siguiente comercial y se repite el proceso.

Cuando se llega a un diámetro que permite la contrapresión deseada se pasa al siguiente sistema en la orden de cálculo.

En el caso de que en un sistema se llegue a un diámetro mayor de aquel del cual depende, se aumentará el diámetro de este último sistema y se reinicia el cálculo para el siguiente sistema.

En el caso especial de válvulas, existe la limitante de que el diámetro de estas válvulas no sea mayor de 2 veces el diámetro del orificio de la válvula.

### 4.- Cálculo de contrapresión.

Se sigue también la orden de cálculo, utilizando la ecuación correspondiente para contrapresiones pero estas no se comparan ni tampoco se alteran los diámetros dados.

También se calcula el diámetro sónico, pero este solo sirve como información adicional.

### III.4 DOCUMENTACIÓN

#### III.4.1 MANUAL DE USUARIO <sup>18</sup>

##### *LOS USUARIOS DE UN SISTEMA*

Es posible distinguir varios tipos de usuarios: los beneficiados (o afectados) finales, los usuarios directos, y los encargados de su mantenimiento y operación. Los del primer tipo son la mayoría, y es sobre ellos que recae el impacto de las computadoras en la sociedad.

El segundo tipo de usuarios, son aquellos los que supuestamente se beneficiarán de forma inmediata con el sistema; éste usuario, por supuesto, no tiene por qué entender cómo se diseñó el programa, ni tampoco por qué entender el código ni todo lo relativo; basta con que sea capaz de usar eficientemente el sistema para poder explotarlo adecuadamente.

El tercer tipo de usuarios, son los encargados del mantenimiento y operación de los programas, se puede decir que son los únicos que deben estar enterados en detalle de cómo y por qué funciona el sistema y por lo tanto deberán tener a la mano la documentación técnica adecuada para cumplir con su papel.

El Simulador de Sistemas de Desfogue para plantas de refinación y petroquímicas o química en general, está diseñado bajo una arquitectura de 32 bits, el lenguaje de programación implementado para el mismo es Visual Basic 5.0.

La instalación del Simulador de Sistemas de Desfogue requiere de tener instalado AutoCad R12 ó superior.

Es importante mencionar que para la correcta instalación del Simulador de Sistemas de Desfogue en Plantas Petroquímicas Industriales, es necesario que la persona encargada de dicha instalación conozca de manera general los conceptos de Informática.

#### REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

- Procesador 80486 ó superior.
- Disco duro con 10 Mb mínimos libres.
- Mínimo 16 Mb en RAM (recomendados 32 Mb).
- Monitor VGA, SVGA.
- Mouse.

#### REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

- Microsoft Windows 95/NT.
- AutoCad R12 ó superior.

El Simulador de Sistemas de Desfogue tiene como objetivo ofrecer una herramienta de fácil manejo para integrar en un medio electrónico la información requerida para el diseño, análisis y control del flujo de información, para el sistema de desfogue.

El acceso es por medio de un click sobre el icono del Simulador.


### Descripción General


Las pantallas que visualizará el usuario son las siguientes:


- Válvulas de Seguridad.
- Configuración del Sistema de Desfogue.
- Generar Reportes.


### Definición de Términos

A continuación se describen algunos de los objetos que se visualizan en las pantallas.

 Los botones de opción aparecen en conjunto agrupados normalmente dentro de un marco, y permiten al usuario escoger sólo una opción de este conjunto.

 Caja de texto. Es un área en la cual se le permite al usuario introducir datos.

 Es una caja que contiene una lista de opciones válidas que pueden ser seleccionadas por el usuario, su característica es que despliega la lista de valores solo cuando se presiona mediante el mouse la flecha de despliegue y aparece en el recuadro mostrando la opción del valor que puede ser seleccionado.

 Los botones son utilizados para indicarle a la aplicación que se desea efectuar la operación descrita dentro de ellos.

### III.4.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El programa necesita de ciertos datos para poder identificar y realizar los cálculos que genera el sistema de desfogue, tal como el número de contrato y una serie de variables, que se listan a continuación:

IDIM	Si tiene un valor de 0, se calculará todos los diámetros para un valor de 1, sólo se calcularán aquellos diámetros que sean proporcionados como cero al momento del diseño y para un valor de 2, solamente se calcularán las contrapresiones.
XDIAM	Tiene un valor de protección de 2, sirve para multiplicar por este el diámetro del orificio de la válvula para comparar con el diámetro de la tubería de salida de ésta.
IOPC	Si tiene un valor de 1, el cálculo de temperatura de salida de las válvulas se hará isoentrópicamente, si no, se hará isoentápicamente.
IRAS	Si su valor es 1, se escribirán datos extras sobre las válvulas.
TOLER	Su valor de protección es de 0.9, es el valor de tolerancia para el error cometido en las temperaturas de salida de las válvulas.
PATM	Presión atmosférica (Psia)
PFIJA	Presión fija al final del sistema 1 (Psia).

Para los datos de configuración del sistema de desfogue se pondrá por cada sistema o válvula que se tenga :

- a) Número del sistema.
- b) Sistema (1) ó válvula (2)
- c) Sistema al que descarga
- d) Longitud del sistema (ft)
- e) Diámetro (opcional) del sistema (IN)
- f) Número de accesorios
- g) Número de identificación de los accesorios:
  1. Codo de 90° radio corto
  2. Codo 45°
  3. T flujo lineal
  4. T flujo en rama
  5. Válvula de globo
  6. Válvula de compuerta
  7. Válvula macho

8. Entrada a tubería 1, redondeada
9. Entrada a tubería, ligeramente redondeado
10. Entrada plana
11. Salida de tubería
12. Coples y uniones.

Los datos necesarios para la entrada de cada válvula de las diferentes fallas son:

- Número del sistema que es la falla.
- Gasto másico a relevar (lb/Hr).
- Temperatura de relevo (°F).
- Presión de relevo (Psig).
- Diámetro del orificio (IN).
- Máxima presión permitida (Psig)
- Capacidad calorífica (Btu/LBMOL °R)
- Coeficiente adiabático (K).
- Viscosidad (centipoises).
- Coeficiente Joule Thomson (°R/Psia).
- Factor de compresibilidad (Z).
- Peso molecular (PM).

Si el programa encuentra una falla al efectuar la orden de cálculo, se mandarán el siguiente mensaje:

**Error, para el sistema < > no se encuentra su antecesor**

Si el gasto es excesivo para el primer sistema y se pasa de un diámetro de 60 IN, el mensaje será:

**El máximo diámetro que puede manejar es de 60 IN**

Si en alguna válvula el diámetro sónico es mayor de 2 veces el tamaño del orificio se producirá un error con el siguiente mensaje:

**Precaución en el sistema < > válvula < >, el diámetro sónico, < > es mayor que el permitido < >**

Si el cambio de temperatura de las válvulas es mayor de lo permitido, mostrará:

**Se reajusta la temperatura de salida de las válvulas**

En el caso de cambiar la presión fija del sistema 1 por ser menor que la sónica, con el siguiente mensaje:

**Se cambió la presión fija a < >**



En este capítulo se realizó el análisis estructurados, diseño y codificación del *sistema*, usando como base los fundamentos teóricos de flujo de fluidos, válvulas de seguridad y desfogue, así como las técnicas de programación que se consideraron más adecuadas para el desarrollo del sistema. También se presentaron los extractos de los *Manuales de Usuario y Operación*.

Cabe hacer notar que en este trabajo no se incluyen las versiones completas de los mismos, ya que son voluminosos y no son el objetivo principal del presente.

CAPITULO IV

*Aplicación y Validación*



## ***PRUEBAS DEL SISTEMA***

El concepto de pruebas del sistema se ha modificado enfocándose cada vez más a corregir detalles operativos que han de determinar si el sistema ya codificado cumple o no las funciones para las que fue hecho.

Esto implica que los analistas o programadores están seguros de la funcionalidad de los programas aún antes de terminar con la codificación, por haberlos diseñado de manera estructurada.

