

Héctor Jr De la Hoz Siegler

**DISEÑO DE UN MÓDULO PARA EL
DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DE TORRES EMPACADAS**



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Santafé de Bogotá

Universidad Nacional de Colombia
2003

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Héctor Jr De la Hoz Siegler

Director: Pedro J. Bejarano Jiménez
Codirector: Gerardo Rodríguez Niño

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Bogotá, Agosto de 2003

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

por

Héctor Jr De la Hoz Siegler

Entregado al Departamento de Ingeniería Química
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al grado de:

Ingeniero Químico

Nota de Aceptación:

Ing. Paulo C. Narváez
Jurado – Presidente

Ing. Gabriel E. Rocha
Jurado – Secretario

Ing. Pedro J. Bejarano Jiménez
Director del Proyecto

Ing. Gerardo Rodríguez Niño
Codirector del Proyecto

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Héctor Jr De la Hoz Siegler

Entregado al Departamento de Ingeniería Química
en cumplimiento parcial de los requisitos para optar
al grado de Ingeniero Químico.

Resumen

Las torres empacadas ocupan un lugar destacado en las industrias de transformación físico-química, ya que juegan un papel fundamental en las operaciones de transferencia de masa y de calor que requieren el contacto directo entre fases inmiscibles.

El trabajo aborda el estudio de los principales aspectos relativos a la hidráulica de lechos empacados: caída de presión, inundación, punto de carga, retención de líquido, capacidad máxima de operación y velocidad mínima de humedecimiento.

Se desarrolla el módulo de cálculo, **un_HydrauliPack**, para computadores personales en ambiente Windows, en el cual se implementan varios de los modelos reportados para el estudio de los diferentes aspectos de la hidráulica de lechos empacados. Se articula una extensa base de datos con información actual sobre empaques estructurados y al azar, y con los parámetros físicos de 469 sustancias. Se incluyen, además, diferentes métodos para la estimación de las propiedades físicas requeridas. La validación del software desarrollado se realiza contra los simuladores comerciales Hysys® y Aspen Plus®.

Director: Pedro J. Bejarano Jiménez

Codirector: Gerardo Rodríguez Niño

A mi madre, Ada Siegler

RECONOCIMIENTOS

Reconocer significa dar las gracias. Dado que son muchas las personas que nos han permitido, con su apoyo y consejos, lograr los objetivos planteados, no es posible nombrarlos a todos, por lo cual ofrezco disculpas.

Este trabajo no hubiese sido posible sin la valiosa y acertada orientación de los ingenieros Pedro Bejarano y Gerardo Rodríguez. A ellos el mayor de los agradecimientos.

Debo agradecer también la información suministrada por Dan Dickenson (Lantec Products Inc.), Rolf Melcher (Kühni AG), Muhammad Nazir (Jaeger Products Inc.), Christiane Fitger (Raschig GmbH), Faiçal Larachi (Laval University, Québec-Canadá), y al servicio de información de Julius Montz GmbH.

La validación del cálculo de algunas propiedades físicas se llevó a cabo con la colaboración de los estudiantes de los cursos de Transferencia de Masa I. Las simulaciones en Aspen Plus® se realizaron con la colaboración de Iván Gil.

Debo gratitud especial a mis amigos, y en especial a Alvaro Villamizar, sin cuyo apoyo el desarrollo de este trabajo habría sido más escabroso, y a Oscar Pérez que trasnochó más de una vez por mi culpa.

Finalmente deseo agradecer a mi familia por la formación, apoyo y comprensión recibidos en más de 22 años.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	xxi
NOMENCLATURA	xxiii
CAPÍTULO 1 TORRES EMPACADAS	1
1.1. Descripción General.....	2
1.2. Constituyentes Internos.....	3
1.2.1 Distribuidores de líquido	3
1.2.2 Sistemas de alimentación.....	4
1.2.3 Retenedores de empaque.....	5
1.2.4 Soportes de empaque.....	5
1.2.5 Colectores de líquido	6
1.2.6 Constituyentes internos especiales para servicios líquido-líquido	6
1.3. Empaques	6
1.3.1 Función.....	7
1.3.2 Tipos de empaque	7
a. <i>Empaques al azar</i>	7
b. <i>Empaques estructurados</i>	10
1.3.3 Selección de empaques	10
1.3.4 Modelamiento	12
a. <i>Modelo de partícula</i>	12
b. <i>Modelo de canal</i>	13
CAPÍTULO 2 HIDRÁULICA DE LECHOS EMPACADOS.....	15

2.1	Flujo de Una Sola Fase	15
2.2	Flujo de Dos Fases	17
2.2.1	Regímenes de flujo	18
a.	<i>Régimen de carga insuficiente</i>	18
b.	<i>Régimen de precarga</i>	19
c.	<i>Régimen de carga</i>	19
d.	<i>Régimen de inundación</i>	19
2.2.2	Caída de presión	20
a.	<i>Modelo de canal</i>	20
b.	<i>Modelo de partícula</i>	22
c.	<i>Correlación generalizada de caída de presión</i>	23
d.	<i>Correlación de Robbins</i>	27
e.	<i>Correlación de Piché et al</i>	28
2.2.3	Determinación del punto de inundación	30
a.	<i>Correlación de Sherwood et al</i>	31
b.	<i>Correlación de Zenz y Eckert</i>	34
c.	<i>Correlación de Kister y Gill</i>	34
d.	<i>Método de Billet y Schultes</i>	35
e.	<i>Modelo de Stichlmair, Bravo y Fair</i>	36
f.	<i>Correlación de Piché et al</i>	36
g.	<i>Otras correlaciones</i>	38
2.2.4	Capacidad máxima de operación	39
2.2.5	Punto de carga	40
a.	<i>Método de Billet y Schultes</i>	40
b.	<i>Correlación de Miyahara et al</i>	40
c.	<i>Correlación de Piché et al</i>	41
2.2.6	Retención de líquido	41
a.	<i>Correlación de Buchanan</i>	42
b.	<i>Correlación de Mersmann y Deixler</i>	42
c.	<i>Correlación de Miyahara et al</i>	43
d.	<i>Correlación de Stichlmair</i>	43

e. <i>Método de Billet y Schultes</i>	44
f. <i>Correlación de Piché et al</i>	45
2.2.7 Humedecimiento	46
2.3 Fluido-Dinámica Computacional	48
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE COLUMNAS EMPACADAS	51
3.1 Determinación del Diámetro	51
3.2 Determinación de la Altura	52
3.2.1 Altura equivalente a un plato teórico	53
3.2.2 Altura de una unidad de transferencia	53
3.3 Diseño de Constituyentes Internos	53
3.4 Sistemas de Control	54
3.5 Otras Consideraciones de Diseño	56
3.6 Costos	56
CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL MÓDULO DE CÁLCULO	57
4.1 Información Sobre empaques	57
4.2 Estimación de Propiedades Físicas	58
4.3 Algoritmos de Cálculo	59
4.4 Diseño de la interfaz	60
CAPÍTULO 5 RESULTADOS	61
5.1 Comparación con Datos Experimentales	61
5.1.1 Caso 1: Destilación de Estireno/Etilbenceno	62
5.1.2 Caso 2: Destilación de Clorobenceno/Etilbenceno	69
5.2 Problema de Diseño	76
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83

BIBLIOGRAFÍA 87

APÉNDICES

- A. Propiedades de empaques
- B. Propiedades físicas y parámetros para su estimación
- C. Métodos de estimación de propiedades físicas
- D. Manual del usuario
- E. Caso 1: reporte de simulación
- F. Caso 2: reporte de simulación
- G. Problema de diseño: reportes de simulación
- H. Desarrollo de la aplicación

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema general de una torre empacada	2
Figura 1.2	Comparación entre empaques al azar	8
Figura 1.3	Comparación entre empaques al azar y estructurados	11
Figura 2.1	Curva característica de caída de presión	18
Figura 2.2	Región de operación de una torre empacada	19
Figura 2.3	Geometría típica de empaques estructurados	21
Figura 2.4	Última versión de la GPDC por Eckert (1975)	24
Figura 2.5	Correlación generalizada de caída de presión por Strigle (1994)	26
Figura 2.6	GPDC por Kister y Gill (1991) para empaques estructurados	26
Figura 2.7	Curva de inundación presentada por Sherwood <i>et al</i> (1938)	31
Figura 2.8	Última versión de la GPDC que incluye la curva de inundación	33
Figura 2.9	Esquema del perceptrón desarrollado por Piché <i>et al</i>	37
Figura 2.10	Patrones de flujo para agua y heptano en una placa vertical	47
Figura 3.1	Dimensiones típicas de torres empacadas	55
Figura 4.1	Flujo de actividades en el módulo de cálculo	60
Figura 5.1	Caída de presión determinada, para anillos Pall de 1 pulgada, con la ecuación de Robbins	63
Figura 5.2	Caída de presión determinada, para diferentes empaques metálicos de 1 pulgada, por medio de la ecuación de Robbins	64
Figura 5.3	Caída de presión determinada, para anillos Pall, metálicos de 1 pulgada, por medio de diferentes correlaciones incluidas en un _HydrauliPack	65
Figura 5.4	Caída de presión determinada, para anillos Pall, metálicos de 2 pulgadas, por medio de diferentes correlaciones	66
Figura 5.5	Comparación entre la caída de presión calculada por el simulador Hysys® y por un _HydrauliPack	68