Se prevé que el sistema omita ciertos detalles o cometa algunos errores cuando se ejecuta por primera vez, más esto no implica que este mal estructuralmente. Viene entonces una etapa de corrección de detalles, hasta dejar el sistema terminado con las características de elegancia y funcionalidad pactadas.

Para efectuar las pruebas de validación del Simulador del Sistema de Desfogue, se consideró un esquema en el cual se desean dimensionar los diámetros de la tubería involucrada, la topología que presenta es la que muestra en la siguiente figura IV.1.

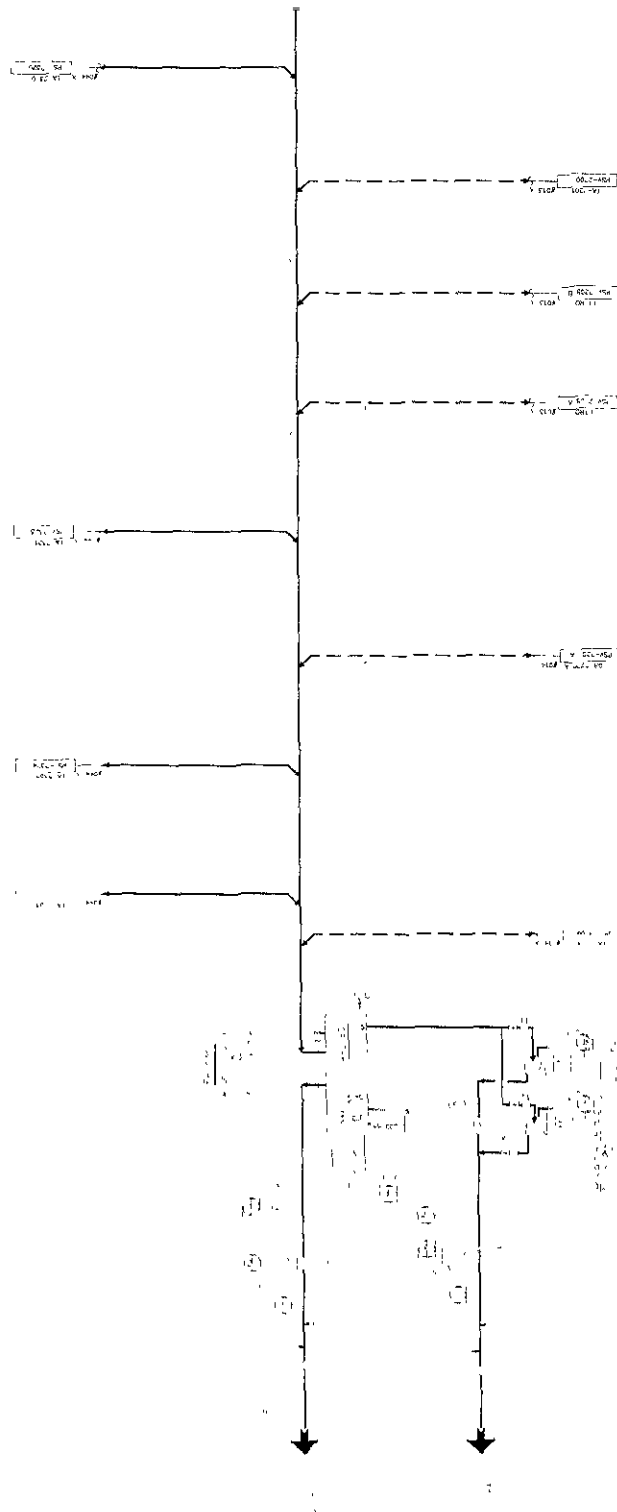


Figura IV.1 Esquema del ejemplo de Aplicación del Simulador del Sistema de Desfogue

Básicamente el manejo y/o introducción de los datos se ve representado en una matriz en donde se muestra los datos de la configuración, tal como se indica a continuación:

1	1	0	31.2	23.25	4	1 1 1 1	SALIDA A L.B.
2	1	1	31.2	23.25	4	1 1 1 1	TANQUE DE DESFOGUE
3	1	2	113.3	23.25	4	1 1 1 1	AL T.DE DESFOGUE
4	2	3	26.4	2.0675	4	1 1 1 4	PSV-2701
5	1	3	106.7	23.25	1	1	CABEZAL HC
6	2	5	69.1	4.026	5	2 1 1 1 4	PSV-8401
7	1	5	27.9	23.25	1	3	CABEZAL
8	2	7	59.2	3.068	5	2 1 1 1 4	PSV-8402
9	1	7	11.6	23.25	1	3	CABEZAL
10	2	9	65.8	3.068	5	2 1 1 1 1	PSV-8607
11	1	9	21.4	23.25	1	3	CABEZAL
12	2	11	59.2	6.065	5	2 1 1 1 4	PSV-8501
13	1	11	14.8	23.25	1	3	CABEZAL
14	2	13	78.9	3.068	5	2 1 1 1 4	PSV-8602
15	1	13	11.6	23.25	1	3	CABEZAL
16	2	15	59.2	3.068	5	2 1 1 1 4	PSV-8601
17	1	15	11.6	23.25	1	3	CABEZAL
18	2	17	78.9	3.068	5	2 1 1 1 4	PSV-8603
19	1	17	11.6	23.25	1	3	CABEZAL
20	2	19	78.9	3.068	5	2 1 1 1 4	PSV-8503

Para el caso de estudio solamente desfogan las válvulas 6, 8, 12, 20, cuyos datos son:

Válvula	Gasto	Temperatura de Relevo	Presión de Relevo	Diámetro	Máxima Contrapresión
6	16 442	124.88	85.73	4	37.46
8	20 631	217.66	485.73	2	145.7
12	13 848	213.00	245.73	4	73.72
20	21 699	127.52	245.73	3	73.72

Sus propiedades constantes físicas promedio:

Válvula	Cp	Cp/Cv	Viscosidad	Coef. J.T.	Z	PM
6	24.157	1.1658	0.0083	0.2103	0.8717	55.053
8	43.291	1.6500	0.0100	0.205	0.5054	54.345
12	32.493	1.3144	0.0101	0.194	0.7254	57.236
20	23.008	1.3848	0.0097	0.188	0.7495	43.784

Posteriormente el programa establece la secuencia de cálculo, que para este caso sería:

1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 19, 20.

Los resultados que se presentan en el reporte final, son los que a continuación se indican:

## RESULTADOS FINALES

UNICAMENTE SE CALCULARON LAS CONTRAPRESIONES

Número de Sistema	Contrapresión (psia)	Diámetro (pulg.)	Diámetro Sónico (pulg.)	Máxima Contrapresión (psia)
1	19.3489	23.25	4.893	
2	19.4274	23.25	4.883	
3	19.5113	23.25	4.873	
5	19.5315	23.25	4.863	
6	29.0604	4.026	2.427	51.730
7	19.5365	23.25	4.226	
8	44.7217	3.068	2.393	159.97
9	19.5383	23.25	3.490	
11	19.5450	23.25	3.490	
12	20.5241	6.065	2.155	87.99
13	19.5413	23.25	2.737	
15	19.5420	23.25	2.737	
17	19.5427	23.25	2.737	
19	19.5434	23.25	2.737	
20	63.2299	3.068	2.736	87.99

Como puede observarse en esta parte de los resultados finales, las contrapresiones que se obtuvieron como resultado finales en cada una de las válvulas involucradas (sistema: 6, 8, 12 y 20) son menores a la máximas contrapresiones permitidas, por lo tanto los diámetros del sistema son adecuados para cumplir con su función para la falla considerada.

## RESULTADOS FINALES COMPLEMENTARIOS

Número de Sistema	Velocidad (pie/seg)	Velocidad Sónica (pie/seg)	Temperatura (°F)	Válvula o Sistema
1	30.56	689.96	123.49	Sistema
2	30.43	689.96	123.49	Sistema
3	30.31	689.96	123.49	Sistema
5	30.18	689.96	123.49	Sistema
6	257.18	707.47	112.81	Válvula
7	22.38	677.15	125.65	Sistema
8	334.54	550.10	127.25	Válvula
9	16.52	733.21	124.28	Sistema
11	16.52	733.21	124.28	Sistema
12	83.90	664.30	169.31	Válvula
13	10.62	766.64	93.23	Sistema
15	10.62	766.64	93.23	Sistema
17	10.62	766.64	93.23	Sistema
19	10.62	766.64	93.23	Sistema
20	609.91	766.64	93.23	Válvula

Básicamente se efectuó en este capítulo la comprobación del funcionamiento y confiabilidad de los resultados que se obtienen del simulador, y de esta manera saber cómo y que presenta como resultados.

# *Observaciones y Conclusiones*





## OBSERVACIONES

Durante el desarrollo del trabajo se presentaron varias situaciones que se consideran importantes para posteriores desarrollos de simuladores aplicables a la industria, describiéndose a continuación las que se consideran más representativas.

En primera instancia, es importante que se establezcan desde el inicio del proyecto claramente aspectos tales como: el alcance, restricciones, valores de protección etc. que deban considerarse en el simulador, con la finalidad de poder programar cada una de las fases o módulos de que consistirá el trabajo final, para que de esta forma se pueda ir avanzando de manera segura y confiable, ya que de lo contrario, existiría el riesgo de estar efectuando modificaciones de alcance de una manera desorganizada, durante el desarrollo del mismo, con el consecuente riesgo de cometer errores durante la realización del trabajo, conllevando esto, a invertir más tiempo en la ejecución del mismo.

Por otro lado, en este caso en particular, ya se disponía de un programa, el cual fue realizado en el año de 1980 en lenguaje FORTRAN. Sin embargo, la forma en que fue concebido en ese tiempo no lo hizo muy práctico desde el punto de vista de programación y de alimentación de datos, debido a las limitaciones propias del lenguaje, si se compara con las herramientas con las que se cuenta actualmente, aún con todo esto, los resultados que se obtienen son bastante confiables. Esto sirvió para darse una idea de la forma en que se realizaban las programaciones anteriormente.

Es conveniente y recomendable involucrarse con la parte técnica de saber cuál es la secuencia de cálculo y el procedimiento de cómo se realizan los cálculos de forma manual y en caso de ser posible, realizar un ejemplo ilustrativo.

Por lo que respecta a la investigación bibliográfica, es importante aplicar y establecer un procedimiento para realizar una selección adecuada de los artículos técnicos, libros, comunicaciones internas, procedimientos etc. con la finalidad de no tener un exceso de información, la cual probablemente no pueda ser asimilada en su totalidad.

## CONCLUSIONES

Después de haber desarrollado el presente trabajo, se pudieron cumplir en su totalidad y en gran medida, los principales objetivos que se plantearon al inicio del mismo.

Por lo que se refiere al aspecto de poder contar con un Simulador de Sistemas de Desfogue en ambiente "Windows", tal y como los manejan las compañías extranjeras que se dedican a desarrollar programas comerciales y que se encuentran actualmente en el mercado, se puede establecer que se logró elaborar un sistema que puede integrar módulos desarrollados con diferentes herramientas; tales como: Visual Basic (programación), AutoCAD (dibujo), Access (bases de datos), con alto grado de confiabilidad y versatilidad, arrojando resultados muy similares a los de los programas comerciales. Cabe hacer notar que de esta forma es posible que se disminuya la dependencia del extranjero en este sentido, ahorrando además fuga de divisas por la renta o adquisición de los mismos.

Esto da una muestra de que la preparación obtenida en el transcurso de la carrera ha sido completa y proporciona los conocimientos básicos necesarios para poder desarrollar un trabajo que surga por requerimientos de la industria, ya sea desarrollando algo innovador y/o de asimilación tecnológica.

El haberse involucrado previamente con las actividades que se requieren desarrollar para el cálculo y/o diseño de un Sistema de Desfogue, proporcionó una ventaja sustancial, ya que de esta forma se pudo establecer una secuencia de programación estructurada, con respecto al programa que existía en la División de Ingeniería de Sistemas del Instituto Mexicano del Petróleo, logrando con esto que el simulador opere de una manera más eficiente, redundando en un tiempo de ejecución menor, adicionalmente de que se logró implementar una forma de introducir los datos mucho más amigable para el usuario.

En virtud de que se dispuso de un programa realizado hace 18 años, como referencia, se pudieron establecer y conocer como se dijo anteriormente en las observaciones las limitaciones que se tenían al efectuar las programaciones en aquellos tiempos, actualmente gracias a los avances tecnológicos éstas han sido superadas eficientemente.

La programación de un sistema que involucre la interrelación del manejo de información con diferentes herramientas, implica que se tiene que efectuar un análisis muy concienzudo de las diferentes posibilidades o casos que se puedan presentar en el desarrollo de un sistema.

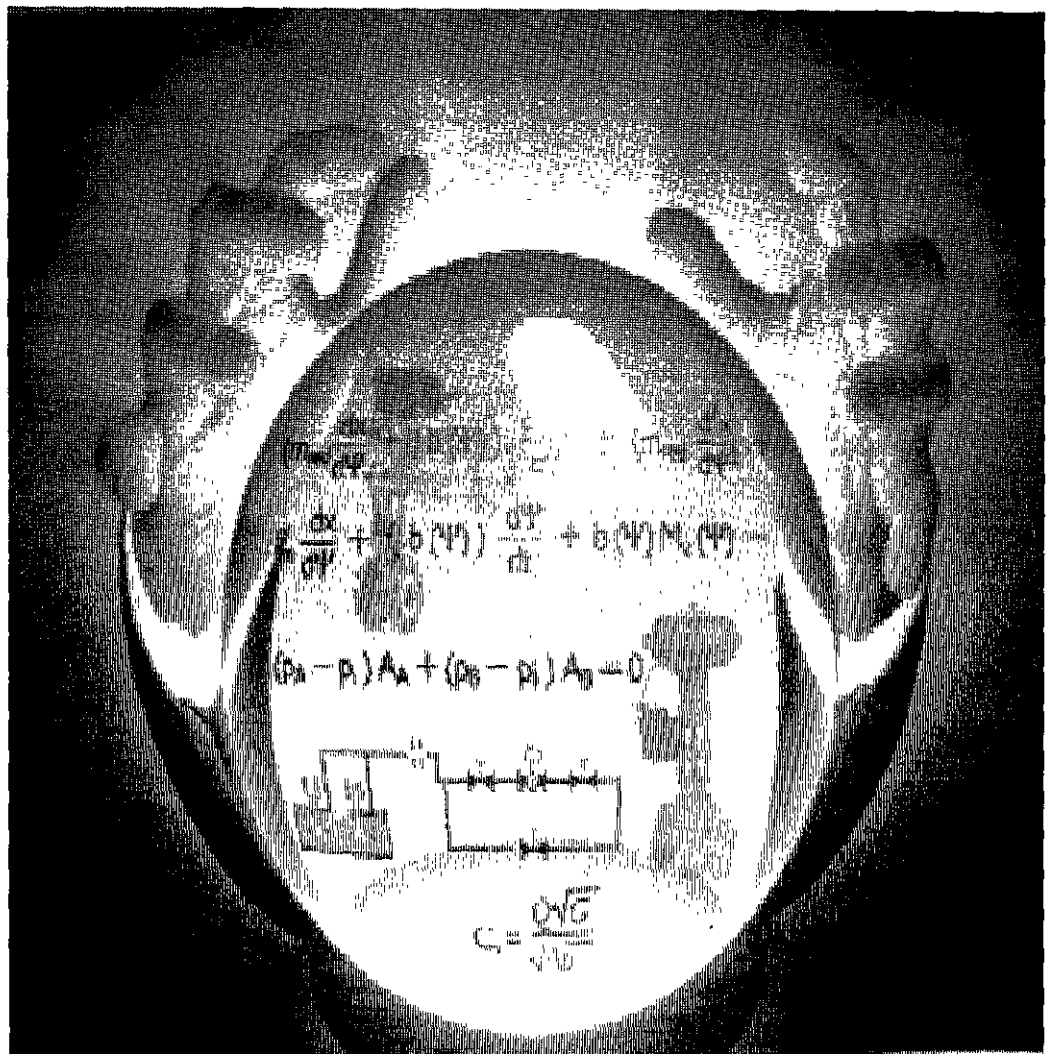
Así mismo, la elaboración de simuladores que impliquen el desarrollo de una tecnología de programación que pudiera llamarse concurrente, es decir, en donde se involucre el uso de diferentes programas para llegar a un solo objetivo, se está haciendo cada vez más necesaria, por lo que se requiere estar al día en cuanto a los programas que se pudieran integrar, y conocer las ventajas y desventajas que cada uno presenta.