Figura 5.6	Caída de presión calculada para anillos Pall de 25mm	70
Figura 5.7	Caída de presión calculada para anillos Pall de 38mm	71
Figura 5.8	Caída de presión calculada para anillos Pall de 50mm	71
Figura 5.9	Caída de presión calculada para el Cascade Miniring 1.5, por diferentes correlaciones incluidas en un _HydrauliPack	72
Figura 5.10	Caída de presión calculada para empaques estructurados	73
Figura 5.11	Caída de presión calculada para el Sulzer BX por medio de diferentes correlaciones	74
Figura 5.12	Caída de presión calculada para el Sulzer BX al aplicar el modelo de Iliuta y Larachi (2001)	75
Figura 5.13	Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de gas	79
Figura 5.14	Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de líquido	80
Figura 5.15	Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de gas por medio de diferentes correlaciones	81
Figura 5.16	Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de líquido por medio de diferentes correlaciones	81
Figura 5.17	Variación de la velocidad de inundación con el flujo de gas	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Operaciones en las cuales se emplean torres empacadas	1
Tabla 1.2	Temperatura máxima de operación y peso relativo al polipropileno para diferentes materiales plásticos	9
Tabla 2.1	Constantes a emplear en la Ec. 2.37	25
Tabla 2.2	Términos de peso de la red para caída de presión	29
Tabla 2.3	Rango de validez de la red neuronal	30
Tabla 2.4	Términos de peso de la red para evaluar la inundación	38
Tabla 2.5	Rango de validez de la red para la inundación	38
Tabla 2.6	Términos de peso de la red para evaluar el punto de carga	41
Tabla 2.7	Rango de validez para la evaluación del punto de carga	41
Tabla 2.8	Términos de peso de la red para evaluar la retención de líquido	45
Tabla 2.9	Rango de validez para la retención de líquido	46
Tabla 2.10	Reglas empíricas para la velocidad mínima de humedecimiento	48
Tabla 3.1	Máxima caída de presión recomendada para columna empacadas	52
Tabla 4.1	Empaques incluidos en la base de datos	57
Tabla 4.2	Métodos de estimación implementados en el módulo	58
Tabla 5.1	Caída de presión experimental reportada por Billet	62
Tabla 5.2	Valor de las propiedades físicas estimadas con un _HydrauliPack	63
Tabla 5.3	Empaques evaluados para la comparación entre Hysys® y un _HydrauliPack	67
Tabla 5.4	Caída de presión experimental reportada por Billet para empaques al azar	69
Tabla 5.5	Valor de las propiedades físicas estimadas por el módulo, caso 2	70
Tabla 5.6	Caída de presión experimental reportada por Billet para empaques estructurados	72
Tabla 5.7	Balance de materia sobre la columna	76
Tabla 5.8	Datos de las corrientes determinados por cada uno de los programas evaluados..	77

Lista de Tablas

Tabla 5.9	Diámetro requerido	78
Tabla 5.10	Velocidad de inundación (m/s) calculada	78
Tabla 5.11	Caída de presión (Pa/m)	79

INTRODUCCIÓN

Las torres empacadas son ampliamente usadas en las industrias química, petroquímica, farmacéutica, de alimentos, biotecnológica y ambiental. Se emplean en operaciones que involucran el contacto directo entre fases tales como absorción, desorción o despojamiento, destilación o rectificación, extracción líquido-líquido y deshumidificación, así como en sistemas reactivos químicos y bioquímicos, con el fin de promover la transferencia de masa y de calor.

Este trabajo aborda el comportamiento hidráulico, uno de los aspectos más determinantes en el diseño de las columnas empacadas. Para ello se realiza una recopilación de los métodos, modelos y correlaciones desarrolladas para evaluar cada uno de los fenómenos involucrados en la hidráulica de los lechos empacados, no solo para el flujo de una sola fase sino para el flujo a contracorriente de dos fases, líquido y gas, caso de mayor aplicación en el ámbito industrial. Se estructura un módulo de cálculo que incorpora los métodos, modelos y correlaciones mencionados, soportado en una base de datos con información relativa a múltiples empaques y sustancias.

En el primer capítulo se presenta una breve descripción de las torres empacadas y una reseña de sus aplicaciones más importantes. Se relacionan, además, los principales constituyentes internos, con énfasis en los empaques y en la evolución de los mismos, y se realiza una comparación entre los empaques al azar y los empaques estructurados. Por último se alude a dos de los modelos teóricos propuestos para representar lechos empacados: el modelo de partícula y el modelo de canal.

En el segundo capítulo se hace un recorrido por cada uno de los fenómenos que pueden presentarse en una torre empacada y que afectan su comportamiento hidráulico. Se inicia con una descripción de la hidráulica cuando se opera con una sola fase, y posteriormente se describe la hidráulica para la operación a contracorriente de dos fases: líquida y gaseosa. En cada sección se presentan las ecuaciones o correlaciones involucradas en los modelos. Cada método gráfico se complementa con el polinomio correspondiente, ajustado.

Una vez señalados y descritos cada uno de los aspectos involucrados en la hidráulica de lechos empacados, el capítulo tercero se ocupa de la manera como éstos intervienen en el diseño; se resumen también algunas de las reglas empíricas empleadas y se relacionan las demás etapas que se requieren para completar el diseño.

En el cuarto capítulo se delinea el procedimiento seguido durante el desarrollo del módulo **un_HydrauliPack**, la filosofía de programación empleada y los métodos numéricos implementados. Se describen de forma general, además, las características del módulo y la información sobre empaques y sustancias que conforma la base de datos.

Los casos de estudio utilizados en la validación del módulo se presentan en el quinto capítulo, donde, en desarrollo de la misma, se comparan los resultados obtenidos tanto con **un**_HydrauliPack como con los simuladores comerciales Hysys® y Aspen Plus®. En este capítulo se presenta un análisis de sensibilidad para varias de las correlaciones implementadas.

Finalmente, en el sexto y último capítulo se recogen las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos en el área.

En los apéndices se presenta la información tabulada sobre empaques al azar (423) y estructurados (116), parámetros para estimar las propiedades físicas de 469 sustancias, los métodos de estimación para algunas propiedades (densidad, viscosidad, difusividad y tensión superficial), el manual del usuario y los reportes de las simulaciones realizadas.

Es de esperar que tanto el escrito como el módulo desarrollado se constituyan en herramientas de primera mano en el proceso de enseñanza - aprendizaje relativo al tema, así como en la evaluación hidráulica y el cálculo del diámetro de torres empacadas, en el ejercicio de la docencia y a nivel profesional.