Finalmente y como punto medular e importante a considerar dentro del desarrollo de este trabajo fue el de obtener, de una manera directa y objetiva, diversos tipos de beneficios, considerando aspectos tales como:

- **ECONÓMICO:** El ahorro que se tendría por la no adquisición de software del extranjero es de aproximadamente \$275,500 anuales (considerando una paridad de 1 dólar=10.20 pesos), considerando única y exclusivamente los programas que se adquirieron en el Instituto Mexicano del Petróleo para la División de Ingeniería de Sistemas, y que además solo cuenta con una licencia de cada uno de los programas desarrollados por SIMSCI (INPLANT y VISUALFLARE).
- **CONFIABILIDAD:** En lo referente a la confiabilidad, esta fue evaluada por medio de los resultados que arroja el simulador, los cuales fueron comparados con los programas comerciales mencionados, obteniéndose un margen de error de más o menos 3%.
- **TIEMPO:** En lo relacionado al tiempo de horas-hombre requeridas para estructurar un sistema de desfogue, este se ve disminuido en aproximadamente un 30%, lo cual lleva a que el costo de los proyectos que involucren el diseño de este tipo de sistemas sea más competitivo en el mercado.

En virtud de que los tres aspectos mencionados fueron comparados y evaluados con proyectos que se han trabajado en el Instituto Mexicano del Petróleo, no es difícil esperar que el uso de este sistema reditúe grandes beneficios a esta Institución de forma sustancial.

# *Glosario*



- Acumulación.** Es el incremento de presión por encima de la MAWP del recipiente durante la descarga a través del dispositivo de alivio de presión, expresada en unidades de presión o como un porcentaje. Las máximas acumulaciones permisibles para fallas operativas y fuego externo las establece el Código ASME.
- Aeroenfriador..** Es un equipo de intercambio térmico que está compuesto de un ventilador y un “panal” de tubos, generalmente se utilizan para condensar y/o enfriar fluidos.
- Área de la Boquilla.** Es el área transversal de flujo de una boquilla en el diámetro menor de la misma.
- Área Efectiva de Descarga o Área Equivalente de Flujo.** Es el área nominal o calculada de una válvula de alivio de presión obtenida de las ecuaciones de flujo de gases y líquidos y es menor que el área real de descarga.
- Área Real de Descarga.** Es el área neta de flujo de una válvula.
- Banco de datos, bases de datos (Data Base Management systems).** Se refiere a un conjunto de archivos organizados de tal forma que permita guardar y extraer información útil por medio de la ejecución de programas especiales.  
En forma más técnica, se refiere a un sistema de uso general que sirve para crear y mantener bancos de datos sin necesidad de escribir programas específicos para manejarlos, sino usando las facilidades integradas del manejador de la base de datos. Un manejador de bases de datos (DBMS) es un sistema complejo que se encarga de interrelacionar los diversos archivos de un banco de información para que este se comporte si estuviera dotado de cierta inteligencia que le permite responder preguntas acerca de sus contenidos.
- Capacidad Estampada.** Es la capacidad nominal de alivio que aparece en la placa del dispositivo.
- Capacidad Nominal de Alivio.** Es la capacidad de alivio medida de un dispositivo de alivio.
- Cavitación.** Es la vaporización súbita que se tiene en la carcasa de una bomba en un líquido saturado.
- Condiciones de Alivio.** Se utiliza para indicar la presión y temperatura de entrada a un dispositivo de alivio de presión a una sobrepresión específica. *La presión de alivio* es igual a la presión de ajuste de la válvula (o presión de abertura de un disco de ruptura) más la sobrepresión más la presión atmosférica. (La temperatura del fluido a las condiciones de alivio puede ser mayor o menor que la temperatura de operación).
- Código.** Se llama así a un programa que está escrito en *lenguaje máquina*. A los programadores (humanos) les es extremadamente difícil y molesto escribir código, siendo mucho más fácil escribir *programas fuente* en algún *lenguaje de programación*. Será entonces el

**ensamblador** o el **compilador** el encargado de generar el código, es decir, de traducir el programa fuente a lenguaje máquina.

**Contrapresión.** Es la presión que existe en la salida de una válvula de alivio de presión. Es la suma de la contrapresión sobrepuesta y la contrapresión desarrollada.

**Contrapresión Desarrollada.** Es el incremento de presión en el cabezal de descarga ocasionado por el flujo a través del dispositivo de alivio de presión.

**Contrapresión Sobrepuesta.** Es la presión estática en el sistema de descarga proveniente de otras fuentes y puede ser constante o variable.

**Compilador.** Programa que sirve como traductor que está escrito en **lenguaje de programación** y el **lenguaje de máquina** de una computadora. Si máquinas diferentes disponen de un compilador de lenguaje A (que traduce programas fuente escritos en A al lenguaje de máquina particular de cada una), entonces el mismo programa fuente puede ser compilado y aceptado por computadoras de marcas, tipos y modelos diferentes, lo cual de otro modo sería casi imposible de lograr, dada la enorme cantidad de detalles que varían entre una máquina y otra.

**Dispositivo de Alivio de Presión.** Es accionado por la presión estática a la entrada del mismo y diseñado para abrir durante una emergencia o falla, para prevenir un incremento en la presión o para prevenir vacío interno excesivo. El dispositivo puede ser una válvula de alivio de presión, un disco de ruptura o una válvula de alivio de vacío.

**Ensamblador.** Es un programa que recibe programas escritos en lenguaje (que también se llama ensamblador) y los traduce a **lenguaje máquina**.

**Flujo másico.** Es el flujo que se tiene por una tubería, expresado en unidades de masa por unidad de tiempo, pudiéndose expresar en: lb/hr, Kg/hr, etc.

**Lenguaje de máquina.** La única manera de comunicarse con el procesador de una computadora es por medio de un programa directamente ejecutable, mismo que debe estar escrito forzosamente en este lenguaje. Sin embargo el lenguaje binario de máquina no es propiamente un lenguaje, porque carece de estructura; podría describirse como “un conjunto de signos aislados ejecutables”. Esto significa que la máquina en ningún momento “sabe” lo que esta haciendo, ni si va en el camino correcto para la solución del problema.

**Lenguaje de programación.** Nombre genérico que se aplica a cualquier lenguaje (fuera del máquina) disponible para escribir programas para una computadora, también se le llama **lenguaje de alto nivel**.

**Máxima Presión de Trabajo Permisible.** (MAWP, por sus siglas en inglés) es la máxima presión manométrica permisible de un recipiente a una temperatura dada. Está basada en cálculos para cada elemento de un recipiente utilizando el espesor nominal sin contar el espesor adicional debido a la corrosión permisible y a cargas distintas a la presión. La máxima presión de trabajo permisible se toma como base para fijar la presión de ajuste de los dispositivos de alivio de presión.

**Número de Reynolds.** Parámetro adimensional que se utiliza para identificar el régimen de flujo de un fluido (líquido o gas).

**Programa.** Es un conjunto de declaraciones de estructuras de datos, seguidas de un conjunto de preposiciones (usando esta palabra en un sentido amplio, que abarca todos los componentes de las estructuras de control), siguiendo las reglas sintácticas de la gramática que produce el lenguaje de computación que se emplea.

**Presión de Abertura.** Es el valor del incremento de presión estática en la entrada del dispositivo de alivio de presión en el que existe levantamiento considerable del disco o el flujo es continuo.

**Presión de Ajuste.** Es la presión manométrica de entrada a la que la válvula de alivio de presión abre.

**Presión de Cierre.** Es el valor del decremento de presión estática en la entrada del dispositivo de alivio de presión en el que el disco de la válvula restablece contacto con el asiento o en el que el levantamiento es nulo.

**Presión de Prueba en Frío.** Es la presión a la que la válvula de alivio de presión abre en el banco de pruebas. Incluye correcciones para condiciones de contrapresión o alta temperatura, o ambas.

**Presión Manométrica de Diseño.** Se refiere a las más severas condiciones de presión y temperatura esperadas durante la operación. Puede utilizarse en lugar de la máxima presión de trabajo permisible en todos los casos en que la MAWP no ha sido establecida. La presión de diseño es igual o menor que la MAWP.

**Presión Máxima de Operación.** Es la máxima presión esperada durante la operación del sistema.

**Psia.** Son las unidades inglesas en las que comúnmente se expresa la presión absoluta de un sistema, y sus siglas provienen del inglés (**p**ounds per square inch **a**bsolute).

**Psig.** Son las unidades inglesas en las que comúnmente se expresa la presión manométrica de un sistema, y sus siglas provienen del inglés (**p**ounds per square inch **g**auge).

**Sobrepresión.** Es el incremento de presión por encima de la presión de ajuste del dispositivo de alivio, expresada en unidades de presión o como porcentaje. Es igual a la acumulación

cuando el dispositivo de alivio se ajusta a la máxima presión de trabajo permisible del recipiente.

**Tamaño de Entrada.** Es el tamaño nominal de la tubería (NPS, por sus siglas en inglés) de entrada a la válvula excepto que se designe de otra manera.

**Tamaño de Salida.** Es el tamaño nominal de la tubería (NPS, por sus siglas en inglés) de salida de la válvula excepto que se designe de otra manera.

**Válvula de Alivio.** Es una válvula de alivio de relevo accionada por resorte que actúa por la presión estática corriente arriba de la válvula<sup>1</sup>. La válvula abre en proporción al incremento de presión por encima de la presión de ajuste. Las válvulas de alivio se utilizan principalmente con fluidos incompresibles.

**Válvula de Alivio de Presión Accionada por Resorte.** Es un dispositivo de relevo diseñado para volver a cerrar y prevenir flujo adicional.

**Válvula de Alivio de Presión Balanceada.** Es una válvula de relevo accionada por resorte que incorpora medios para minimizar el efecto de la contrapresión en el desempeño de la válvula.

**Válvula de Alivio de Presión Convencional.** Es una válvula de relevo accionada por resorte cuyo desempeño es directamente afectado por la contrapresión.

**Válvula de Alivio de Presión Operada por Piloto.** Es una válvula de relevo controlada por una válvula de alivio de presión auxiliar.

**Válvulas Balanceadas.** Las válvulas de alivio de presión balanceadas cuentan con medios para reducir el efecto de la contrapresión en la presión de ajuste y minimizar el efecto de la contrapresión desarrollada sobre las características de desempeño (las presiones de abertura y cierre, el levantamiento y la capacidad de alivio). Existen dos tipos básicos de válvulas de alivio de presión balanceadas: de pistón y de fuelle.

**Válvula de Seguridad.** Es una válvula de alivio de presión accionada por resorte que actúa por la presión estática corriente arriba de la válvula y caracterizada por una acción rápida o acción de estallido (pop action). Las válvulas de seguridad generalmente se utilizan con fluidos compresibles.

---

<sup>1</sup>

"corriente arriba" debe interpretarse como "a la entrada" (del dispositivo o equipo)  
"corriente abajo" debe interpretarse como "a la salida" (del dispositivo o equipo)



***Válvula de Seguridad-Alivio.*** Es una válvula de alivio de presión accionada por resorte que puede utilizarse como una válvula de seguridad o como una válvula de alivio dependiendo de la aplicación.

**CODIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES MÓDULOS DEL SISTEMA  
PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE DESFOGUE**

A continuación se presenta la codificación de las funciones principales que se ejecutan en el simulador del sistema de Desfogue.

**Function Des\_Bloq(Gasto As Double, kd, kw1 As Double, kv1 As Double, Dr As Double)**

$$\text{Des\_Bloq} = (\text{Gasto} / (38 * \text{kd} * \text{kw1} * \text{kv1})) * (\text{Sqr}(\text{Dr} / (\text{P1} - \text{P2})))$$

**End Function**

**Function Des\_gas1(Gasto As Double, c As Double, T As Double, Z As Double, Pm As Double, P1 As Double, kb As Double, kd)**

$$\text{Des\_gas1} = ((\text{Gasto} / (\text{c} * \text{kd} * \text{P1} * \text{kb})) * \text{Sqr}((\text{T} * \text{Z}) / \text{Pm}))$$

**End Function**

**Function Fuego1(AreaOrif As Double, c As Double, t1 As Double, Z As Double, Pm As Double, P1 As Double, kb As Double, kd)**

$$\text{Fuego1} = (\text{AreaOrif} * \text{c} * \text{kd} * \text{P1} * \text{kb}) / \text{Sqr}((\text{t1} * \text{Z}) / \text{Pm})$$

**End Function**

**Function Vapor1(Gasto As Double, P1 As Double, kd, Kn As Double, ksh As Double)**

$$\text{Vapor1} = (\text{Gasto} / (51.5 * \text{P1} * \text{kd} * \text{Kn} * \text{ksh}))$$

**End Function**

**Function ExpGas1(Fpri As Double, AreaS As Double, P1 As Double)**

$$\text{ExpGas1} = (\text{Fpri} * \text{AreaS}) / (\text{Sqr}(\text{P1}))$$

**End Function**

**Function Gas(d As Single, Po As Double)**

$$\text{Gas} = 1580 * \text{d}^2 * (\text{Sqr}(\text{Po}))$$

**End Function**

**Function Liquido(d As Single, Po As Double, Pd As Double, Dr As Double)**

$$\text{DeltaP} = (\text{Po} - \text{Pd})$$

$$\text{Liquido} = 34.8 * \text{d}^2 * (\text{Sqr}(\text{DeltaP} / \text{Dr}))$$

**End Function**

Para poder obtener valores intermedios, entre dos pares de datos: presión y temperatura (x1,y1), (x2,y2), se utilizó la función de interpolación de *Lagrange* \*

Para hacer la interpolación, se busca un polinomio que pase por todos los puntos de la tabla proporcionada. Es evidente que si se tuvieran únicamente dos puntos, el polinomio que pasa por éstos es de grado uno (recta); si se tuvieran tres, el polinomio es de segundo grado (parábola), etc. En el caso

---

\* Métodos Numéricos I uthe, Rodolfo; Olivera, Antonio; Schutz, Fernando. Editorial LIMUSA  
pags. 162-163

## APÉNDICE

general de tener  $n$  puntos, el polinomio debe ser  $n-1$ . Esta interpolación se estableció para funciones tabulares con valores de  $x$  que no sean equidistantes.

A continuación se presenta la codificación del método de interpolación de Lagrange:

**Private Sub Inter\_lagrange(x1 As Variant, x2 As Variant, y1 As Variant, y2 As Variant, psia As Variant)**

Dim X, Y

Dim yy

Dim i, j As Integer

X = Array(x1, x2)

Y = Array(y1, y2)

yy = 0

For i = 0 To 2

  If i < 2 Then

    pnum = 1

    pden = 1

    For j = 0 To 2

      If j < 2 Then

        If i <> j Then

          pnum = pnum \* (psia - X(j))

          pden = pden \* (X(i) - X(j))

        End If

      Else

        yy = yy + pnum \* Y(i) / pden

      End If

    Next j

  Else

    ksh = yy

    Exit Sub

  End If

Next i

**End Sub**

Para almacenar los datos generados de las válvulas de seguridad se utilizaron los siguientes procedimientos para acceder a la base de datos creada en access, dependiendo del tipo de falla.