NOMENCLATURA

Nota: Junto a cada variable se indica la unidad, o unidades, empleada con más frecuencia. Cuando es requerido el uso de otra unidad, ésta se especifica junto a la expresión correspondiente.

a_h	Área hidráulica del empaque (m^2/m^3)
a_p	Área específica del empaque (m^2/m^3)
A_s	Área superficial total del lecho (m^2)
c	Constante de proporcionalidad (Definida en la Ec. 2.13)
C_1, C_2, C_3	Constantes características de empaque para ser empleadas en el modelo de Stichlmair <i>et al.</i> Su valor para varios empaques se presenta en el Apéndice A
Ca	Número Capilar
C_{Fl}	Constante de empaque para evaluar la condición de inundación (Apéndice A)
C_H	Constante de empaque para evaluar la retención de líquido (Apéndice A)
C_{Lo}	Constante de empaque para evaluar el punto de carga (Apéndice A)
C_o	Constante característica del empaque para el modelo de Bravo (Apéndice A)
C_p	Constante de empaque para evaluar la caída de presión (Apéndice A)
C_s	Factor de capacidad
d	Diámetro (m)
D_c	Diámetro de la columna (m)
d_{eq}	Diámetro equivalente del empaque para el modelo de canal (m)
d_h	Diámetro hidráulico de Krischer-Kast (m)
d_p	Diámetro de partícula (m)
Fr	Número de Froude
F_p	Factor de Empaque (Apéndice A)
F_{pd}	Factor de Empaque seco (Apéndice A)
F_v	Parámetro de flujo del gas definido en la Ec. 5.1 ($\text{kg}^{1/2}\text{m}^{-1/2}\text{s}^{-1}$)
g	Aceleración debida a la gravedad
G	Flujo másico de gas ($\text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}$)
Ga	Número de Galileo
g_c	Constante gravitacional (1 en Sistema Internacional y 32.174 en Sistema Inglés de Ingeniería)

Nomenclatura

G_f	Parámetro de flujo para el gas empleado en la correlación de Robbins
h	Tamaño del paso en el método de diferencias finitas
H	Neuronas ocultas de la red de Piché <i>et al</i>
h_d	Retención dinámica
h_L	Retención total de líquido
h_{Lo}	Retención de líquido en el punto de carga
h_o	Retención operacional
h_s	Retención estática
K	Coefficiente de permeabilidad del lecho
L	Flujo másico de líquido (kg / m ² s)
L_f	Parámetro de flujo para el líquido empleado en la correlación de Robbins
Mo	Número de Morton
n	Exponente empleado en el modelo de Billet-Schultes
N	Número de partículas en el lecho o número de canales
O	Parámetro de salida de la red de Piché <i>et al</i>
Oh	Número de Ohnesorge
Q	Parámetros de entrada a la red neuronal de Piché <i>et al</i>
Re	Número de Reynolds
S	Longitud característica de corrugación (m), o parámetro de salida de la red neuronal de Piché <i>et al</i>
S_B	Factor de corrección del lecho empacado
St	Número de Stokes
u	Velocidad (m / s)
U	Parámetro normalizado de Piché <i>et al</i>
u_{eq}	Velocidad equivalente para el modelo de canal (m / s)
V	Volumen del lecho (m ³)
V_F	Volumen libre (m ³)
V_P	Volumen del lecho ocupado por las partículas (m ³)
W	Factor de humedecimiento
X	Abscisa en métodos gráficos
Y	Ordenada en métodos gráficos
z	Variable en el método de Newton-Raphson
Z	Altura de empaque (m)

Letras Griegas

α	Angulo de contacto entre el líquido y la superficie del empaque
χ	Parámetro de Lockhart-Martinelli modificado
ΔP	Caída de Presión (Pa o pulgadas de agua)
ΔP_d	Caída de Presión para el flujo de una sola fase (Pa)

ε	Porosidad del lecho o fracción vacía
ϕ	Esfericidad del empaque
μ	Viscosidad dinámica (Pa s, ó cP)
ν	Viscosidad cinemática (m ² /s ó cSt)
π	Número pi = 3.141592654
θ	Angulo de corrugación, o de inclinación, del empaque.
ρ	Densidad (kg / m ³)
σ	Tensión superficial (N/m, ó dyna/cm)
σ	Factor de peso empleado en las correlaciones de Piché <i>et al</i>
Ψ	Factor de corrección para la densidad (Inverso de la gravedad específica)
Ψ_i	Fuerza adimensional sobre la fase i
ζ	Factor de fricción (diferentes definiciones)
ζ_{LGG}	Parámetro de salida para la red neuronal de caída de presión.

Subíndices

<i>A</i>	Referido al aire
<i>eq</i>	Característica o propiedad equivalente en el modelo de canal
<i>Fl</i>	Condición de inundación
<i>G</i>	Gas
<i>i</i>	Índice o contador de iteración en el método de Newton-Raphson
<i>irr</i>	Sistema irrigado, dos fases
<i>L</i>	Líquido
<i>Lo</i>	Punto de carga
<i>Max</i>	Valor máximo de validez de la red de Piché <i>et al</i>
<i>Min</i>	Valor mínimo de validez de la red de Piché <i>et al</i>
<i>MOC</i>	Capacidad máxima de operación
<i>W</i>	Referido al agua

Abreviaturas

GDPC	Carta generalizada de caída de presión
MOC	Capacidad máxima de operación
MWR	Velocidad mínima de humedecimiento

1. TORRES EMPACADAS

Las columnas empacadas son, junto con las de platos, los equipos de transferencia de masa más empleados en la industria de transformación físico-química. Inicialmente su uso estaba restringido casi exclusivamente a laboratorios, plantas piloto y columnas industriales de diámetro pequeño o servicios con requerimientos de muy baja caída de presión y alta resistencia a la corrosión. Sin embargo, hoy día su aplicación se considera en todas las operaciones que implican transferencia de masa y de calor y requieren el contacto directo entre fases. En la Tabla 1.1 se relacionan las operaciones unitarias en las que se emplean columnas empacadas, y se presentan algunos ejemplos de aplicación.

Tabla 1.1 Operaciones en las cuales se emplean torres empacadas

Operación	Ejemplos de Aplicación
Absorción física	Remoción de contaminantes del aire, eliminación de olores.
Absorción química	Absorción de dióxido de carbono – en control de emisiones y en el proceso Solvay. Absorción en procesos de producción de ácido nítrico, ácido sulfúrico, cloro y fluoruro de hidrógeno.
Desorción	Decarbonatación de agua, despojamiento de amoníaco.
Destilación	Rectificación al vacío de crudo. Separación de sustancias termolábiles. Separación de isótopos.
Extracción líquido-líquido	Recuperación de compuestos orgánicos de corrientes acuosas.
Deshumidificación	Desalinización de agua.
Enfriamiento	Plantas térmicas y nucleares. Enfriamiento de cloro gaseoso.

A continuación se describen las características generales de las torres empacadas cuando operan a contracorriente, dado que es la disposición más común en la industria.¹

¹ Sin embargo, en aquellos casos en los cuales la diferencia entre las fuerzas impulsoras a contracorriente y en paralelo no es significativa, se prefiere operar de esta última forma (Beg et al, 1996). Otra alternativa es llevar a cabo la operación con el flujo del gas transversal al del líquido descendente (Strigle, 1994).

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Una torre empacada consiste en una coraza cilíndrica, o columna, equipada con sistemas de alimentación y distribución de las fases, así como con dispositivos para la salida, en el fondo y en la cima. Cuenta con un lecho de sólidos inertes que constituye el empaque. El fluido menos denso, usualmente un gas o vapor, ingresa por el fondo de la columna y asciende a través del área transversal libre, en tanto que el fluido más denso se dirige hacia abajo desde la cima de la torre.

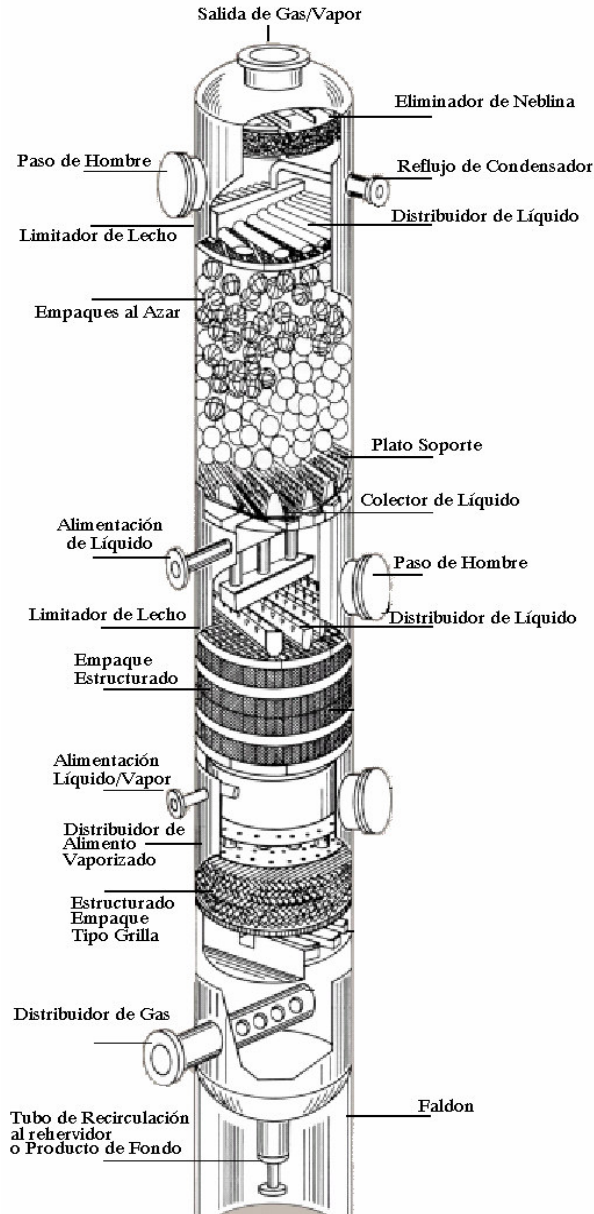


Figura 1.1 Esquema General de una Torre Empacada
(Adaptada de: Jaeger Products Inc. General Brochure)

1.2 CONSTITUYENTES INTERNOS

Para el funcionamiento apropiado de una columna empacada se requieren ciertos elementos adicionales a la coraza y al empaque. Estos accesorios, denominados constituyentes internos, se identifican en la Figura 1.1.

Los constituyentes internos más importantes son:

- Distribuidores de líquido
- Sistemas de alimentación
- Retenedores de empaque
- Soportes de empaque
- Colectores de líquido
- Eliminadores de arrastre

No todos los constituyentes de la lista están siempre presentes en una columna. La decisión de incorporarlos o no, es el resultado de un cuidadoso estudio costo/beneficio.

La oferta de estos accesorios es variada y completa, dado que los fabricantes compiten en el mercado con productos cuidadosamente diseñados para asegurar excelentes condiciones relativas a capacidad, eficiencia, versatilidad y flexibilidad, según el sistema y las condiciones bajo las cuales deban operar. Por lo tanto, resulta crítica la selección apropiada de cada constituyente, dado que una decisión inadecuada, aún empleando empaques de alta eficiencia, conlleva al mal funcionamiento de la columna. Los constituyentes internos que se describen a continuación se utilizan, en general, en operaciones gas/vapor-líquido. Al final de esta sección se hace referencia a algunos constituyentes específicos para servicios líquido-líquido.

1.2.1 Distribuidores de líquido

La distribución uniforme de líquido en la cima de la torre es esencial para una operación eficiente. Por lo tanto, los distribuidores de líquido son claves en el diseño de cualquier columna empacada (Strigle, 1994)

Un distribuidor de líquido debe proporcionar (Norton, 2001a):

- Distribución uniforme del líquido
- Resistencia a la obstrucción o taponamiento
- Gran flexibilidad a la variación en los flujos
- Baja caída de presión
- Mínima altura para permitir mayor espacio para el lecho
- Capacidad para mezclar el líquido a distribuir

La distribución perfecta del líquido puede definirse como la provisión de líquido a igual velocidad por unidad de área de superficie del lecho. El líquido puede aplicarse mediante rociadores (spray), rebosaderos u orificios, a presión o por gravedad.

Los rociadores pueden humedecer casi totalmente la superficie del empaque, pero la variación de flujo punto a punto es muy alta. Los distribuidores de rebosadero proveen corrientes discretas de igual flujo, pero es difícil controlar las variaciones en la carga. Al igual que los distribuidores de rebosadero, los de tipo orificio proveen corrientes discretas de líquido dirigidas directamente al empaque. Para asegurar una perfecta distribución se requeriría un número infinito de corrientes; sin embargo, por ejemplo, en el caso de los distribuidores tipo orificio, el tamaño del orificio, los riesgos de obstrucción y consideraciones de carácter mecánico restringen su número.

En general una columna empacada consta de varias secciones de empaque, tanto para introducir y retirar corrientes intermedias, como para redistribuir las corrientes internas. Para lograr la distribución del líquido que ingresa en puntos intermedios de la columna y redistribuir las corrientes líquidas internas se incorporan redistribuidores de líquido entre lechos. Los redistribuidores presentan el mismo diseño mecánico que los distribuidores, pero adicionalmente incluyen elevadores semicubiertos (chimeneas) para el gas y, en algunos casos, limpiaparedes para redireccionar el líquido que desciende sobre la superficie de la carcasa.

1.2.2 Sistemas de alimentación

Lograr el desempeño deseado de una torre requiere el manejo apropiado de todas las corrientes que ingresan a la columna. La alimentación puede clasificarse en cuatro categorías principales (Norton, 2001a):

- Sólo líquido, cuando contiene menos del 1% de vapor, en volumen
- Líquido y vapor sobre un lecho
- Sólo gas debajo de un lecho
- Retorno de un rehervidor.

Los criterios empleados en el diseño y selección del sistema de alimentación para cada categoría son diferentes.

La selección de los alimentadores de sólo líquido, los cuales actúan como predistribuidores, depende del tipo de distribuidor y de la variación de flujo requerida.

Para alimentadores de mezclas líquido-vapor la selección depende del tipo de distribuidor de líquido debajo de la alimentación, las velocidades de flujo, el tipo de alimento, la altura del lecho empacado requerido para la separación de las fases y el mezclado de éstas con las corrientes que internamente ascienden o descienden.

Para la escogencia de alimentadores de gas o vapor es indispensable tener en cuenta dos factores: la energía cinética y la composición del gas que ingresa. La energía cinética se considera en relación con la caída de presión en el lecho, la disposición de la boquilla de entrada y la separación

requerida. La composición del gas es importante cuando ingresa entre dos lechos, caso en el cual debe garantizarse una mezcla adecuada con la corriente interna de gas.

Para el retorno de rehervidores es necesario considerar, adicionalmente a los factores para la alimentación de sólo gas, el tipo de rehervidor.

1.2.3 Retenedores de empaque

La función principal de este constituyente es prevenir la expansión o fluidización del lecho empacado, así como mantener horizontal su superficie. El retenedor no debe interferir con los flujos en la columna, por lo que su área libre ha de ser muy elevada.

Existen dos constituyentes internos diseñados para evitar el desplazamiento del empaque: limitadores de lecho y platos de retención.

El limitador de lecho es el tipo más común, en especial para empaques de plástico y de metal susceptibles de ser fluidizados por su bajo peso. Este constituyente se fija a las paredes de la columna mediante ganchos o sujetadores.

Los platos de retención se emplean con empaques de cerámica o carbón, normalmente muy frágiles, con los cuales no debe permitirse ningún movimiento. Estos platos reposan sobre el lecho y actúan por su propio peso.

Un constituyente adicional, afín a los anteriores, son las barras antimigración, las cuales en realidad no evitan el desplazamiento de los empaques, sino que impiden que avancen hasta los elevadores de gas o los ductos de salida de la columna (Norton, 2001a).

1.2.4 Soportes de empaque

El propósito primario de este dispositivo es soportar el lecho sin ofrecer una restricción excesiva al flujo de las fases. También puede servir como distribuidor de las dos corrientes.

A menos que se efectúe una acertada selección del plato soporte, puede causarse la inundación prematura de la columna. El área libre del soporte debe ser tan alta como la del lecho empacado. Existen dos tipos básicos: a contracorriente y con pasos separados para cada fase.

Los criterios a considerar en la selección del soporte son:

- Tipo de empaque (estructurado o al azar)
- Material del empaque
- Características del proceso tales como corrosión y temperatura de operación.
- Carga máxima de diseño (profundidad del lecho, retención de líquido, peso del lecho y condiciones de flujo extremas, como las esperadas en eventos de emergencia).

1.2.5 Colectores de líquido

Los colectores de líquido son necesarios cuando debe retirarse una corriente lateral. Además, en columnas con empaques de alta eficiencia, desde el punto de vista técnico es recomendable, y aún exigible, instalarlos entre lechos, sobre cada distribuidor (Strigle, 1994; Branan, 1998).

El colector de líquido debe interrumpir el flujo de líquido sin bloquear el flujo ascendente. Una de sus funciones esenciales es lograr el mezclado efectivo del líquido antes de retirarlo o redistribuirlo, dado el desarrollo de importantes gradientes radiales de concentración.

1.2.6 Constituyentes internos especiales para servicios líquido-líquido

Las torres empacadas utilizadas para sistemas líquido-líquido, operadas a contracorriente, requieren constituyentes internos especiales con el fin de dispersar una de las fases. Su selección y arreglo depende de si la fase dispersa es la ligera o la pesada. En cualquier caso, para facilitar el control de la velocidad del alimento a dispersar se recomienda el uso de ductos ramificados, con diseño y orientación específicos. Es de extrema importancia alimentar apropiadamente la fase correspondiente.

Generalmente se recomienda dispersar la fase con la mayor velocidad de flujo para generar el máximo contacto interfacial. La excepción se presenta cuando la fase de mayor flujo volumétrico tiene la viscosidad más alta o mayor capacidad de humedecimiento del empaque.