**Sub Otras\_gas()**

Set tabla = base.OpenRecordset("Otras\_gas")

tabla.AddNew

tabla.Fields(1) = Val(Format(Gasto, "#.00"))

tabla.Fields(2) = Tr

tabla.Fields(3) = Pd

tabla.Fields(4) = Val(orif\_sel)

tabla.Fields(5) = P2

tabla.Fields(7) = Z

tabla.Fields(8) = Pm

tabla.Fields(9) = K

tabla.Fields(12) = Tipo\_falla

tabla.Fields(13) = Cval

tabla.Update

tabla.Close

**End Sub**

**Sub Otras\_liquido()**

Set tabla = base.OpenRecordset("Otras\_liquido")

tabla.AddNew

tabla.Fields(1) = Val(Format(Gasto, "#.00"))

tabla.Fields(2) = Tr

tabla.Fields(3) = Pd

tabla.Fields(4) = Val(orif\_sel)

tabla.Fields(5) = P2

tabla.Fields(6) = VL

tabla.Fields(12) = Tipo\_falla

tabla.Fields(13) = Cval

tabla.Update

tabla.Close

**End Sub**

**Sub Otras\_vapor()**

Set tabla = base.OpenRecordset("Otras\_vapor")

tabla.AddNew

tabla.Fields(1) = Val(Format(Gasto, "#.00"))

tabla.Fields(2) = Tv

tabla.Fields(3) = Pd

tabla.Fields(4) = Val(orif\_sel)

tabla.Fields(5) = P2

tabla.Fields(6) = VL

tabla.Fields(12) = Tipo\_falla

tabla.Fields(13) = Cval

tabla.Update

tabla.Close

**End Sub**

**Sub base\_datos()**

Set base = OpenDatabase(Ruta\_Proyectos + Cto + ".mdb")

If (Tipo\_falla = "Fuego" And Z <> 0) Then

Set tabla = base.OpenRecordset("Fuego")

tabla.AddNew

tabla.Fields(1) = Val(Format(Gasto, "#.00"))

tabla.Fields(2) = Tr

tabla.Fields(3) = Pd

tabla.Fields(4) = Val(orif\_sel)

tabla.Fields(5) = P2

tabla.Fields(7) = Z

tabla.Fields(8) = Pm

tabla.Fields(9) = K

tabla.Fields(12) = Tipo\_falla

tabla.Fields(13) = Cval

tabla.Update

## APÉNDICE

```
    tabla.Close
End If

Select Case Tipo_falla
Case "Agua de Enfriamiento"
    Otras_gas
Case "Descarga Bloqueada"
    If Z <> 0 Then
        Otras_gas
    Else
        If Tr <> 0 Then
            Otras_liquido
        Else
            Otras_vapor
        End If
    End If
Case "Reflujo"
    Otras_gas
Case "Energía Eléctrica"
    If Z <> 0 Then
        Otras_gas
    Else
        Otras_liquido
    End If
Case "Ruptura de Tubos"
    If Z <> 0 Then
        Otras_gas
    Else
        Otras_liquido
    End If
Case "Aire de Instrumentos"
    If Z <> 0 Then
        Otras_gas
    Else
        If Tr <> 0 Then
            Otras_liquido
        Else
            Otras_vapor
        End If
    End If
Case "Expansión Térmica"
    Otras_liquido
End Select
End Sub
```

Para poder obtener la secuencia de cálculo, es decir los sistemas que intervienen para cada falla se utilizaron algunos procedimientos como los que se muestran a continuación.

**Private Sub Fuego()**

```
Set t1 = dbase.OpenRecordset("Fuego")
```

```
t1.Index = "Idsistema"
```

```
Do While Not t1.EOF
```

```
  Select Case t1.Fields(14)
```

```
    Case 1
```

```
      Valvulas_FuegoArea1
```

```
    Case 2
```

```
      Valvulas_FuegoArea2
```

```
    Case 3
```

```
      Valvulas_FuegoArea3
```

```
    Case 4
```

```
      Valvulas_FuegoArea4
```

```
    Case 5
```

```
      Valvulas_FuegoArea5
```

```
    Case 6
```

```
      Valvulas_FuegoArea6
```

```
    Case 7
```

```
      Valvulas_FuegoArea7
```

```
    Case 8
```

```
      Valvulas_FuegoArea8
```

```
    Case 9
```

```
      Valvulas_FuegoArea9
```

```
    Case 10
```

```
      Valvulas_FuegoArea10
```

```
  End Select
```

```
t1.MoveNext
```

```
Loop
```

```
If Cuantas_hayArea1 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea1
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea2 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea2
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea3 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea3
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea4 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea4
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea5 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea5
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea6 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea6
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea7 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea7
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea8 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea8
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea9 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea9
```

```
ElseIf Cuantas_hayArea10 <> 0 Then
```

```
  S_CalArea10
```

```
End If
```

```
End Sub
```

**Private Sub Valvulas\_FuegoArea1()**

Cuantas\_hayArea1 = Cuantas\_hayArea1 + 1

ReDim Preserve No\_valArea1(Cuantas\_hayArea1 - 1) As Integer

No\_valArea1(Cuantas\_hayArea1 - 1) = t1.Fields(0)

**End Sub**

**Private Sub S\_CalArea1()**

Dim a As Integer

Dim b As Integer

Dim c As Integer

Dim Sist As Integer

Dim Inicia As Integer

Dim Arreglo As Variant

c = 0

Inicia = 1

For a = 0 To Cuantas\_hayArea1 - 1

Sist = No\_valArea1(a)

For b = Inicia To No\_valArea1(Cuantas\_hayArea1 - 1)

MSFlexGrid1.Col = 1

MSFlexGrid1.Row = b

If Val(MSFlexGrid1.Text) = 1 Then

MSFlexGrid1.Col = 0

MSFlexGrid1.Row = b

c = c + 1

ReDim Preserve sec\_calArea1(c - 1) As Integer

sec\_calArea1(c - 1) = Val(MSFlexGrid1.Text)

Arreglo = Arreglo & MSFlexGrid1.Text & ","

Else

MSFlexGrid1.Col = 0

MSFlexGrid1.Row = b

If Val(MSFlexGrid1.Text) = Sist Then

c = c + 1

ReDim Preserve sec\_calArea1(c - 1) As Integer

sec\_calArea1(c - 1) = MSFlexGrid1.Text

Arreglo = Arreglo & MSFlexGrid1.Text & ","

Inicia = b + 1

Exit For

End If

End If

Next b

Next a

Label1 = (Left(Arreglo, Len(Arreglo) - 1)) & "."

**End Sub**

## APÉNDICE

**Private Sub Velocidad\_Sonica(no\_valarea1) As Integer, Cual\_Sist As Variant, Que\_Falla As String)**

Dim Res

Dim G As Double

Dim dia\_int As Double

Dim Msg As String

Msg = "El Diámetro Propuesto es Menor" + Chr(10) + Chr(13)

Msg = Msg + "Al Diámetro Sónico" + Chr(10) + Chr(13)

Msg = Msg + "El Diámetro será el" + Chr(10) + Chr(13)

Msg = Msg + "Superior Siguiente"

Select Case Cual\_Sist

Case 1

Set t1 = dbase.OpenRecordset("Fuego")

t1.Index = "Idsistema"

Select Case Que\_Falla

Case "F1"

G = (WTArea1 / RoM) \* (4 / (PI \* 3600))

Dia\_Sonic = ((WTArea1 \* (1545 \* t1.Fields(2) / (KM \* PMM \* (KM + 1))) ^ 0.5 / (Pfija \* 11400)) ^ 0.5) / 12

MSFlexGrid1.Row = 1

MSFlexGrid1.Col = 4

dia\_int = MSFlexGrid1.Text

If Dia\_Sonic < dia\_int Then

Vel\_Sonic = G / Dia\_Sonic ^ 2

Velocidad = G / ((dia\_int / 12)) ^ 2

Else

Res = MsgBox(Msg, "Cambio de Diámetro")