Cuando es necesario dispersar la fase liviana, el plato soporte del empaque debe cumplir esta función. En tal caso esta fase forma una piscina debajo del plato, desde donde asciende a través de los orificios del soporte en forma de pequeñas gotas. Si se requiere dispersar la fase pesada, un tubo elevador permite a la fase ligera pasar a través del plato mientras la fase pesada genera una cabeza sobre el mismo y los orificios facilitan la formación de las gotas de líquido.

El diseño de este constituyente es función de la tensión superficial interfacial, así como de las diferencias de viscosidad y de densidad. En torres con múltiples lechos cumplen también el papel de redistribuidores.

1.3 EMPAQUES

El empaque constituye el elemento principal de esta clase de columnas. Por lo general un lecho empacado está formado por piezas discretas orientadas al azar, aunque para un creciente número de aplicaciones se utiliza empaque estructurado, que se coloca o ensambla cuidadosamente en la columna hasta alcanzar la altura necesaria. La selección del empaque es un paso clave en el diseño.

A continuación se establece la función del empaque, se describen los diversos tipos y se delinear algunos criterios para su selección.

1.3.1 Función

El empaque tiene como función ofrecer su superficie específica (que oscila entre 50 y 1000 m²/m³) como área humectable para favorecer el contacto entre las fases y así dinamizar los fluxes de transferencia entre las mismas. Debe procurarse una caída de presión tan baja como sea posible.

1.3.2. Tipos de empaque

Universalmente se clasifican los empaques, según su organización en un lecho, como empaques al azar y empaques estructurados.

a. Empaques al azar

En la evolución de los empaques al azar se reconocen tres generaciones, aunque recientemente se ha sugerido el inicio de una cuarta. La primera abarca los empaques de formas simples como los anillos Raschig y las monturas Berl, que dieron origen a los modernos empaques aleatorios. Estos precursores han sido superados en eficiencia y capacidad por los empaques modernos, por lo que solo se utilizan en algunas aplicaciones específicas.

La segunda generación comprende los empaques desarrollados desde finales de los años 50s hasta iniciados los 70s. Los anillos Pall y las monturas Intalox son los exponentes más notorios, y su uso en la industria moderna es aún bastante extendido.

La tercera generación incluye una multitud de geometrías diferentes, muchas evolucionadas a partir de las formas simples originales. En algunos casos su desarrollo obedece a aplicaciones específicas.

Una cuarta generación se considera conformada por empaques con diseños geométricos pensados para promover patrones de flujo determinados (tal como sucede con los empaques estructurados), más que para ofrecer mayor área de contacto o una estructura más abierta, aunque en muchos casos estas características también se cumplen.

En la Figura 1.2 se presenta una comparación entre empaques de diferentes generaciones en términos del factor de empaque y del área superficial específica.² El factor de empaque puede considerarse como una medida gruesa de la capacidad, mientras que el área superficial puede tomarse como una medida de la eficiencia para la transferencia de masa (Kister, 1992).

Material

La selección del material del empaque depende básicamente de la resistencia a la corrosión y del costo. A continuación se presentan algunos comentarios generales, así como ciertos criterios a considerar en la selección.

² Los datos de la gráfica son tomados de la recopilación realizada por el autor (apéndice A), y la forma de presentación es tomada de Kister (1992)

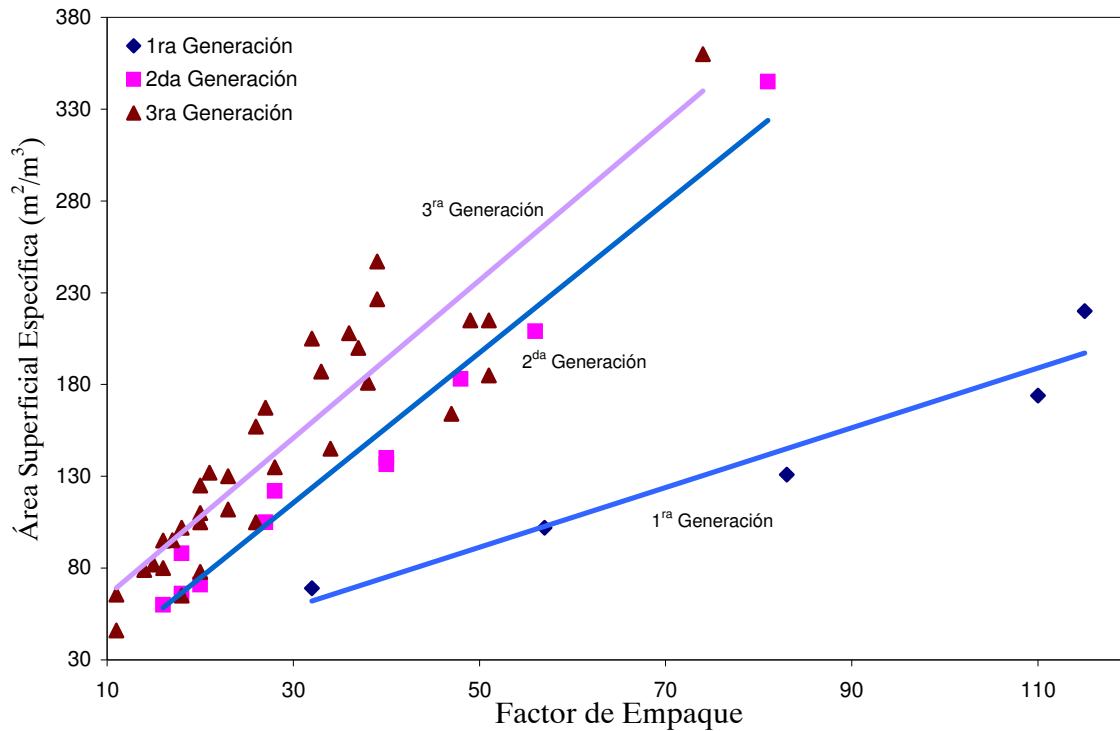


Figura 1.2 Comparación entre empaques al azar (Kister, 1992; datos del autor)

Metales: los empaques en metal, y en particular los de acero al carbono, constituyen usualmente la primera opción en servicios no corrosivos. Comparados con los de cerámica y los de plástico ofrecen mayor capacidad y eficiencia, amplia variedad de geometrías, gran flexibilidad para manejar cargas variadas (elevado turndown), resistencia a la ruptura y alta resistencia a la compresión (muy importante en el fondo del lecho). Los empaques en acero inoxidable cuestan entre tres y cinco veces más que en acero al carbono, en tanto que en otros metales y en aleaciones especiales son aún más costosos (aluminio, cobre, titanio, bronce, Monel, Hastelloy, Carpenter, Incoloy, Durimet e Illium en sus diferentes grados).

Cerámicas: los empaques en cerámica se emplean en servicios que requieren inercia química aún a elevadas temperaturas. Sin embargo, éstos han perdido campo de aplicación con el desarrollo de empaques plásticos de bajo costo. Los empaques cerámicos se rompen con facilidad, tienen baja capacidad y no están disponibles en muchas de las geometrías comunes. Son irremplazables, eso sí, en procesos altamente corrosivos, como por ejemplo, en servicios de ácido sulfúrico.

Plásticos: los empaques plásticos ofrecen bajas cargas en el fondo de la columna y buena resistencia química con muchos sistemas comunes. Con el desarrollo de nuevas formulaciones han desplazado a los empaques en cerámica, y se emplean de forma casi exclusiva en la remoción de contaminantes orgánicos de corrientes gaseosas y líquidas.

El polipropileno es económico y resulta una buena selección a temperaturas no muy elevadas. En la Tabla 1.2 se presenta la máxima temperatura de estabilidad a largo plazo para diferentes materiales

plásticos. En la práctica debe tenerse especial cuidado con la formación de puntos calientes que aceleren el deterioro del material. En el caso del polietileno no debe olvidarse que determinadas formulaciones promueven la formación de espuma en servicios alcalinos debido a la lixiviación de ciertos aditivos. Algunos solventes, la luz ultravioleta y las temperaturas muy bajas pueden degradar el plástico o volverlo demasiado frágil.

Una desventaja de los plásticos es su pobre humectabilidad. Mientras la naturaleza hidrofílica de las cerámicas y, en menor grado, de los metales, promueve la formación de una película de líquido sobre la superficie del empaque, aún a bajos flujos, el efecto hidrofóbico de los plásticos la dificulta. La formación de una película es aún más difícil en la etapa inicial de operación, por lo que pueden transcurrir varios días antes de lograr su estabilización, lo cual repercute en la eficiencia de la columna (Stichlmair y Fair, 1998).

Tabla 1.2 Temperatura máxima de operación y peso relativo al polipropileno para diferentes materiales plásticos (Jaeger, 2000c)

Material	T máx (°C)	Peso relativo
Cloruro de polivinilo (PVC)	60	1.50
Polietileno (PE)	70	1.02
Polipropileno (PP)	80	1.00
Cloruro de polivinilo clorado (CPVC)	100	1.74
Corzan™ (CPVC)	110	1.74
Polipropileno – Relleno de vidrio (10%) (PP-G)	100	1.17
Polipropileno – Relleno de vidrio (30%) (PP-G)	110	1.38
Noryl® (Polióxido de fenileno PPO)	110	1.24
Kynar® (Fluoruro de polivinilideno PVDF)	140	1.98
Halar® (Etileno-cloro-trifluoroetileno ECTFE)	145	1.86
Tefzel® (Etileno-trifluoroetileno ETFE)	180	1.93
Teflon® (Poliperfluoralcoxido PFA)	205	2.45
Tefzel® - Relleno de vidrio (25% Vidrio) (ETFE-G)	210	2.20

Carbón: los empaques en carbón se emplean solamente cuando los de cerámica y los de metal no son satisfactorios bajo las condiciones de corrosión del medio; por ejemplo, en la destilación de mezclas que contienen ácido fluorhídrico.

Llenado de la columna

Una columna se llena con empaque al azar en seco o en ambiente húmedo. En este último caso se inunda la columna con un líquido, usualmente agua, a través del cual se dejan caer las piezas de empaque, cuando su densidad así lo permite. La experiencia indica que con esta técnica, recomendada fundamentalmente con empaques en cerámica o en carbón, la densidad del lecho tiende a ser más uniforme, con lo cual se reduce el riesgo de la aparición prematura de fenómenos de acanalamiento. Cuando la columna se empaca en seco, debe evitarse la caída libre desde distancias que provoquen la deformación de las piezas o cualquier otra clase de daño.

La instalación de empaques plásticos puede realizarse con una simple operación de soplado, en la cual el empaque se lanza por medio de un sistema neumático hacia el interior de la columna.

La facilidad para vaciar y llenar una columna, condición usual en acciones de mantenimiento, constituye un factor adicional a considerar en la selección del material del empaque.

b. Empaques estructurados

En un empaque al azar es inevitable cierto grado de heterogeneidad en la densidad del lecho, lo cual afecta adversamente la posibilidad de conservar una adecuada distribución del líquido y, por lo tanto, unos fluxes de transferencia de masa apropiados. Por esta razón, durante años se han hecho intentos para desarrollar empaques con estructuras ordenadas.

Stedman fue el primero en diseñar un empaque estructurado. Luego se diseñaron otros en los cuales la idea era lograr una estructura de hoja enrollable sobre sí, concéntricamente, hasta ajustarla a la pared de la coraza. Sin embargo, estos primeros empaques, como el Panapak, nunca fueron de uso común.

La segunda generación de empaques estructurados se inició a finales de los 50s con empaques de malla de alambre de alta eficiencia, como el Goodloe y el Hyperfil. Éstos se hicieron muy populares en los años 70s en servicios de destilación a vacío. Sin embargo el costo elevado y la baja capacidad limitaron su aplicación.

Los hermanos Sulzer rompieron con lo realizado hasta entonces en empaques estructurados al desarrollar una hoja corrugada, que dio lugar a una tercera generación, cuyo uso ha crecido desde la década de los 80s.

Un tipo particular de empaque estructurado, que se clasifica con frecuencia en un grupo especial, es la grilla o la rejilla. Las rejillas de madera, de metal y de plástico se han preferido durante mucho tiempo en torres de enfriamiento, aunque también se emplean en destilación y absorción. La primera grilla moderna fue la Glitsch-C-grid®, desarrollada a inicios de los 60s para aprovechar la hoja de metal residual que provenía de la fabricación de válvulas para platos. Las grillas modernas se fabrican con la intención de mejorar características como área libre, capacidad, resistencia a la obstrucción y al taponamiento y caída de presión. La eficiencia de las grillas es considerablemente más baja comparada con la de los otros empaques estructurados y aún con la de los empaques al azar de generaciones recientes. Las grillas se emplean principalmente para la transferencia directa de calor y en operaciones de despojamiento.

1.3.3 Selección de empaques

La Figura 1.3 compara los empaques, al azar y estructurados, de manera análoga a lo presentado para empaques al azar de diferentes generaciones en la Figura 1.2. A una capacidad dada, los empaques estructurados ofrecen mayor área superficial específica y por consiguiente mayor eficiencia. De igual forma, dada una eficiencia (igual área superficial específica) el factor de empaque de los empaques estructurados es menor, lo que corresponde a una mayor capacidad.

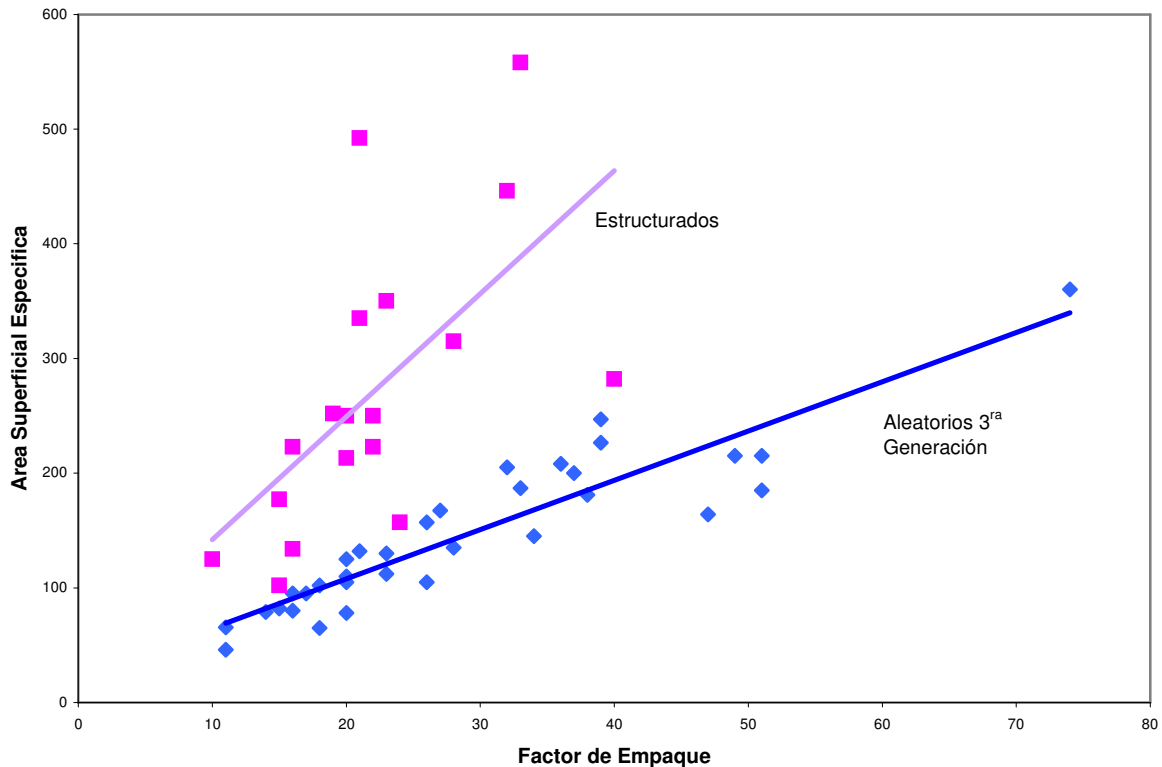


Figura 1.3 Comparación entre empaques al azar y estructurados (Kister, 1992; datos del autor)

En general los empaques estructurados tienen mayores eficiencia y capacidad y presentan menor caída de presión por plato teórico que los empaques al azar. Sin embargo, la eficiencia y la capacidad de los empaques estructurados disminuyen rápidamente al aumentar la presión o la velocidad de líquido, con lo cual se reduce su ventaja sobre los empaques al azar (Kister, 1992).

Cuando se requiere manejar fluidos con sólidos que tienden a formar depósitos, no es aconsejable el uso de empaques estructurados. En sistemas corrosivos u oxidantes el material de los empaques en hoja corrugada debe ser muy bien seleccionado, ya que típicamente se fabrican en láminas con calibres entre 30 (0.254 mm) y 20 (0.79375 mm), por debajo del espesor normal de tolerancia a la corrosión (3 mm). Además debe tenerse en cuenta el alto costo de los empaques estructurados, 3 a 10 veces mayor que el de los empaques al azar de 2 pulgadas (Kister, 1992), aún cuando el costo de operación, en particular para servicios a vacío, es mucho menor y puede conseguirse una reducción en el costo inicial por la simplificación de los equipos auxiliares (condensadores, compresores o bombas de vacío).