End If

t1.Close

If Velocidad > (Vel\_Sonic \* 0.7) Then

'Tomar el sig diametro comercial

Else

Caida\_Presion WTArea1, dia\_int, VLM

End If

End Select

End Select

End Sub

**Private Sub Caida\_Presion(WTArea1 As Double, dia\_int As Double, VLM As Double)**

Dim Reynolds As Double

Dim Long\_tot As Double

Dim F As Double

Dim A As Double

Dim B As Double

Dim X As Double

Dim Y As Double

Dim Yprim As Double

Dim KF As Double

Dim Beta As Double



## APÉNDICE

```
Dim P1C As Double
Dim P1 As Double
Reynolds = 6.31 * (WTArea1 / (dia_int * VLM))
Long_tot = Cal_Long(dia_int)
If Reynolds <= 2000 Then
    F = 64 / Reynolds
Else
    If Reynolds >= 4000 Then
        A = (12 * 0.00015) / (3.7 * dia_int)
        B = 2.51 / Reynolds
        X = -2 * Log(A + 0.000000000001) / Log(10#)
        Y = 2 * Log(A + B * X) / Log(10#)
        Do While Y > 0.000001
            Yprim = 1 + (0.86858896 * B) / (A + B * X)
            X = X - (Y / Yprim)
            Y = 2 * Log(A + B * X) / Log(10#)
        Loop
        F = 1 / X ^ 2
    Else
        MsgBox "Flujo Transitorio", 16, "VERIFICAR DATOS"
    End
End If
End If
KF = (F * Long_tot) * (6 / dia_int)
Beta = (0.00000055985127 * WTArea1 ^ 2 * P2) / (dia_int ^ 4 * RoM)
P1C = (P2 ^ 2 + Beta * KF) ^ 0.5
P1 = (P2 ^ 2 + Beta * (KF + Log(P1C / P2))) ^ 0.5
Do While (P1 - P1C) > 0.01
    P1C = P1
    P1 = (P2 ^ 2 + Beta * (KF + Log(P1C / P2))) ^ 0.5
Loop
End Sub
```

### **Private Function Cal\_Long(dia\_int As Double)**

```
Dim A As Integer
Dim Accesorio As Integer
Dim Lon As Double
Dim Lt As Double
Dim Le As Double
For A = 6 To 10
    MSFlexGrid1.Row = 1
    MSFlexGrid1.Col = A
    Accesorio = MSFlexGrid1.Text
    Select Case Accesorio
        Case 1
            Le = 1.973 * dia_int ^ 1.03
        Case 2
            Le = 8.416 * dia_int ^ 1.06
        Case 3
```

## APENDICE

Le = 0.118 + dia\_int \* (1.36 + dia\_int \* (0.000372 + dia\_int \* (-0.0000111 + dia\_int \* (0.0000000118))))

Case 4

Le = -0.257 + 5.03 \* dia\_int

Case 5

Le = 33.69 \* dia\_int ^ 0.99

Case 6

Le = 0.936 \* dia\_int ^ 0.97

Case 7

Le = 1.5 \* dia\_int

Case 8

Le = 0.00333 \* dia\_int \* (-2 \* 10 ^ (0.0004864 / dia\_int)) ^ 2

Case 9

Le = 0.01916 \* dia\_int \* (-2 \* 10 ^ (0.0004864 / dia\_int)) ^ 2

Case 10

Le = 0.04166 \* dia\_int \* (-2 \* 10 ^ (0.0004864 / dia\_int)) ^ 2

Case 11

Le = 0.0833 \* dia\_int \* (-2 \* 10 ^ (0.0004864 / dia\_int)) ^ 2

Case 12

Le = 0.006833 \* dia\_int ^ 1.71 \* (-2 \* 10 ^ (0.0004864 / dia\_int)) ^ 2

End Select

Lt = Lt + Le

Next A

MSFlexGrid1.Col = 3

Lon = MSFlexGrid1.Text

Cal\_Long = Lon + Lt

**End Function**

**Private Sub Caida\_Presion(WTArea1 As Double, dia\_int As Double, VLM As Double)**

Dim Reynolds As Double

Dim Long\_tot As Double

Dim F As Double

Dim A As Double

Dim B As Double

Dim X As Double

Dim Y As Double

Dim Yprim As Double

Dim KF As Double

Dim Beta As Double

Dim PIC As Double

Dim P1 As Double

Reynolds = 6.31 \* (WTArea1 / (dia\_int \* VLM))

Long\_tot = Cal\_Long(dia\_int)

If Reynolds <= 2000 Then

F = 64 / Reynolds

Else

If Reynolds >= 4000 Then

A = (12 \* 0.00015) / (3.7 \* dia\_int)

B = 2.51 / Reynolds

## APÉNDICE

```
X = -2 * Log(A + 0.000000000001) / Log(10#)
Y = 2 * Log(A + B * X) / Log(10#)
Do While Y > 0.000001
    Yprim = 1 + (0.86858896 * B) / (A + B * X)
    X = X - (Y / Yprim)
    Y = 2 * Log(A + B * X) / Log(10#)
Loop
F = 1 / X ^ 2
Else
    MsgBox "Flujo Transitorio", 16, "VERIFICAR DATOS"
End
End If
End If
KF = (F * Long_tot) * (6 / dia_int)
Beta = (0.00000055985127 * WTAreal ^ 2 * P2) / (dia_int ^ 4 * RoM)
PIC = (P2 ^ 2 + Beta * KF) ^ 0.5
P1 = (P2 ^ 2 + Beta * (KF + Log(PIC / P2))) ^ 0.5
Do While (P1 - PIC) > 0.01
    PIC = P1
    P1 = (P2 ^ 2 + Beta * (KF + Log(PIC / P2))) ^ 0.5
Loop
End Sub
Private Function Cal_Long(dia_int As Double)
Dim A As Integer
Dim Accesorio As Integer
Dim Lon As Double
Dim Lt As Double
Dim Le As Double
For A = 6 To 10
    MSFlexGrid1.Row = 1
    MSFlexGrid1.Col = A
    Accesorio = MSFlexGrid1.Text
    Select Case Accesorio
        Case 1
            Le = 1.973 * dia_int ^ 1.03
        Case 2
            Le = 8.416 * dia_int ^ 1.06
        Case 3
            Le = 0.118 + dia_int * (1.36 + dia_int * (0.000372 + dia_int * (-0.0000111 + dia_int * (0.0000000118))))
        Case 4
            Le = -0.257 + 5.03 * dia_int
        Case 5
            Le = 33.69 * dia_int ^ 0.99
        Case 6
            Le = 0.936 * dia_int ^ 0.97
        Case 7
            Le = 1.5 * dia_int
        Case 8
```