A continuación se presenta una lista de criterios a considerar en la evaluación y selección de empaques (Kister, 1992):

- Elevada área superficial específica; esto es, elevada área superficial por unidad de volumen de lecho empacado.

- Distribución uniforme del área superficial.³
- Geometría tal que promueva la distribución uniforme de las fases.⁴
- Baja retención estática, dado que el líquido estancado contribuye muy poco a la transferencia de masa y desperdicia superficie del empaque.
- Máxima superficie humectable, debido a que sólo el área humedecida es efectiva para la transferencia de masa.
- Alta fracción vacía, con el propósito de reducir la resistencia al flujo.
- Baja fricción, lo cual se promueve con una estructura abierta y aerodinámica.
- Resistencia baja y uniforme al flujo a través del lecho, lo cual depende de la geometría del empaque y de la homogeneidad en la porosidad del lecho.
- Forma tal que induzca turbulencia para favorecer los fenómenos de transferencia.
- Fácil separación de las fases, condición especialmente importante en servicios a elevada presión y altas velocidades de flujo.
- Capacidad para manejar variadas cargas de líquido y de gas, sin cambios significativos en la eficiencia.
- Resistencia a la deformación mecánica y al rompimiento.
- Inercia química frente a las sustancias con las cuales se trabaja, bajo las condiciones de operación.
- Resistencia apropiada a las temperaturas de operación y, en especial, a los choques térmicos.
- Peso liviano, para lograr un mínimo empuje lateral y fácil manipulación.
- Bajo costo.

1.3.4 Modelamiento

Debido al gran número de dimensiones geométricas involucradas en la estructura real de un lecho empacado, su modelamiento matemático resulta demasiado complejo. Por esta razón se ha intentado sustituir la estructura compleja por otras más simples, con la misma área específica e igual porosidad.

Se han propuesto dos modelos para representar la estructura de un lecho empacado: el modelo de partícula y el modelo de canal.

a. Modelo de Partícula

El empaque real se sustituye por un conjunto de partículas sólidas esféricas. Así, el empaque puede tratarse como una fase dispersa, dado que a porosidades altas ($\varepsilon > 0.45$) las esferas no se tocan unas a otras. La relación entre la porosidad y el diámetro de partícula es:

$$1 - \varepsilon = \frac{V_p}{V} = \frac{N(d_p)^3 \pi / 6}{V}, \quad \text{Ec. 1.1}$$

³ Por ejemplo los anillos Raschig y los anillos Pall del mismo tamaño tienen igual área superficial por unidad de volumen, pero los anillos Pall tienen una distribución de área superior y por consiguiente son más eficientes.

⁴ En empaques al azar se busca reducir la posibilidad de anidamiento e interbloqueo de las piezas.

donde N es el número de esferas y V es el volumen del lecho.

El área superficial específica del lecho de esferas es:

$$a_p = \frac{A_s}{V} = \frac{N(d_p)^2 \pi}{V} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Al despejar d_p de las dos expresiones anteriores se tiene:

$$d_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p}, \quad \text{Ec. 1.3}$$

ecuación en la cual d_p corresponde al diámetro equivalente de la fracción sólida del lecho.

Un parámetro de caracterización empleado para empaques al azar, denominado esfericidad, relaciona el área superficial de una esfera con el mismo volumen de la pieza de empaque con el área superficial real de la pieza (Larachi, 2003):

$$\phi = \left[\frac{6(1-\varepsilon)}{\pi N} \right]^{2/3} \left[\frac{\pi N}{a_p} \right] \quad \text{Ec. 1.4}$$

b. Modelo de Canal

En este caso el empaque real se reemplaza por un sistema de canales o lecho de tubos con un diámetro equivalente, d_{eq} , seleccionado de forma tal que la porosidad y el área superficial específica correspondan a los mismos valores del empaque real (Billet, 1995). Para la porosidad se tiene que:

$$\varepsilon = \frac{V_F}{V} = \frac{NZ(d_{eq})^2 \pi / 4}{V}, \quad \text{Ec. 1.5}$$

donde N es el número de canales. El área superficial específica es:

$$a_p = \frac{A_s}{V} = \frac{NZd_{eq}\pi}{V} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Si se relacionan estas dos ecuaciones se obtiene la siguiente expresión para el diámetro equivalente:

$$d_{eq} = \frac{4\varepsilon}{a_p} \quad \text{Ec. 1.7}$$

d_{eq} es el diámetro equivalente de la fracción libre del lecho. Las definiciones y el significado de d_p y d_{eq} son totalmente diferentes y no deben confundirse. El diámetro equivalente del canal puede expresarse en función del diámetro de partícula, d_p , como:

$$d_{eq} = \frac{2}{3} \frac{\epsilon}{1-\epsilon} d_p, \quad \text{Ec. 1.8}$$

aunque con frecuencia no se considera el factor 2/3. (Stichlmair y Fair, 1998).

2. HIDRÁULICA DE LECHOS EMPACADOS

Un lecho empacado, a través del cual usualmente fluyen a contracorriente una fase líquida y una gaseosa, facilita el contacto requerido para la transferencia de masa y de calor. La presencia de elementos de empaque en la torre aumenta el área interfacial y provee una resistencia al flujo mayor que la que se presentaría en una coraza vacía.

2.1 FLUJO DE UNA SOLA FASE

Si solamente una fase, líquida o gaseosa, fluye a través del lecho empacado, el sistema puede tratarse con base en la teoría de flujo de fluidos a través de lechos de sólidos granulares.

Cuando un gas o un líquido fluye a través de un lecho, es forzado a seguir una serie de canales irregulares formados por los intersticios entre las partículas sólidas que lo conforman. La caída de presión depende del tamaño y el arreglo de estas últimas, así como de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. A velocidades suficientemente bajas la caída de presión, ΔP_d , es proporcional a la velocidad, como lo expresa la ecuación de Darcy para agua que fluye en un lecho de arena:

$$u = \frac{K\Delta P_d}{Z}, \quad \text{Ec. 2.1}$$

donde u es la velocidad determinada sobre la sección transversal total del lecho y K es una constante, llamada coeficiente de permeabilidad del lecho.

Diámetros de partícula y flujos bajos conducen a números de Reynolds característicos de flujo laminar, condición bajo la cual la pérdida de forma debida al arrastre, medida en términos de un coeficiente de arrastre, contribuye con casi toda la caída de presión, ya que las pérdidas de energía cinética son muy pequeñas. Este coeficiente de arrastre es inversamente proporcional al número de Reynolds.

La relación lineal entre la caída de presión y la velocidad es análoga a la ecuación de Poiseuille para el flujo en un tubo vacío:

$$\Delta P_d = \frac{32\mu Zu}{g_c d^2} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Una forma modificada de esta ecuación puede aplicarse al flujo en un lecho de partículas sólidas, si se supone que la velocidad en los intersticios, u_{eq} , es igual a u/ε , que la distancia recorrida por el fluido es proporcional a la profundidad del lecho, y el diámetro equivalente de los pasajes en el lecho se determina como se explicó para el modelo de canal (Ec. 1.7). La expresión que se obtiene con las anteriores consideraciones es (Kozeny, 1927):

$$\frac{\Delta P_d}{Z} = \frac{K' \mu u_{eq}}{g_c d_{eq}^2} = \frac{K \mu u a_p^2}{g_c \varepsilon^3} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Carman (Carman, 1938) comparó la caída de presión predicha con esta ecuación con la determinada experimentalmente para el flujo a través de lechos empacados, y demostró que se logra un buen ajuste cuando el es flujo laminar ($Re < 2$), con el número de Reynolds calculado como:

$$Re = \frac{u \rho}{\mu a_p} \quad \text{Ec. 2.4}$$

A números de Reynolds más altos se presenta una transición gradual hacia el flujo turbulento pleno, caso último en el cual la caída de presión es proporcional a la velocidad elevada a una potencia entre 1.8 y 2. Para Reynolds entre 0.01 y 10000 los datos experimentales se ajustan a la expresión:

$$\frac{\Delta P_d g_c \varepsilon^3}{Z \rho u^2 a_p} = 5 \left(\frac{u \rho}{\mu a_p} \right)^{-1} + 0.4 \left(\frac{u \rho}{\mu a_p} \right)^{-0.1}, \quad \text{Ec. 2.5}$$

en la que se desprecia el segundo término si el régimen es laminar y el primero si es turbulento (Norman, 1961).