## APÉNDICE

$Le = 0.00333 * dia\_int * (-2 * 10^{(0.0004864 / dia\_int)})^2$

Case 9

$Le = 0.01916 * dia\_int * (-2 * 10^{(0.0004864 / dia\_int)})^2$

Case 10

$Le = 0.04166 * dia\_int * (-2 * 10^{(0.0004864 / dia\_int)})^2$

Case 11

$Le = 0.0833 * dia\_int * (-2 * 10^{(0.0004864 / dia\_int)})^2$

Case 12

$Le = 0.006833 * dia\_int^{1.71} * (-2 * 10^{(0.0004864 / dia\_int)})^2$

End Select

$Lt = Lt + Le$

Next A

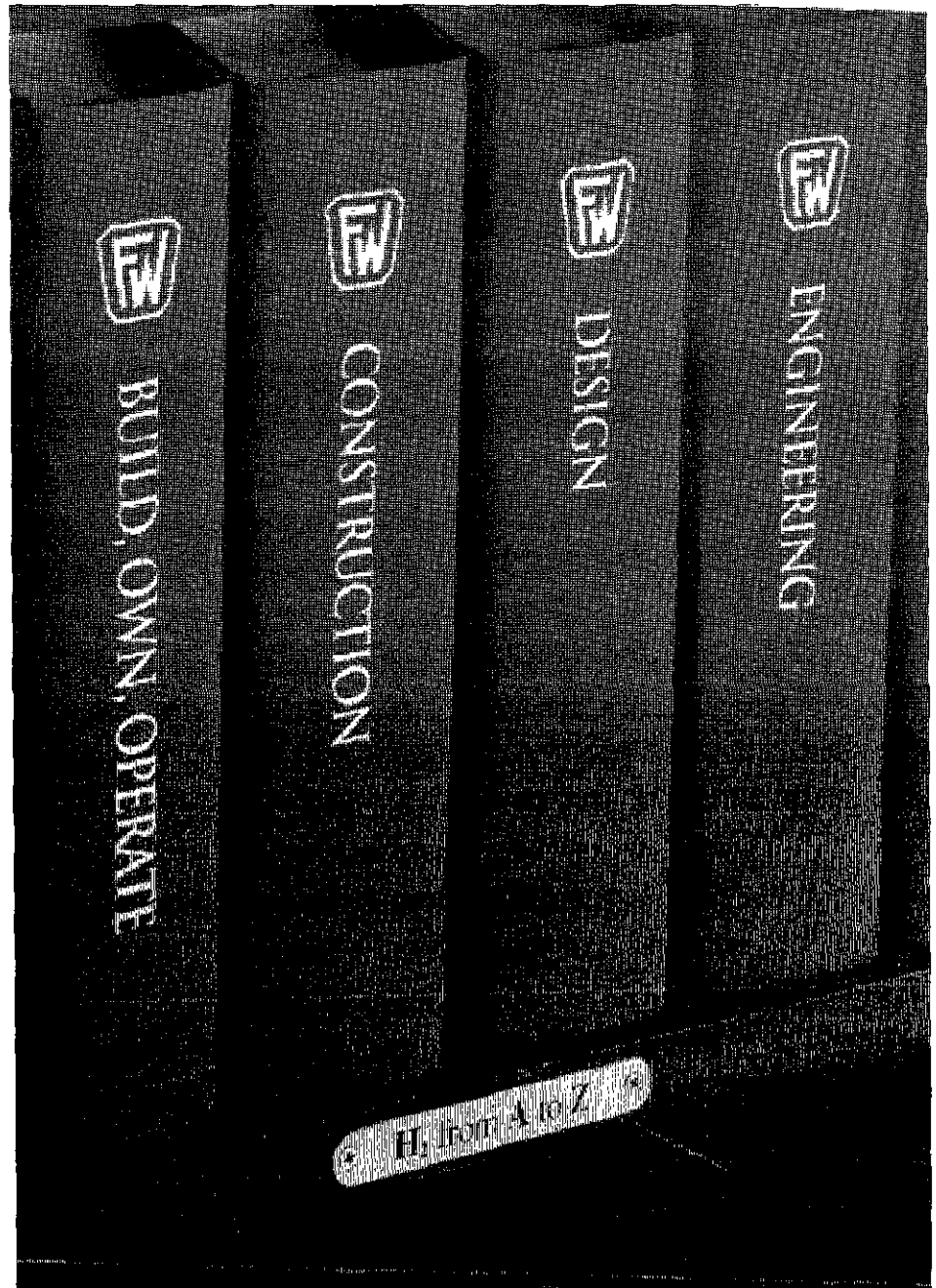
$MSFlexGrid1.Col = 3$

$Lon = MSFlexGrid1.Text$

$Cal\_Long = Lon + Lt$

**End Function**

# *Bibliografía*



1. American Petroleum Institute  
API Standard 526 "Flanged Steel Safety Relief Valves"  
1993
2. American Petroleum Institute  
API Recommended Practice 520 "Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries"  
1993
3. American Petroleum Institute  
API Recommended Practice 521 "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems"  
1997
4. Armistead, George Jr.  
Safety (in Petroleum Refining and Related Industries)  
Ed. John G. Simmonds & Co.  
Pags. 196-235  
1989
5. Ceballos, Fco. Javier  
Enciclopedia de Visual Basic  
Editorial Ra-ma  
Pags. 935  
1997
6. Crozier, R. A. Jr.  
Sizing Relief Valves for Fire Emergency  
Chemical Engineering  
Pags. 49-54  
October 28, 1985
7. De Mario, Thomas  
Análisis y Diseño de Sistemas  
Mc Graw-Hill
8. División de Ingeniería de CRANE  
Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías  
Editorial Mc Graw-Hill  
Pags. 1-2 . 1-13, 3-1 . 3-4  
1992

9. Dodero, G. & Di Sciascio, N.  
Safety Valves: Part of the System  
Power Magazine  
Pags. 70-74  
July, 1979
10. Edwards, Victor H., Hu, Lee L. et al.  
Pressure Relief System Modernization  
Process Plant Safety Symposium  
Pags. 435-471  
1996
11. Emerson, Gary B.  
Selecting Pressure Relief Valves  
Chemical Engineering Magazine  
March 18, 1985
12. Field, Stan  
Specifying Safety and Relief Valves.  
Instruments & Control Systems  
May, 1980
13. Howard, Walter B.  
Process Safety Technology and the Responsibility of Industry  
Chemical Engineering Progress  
Pags. 25-33  
September, 1988
14. Instituto Mexicano del Petróleo  
Torres Lugo, José y Gómez Rodríguez, José Luis  
Curso de flujo de fluidos  
Pags. 3-24 (Parte I), 90-130 (Parte II)  
1991
15. Instituto Mexicano del Petróleo  
Manual del Procedimiento de Cálculo de sistemas de Desfogue  
División de Ingeniería de Sistemas  
1980
16. Jenkins, J. H., Kelly, P. E. & Cobb, C. B.  
Design for Better Safety Relief  
Hydrocarbon Processing Magazine  
Pags. 93-97  
August, 1977

17. Joyanes Aguilar, Luis  
Metodología de la Programación  
Editorial Mc Graw-Hill  
Pags. 203-210  
1993
18. Levine Gutiérrez, Guillermo  
Introducción a la Computación y a la Programación Estructurada  
Editorial Mc Graw-Hill  
Pags. 424  
2da. Edición
19. Linsley, Jerald  
The Use of Process Simulation Software for the Design of Relief Systems and Flare Networks.  
Simulation Sciences, Inc., Houston, Texas.  
Pags. 573-585
20. Mak, Henry Y.  
New Method Speeds Pressure-Relief Manifold Design  
The Oil & Gas Journal Magazine  
Pags. 166-172  
November 20, 1978
21. Microsoft  
Visual Basic Guía de Objetos de Acceso a Datos Crystal Reports para Visual Basic  
Microsoft Corporation.  
Cap.2; Cap. 4  
1997
22. Petróleos Mexicanos Gerencia de Protección Ecológica e Industrial  
Especificaciones Mínimas de Seguridad para Sistemas de Desfogue  
GPEI-II-0203  
Julio,1989
23. Ross, Touch  
Metodología de Sistemas (4 Tomos para sistemas de información)  
Editorial Mc Graw-Hill
24. Scott Conrad; Shannon, Brad; Font, Frank; Hatfield, Bill; et al.  
Visual Basic Unleashed  
Sams Publishing  
Pags. 506-527  
1995



25. SIMSCI. Simulation Sciences, Inc.  
INPLANT User's Guide  
1997
26. SIMSCI. Simulation Sciences, Inc.  
VISUAL FLARE User's Guide Ver. 3.0 for Windows  
1996
27. Smith, J.M. y Van Ness, H.C.  
Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química  
Editorial Mc Graw-Hill  
Pags. 490-494  
1980
28. Streeter, Víctor L. & Wylie, E. Benjamín  
Mecánica de los Fluidos  
Editorial McGraw-Hill  
Pags. 94-100  
1990
29. Van Boskirk, Bruce A.  
Sensitivity of Relief Valves to Inlet and Outlet Line Lengths  
Chemical Engineering Magazine  
August 23, 1985