La anterior expresión representa los datos para lechos de partículas esféricas o redondeadas y también para monturas Berl y alambre en espiral. La fracción vacía de estos lechos se encuentra entre 0.3¹ y 0.9.

En régimen turbulento la caída de presión en un tubo vacío de longitud Z viene dada por (Norman, 1961):

$$\frac{\Delta P_d}{Z} = \frac{\zeta \rho u^2}{2d} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Al reemplazar en ésta el término de velocidad por la velocidad del fluido en el canal $u_{eq} = u/\varepsilon$ y el diámetro por el diámetro equivalente (Ec. 1.7), se obtiene la expresión de Burke y Plummer:

$$\frac{\Delta P_d}{Z} = \frac{\zeta \rho u^2 a_p}{8 \varepsilon^3} \quad \text{Ec. 2.7}$$

¹ Una fracción vacía de este orden supone la presencia de partículas esféricas de diferente tamaño en el lecho.

Ergun (1952) combinó las expresiones de Carman-Kozeny (Ec. 2.3) y de Burke y Plummer, consideró en ellas el diámetro equivalente del canal en función del diámetro de partícula, tal como se mostró anteriormente (Ec. 1.8), y obtuvo una expresión válida para todo número de Reynolds:

$$\frac{\Delta P_d}{Z} = \zeta_{E1} \left(\frac{1-\varepsilon}{d_p} \right)^2 \frac{\mu u}{\varepsilon^3} + \zeta_{E2} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{\rho u^2}{d_p} \quad \text{Ec. 2.8}$$

ζ_{E1} y ζ_{E2} son factores de fricción definidos por Ergun.

Con base en el modelo de partícula, Stichlmair (Stichlmair, 1988) desarrolló una expresión similar para la caída de presión en un lecho empacado, para el flujo turbulento de un gas:

$$\frac{\Delta P_d}{Z} = \frac{3}{4} \zeta_0 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^{4.65}} \frac{\rho_G u_G^2}{d_p}, \quad \text{Ec. 2.9}$$

en la cual ζ_0 es un factor de fricción definido como:

$$\zeta_0 = \frac{C_1}{\text{Re}} + \frac{C_2}{\text{Re}^{1/2}} + C_3, \quad \text{Ec. 2.10}$$

donde C_1 , C_2 y C_3 son constantes para cada tipo de empaque y el número de Reynolds se expresa como:

$$\text{Re} = \frac{u d_p \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Otra forma útil del factor de fricción es:

$$\zeta_0 \propto \text{Re}^c \quad \text{Ec. 2.12}$$

c oscila entre -1 para flujo laminar y 0 para flujo turbulento pleno y se calcula como:

$$c = \frac{1}{\zeta_0} \left(-\frac{C_1}{\text{Re}} - \frac{C_2}{2\text{Re}^{1/2}} \right) \quad \text{Ec. 2.13}$$

2.2 FLUJO DE DOS FASES

La hidráulica del flujo de dos fases en torres empacadas puede abordarse de diferentes formas. Una primera aproximación es considerarlo como una extensión del flujo en una sola fase presentado en la sección anterior. También puede abordarse como una modificación al flujo de dos fases en

tuberías o como una combinación de las dos. Una opción más reciente, especialmente para el flujo a través de empaques estructurados, consiste en el modelamiento de los caminos de flujo para ambas fases y en la solución de las expresiones de transporte de cantidad de movimiento a microescala y posterior evaluación de los fenómenos presentes en meso y macroescala por medio de técnicas de fluido-dinámica computacional (CFD).

2.2.1 Regímenes de Flujo

En una torre empacada que opera a contracorriente pueden identificarse diferentes regímenes de operación. Kister (Kister, 1990; Kister, 1992) presenta los siguientes regímenes de flujo con relación a la gráfica velocidad del gas en función de la caída de presión (Figura 2.1):

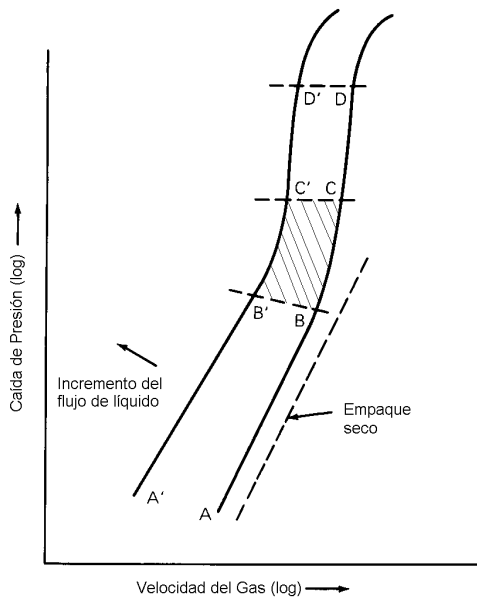


Figura 2.1 Curva característica de caída de presión.
(Adaptada de Kister, 1990; y Fair, 1997)

a. Régimen de carga insuficiente (*Turndown maldistribución*)

A bajas velocidades de líquido, la torre se comporta esencialmente como si el empaque estuviera seco; esto es, la caída de presión en la columna es casi la misma que en el flujo de una sola fase (región a la derecha de A). Por supuesto, no se logra una distribución adecuada del líquido sobre el empaque, ni el humedecimiento total de su superficie. Adicionalmente, como muestran Stichlmair y Fair (Stichlmair y Fair, 1998), la región de operación del distribuidor de líquido es mucho menor que la del empaque, Figura 2.2, con lo cual se restringe el intervalo de operabilidad de la torre. También se ha establecido que existe una velocidad mínima de flujo de líquido, por debajo de la cual la película de líquido no es estable, y por consiguiente la eficiencia de transferencia de masa es muy baja.

b. Régimen de precarga

La mayoría de los empaques se diseñan para operar en esta región, en la cual la eficiencia de la columna es independiente de la velocidad de flujo del gas, y la caída de presión se incrementa uniformemente con la misma (región entre A-B y A'-B').

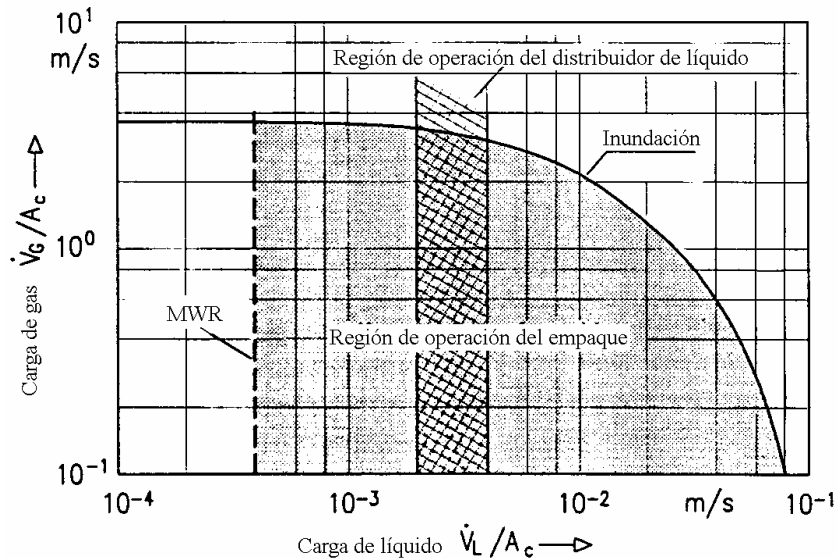


Figura 2.2 Región de operación de una torre empacada (Stichlmair, 1998)

c. Régimen de carga

Cuando las columnas operan bajo este régimen (región sombreada entre B-C y B'-C') alcanzan la máxima eficiencia; sin embargo se recomienda diseñar con las debidas precauciones, ya que algunas formas de inestabilidad podrían conducir fácilmente a la condición de inundación, dada la vecindad existente entre estos dos regímenes.

d. Régimen de inundación

Esta región se caracteriza por la inestabilidad, la conversión del líquido en la fase continua, el arrastre excesivo de líquido por el gas ascendente y una pobre eficiencia. Se considera el límite superior de operación de la columna. (línea C-C' hacia arriba).

Adicionalmente se ha reportado (Kister, 1990; Kister, 1992) la existencia de un punto de operación estable por encima de la región de inundación (línea D-D'), en el cual la torre opera básicamente como una columna de burbujeo. Sin embargo, este punto es de poco interés práctico.

2.2.2 Caída de Presión

Este es uno de los parámetros más empleados para especificar la capacidad de una torre empacada. En particular la caída de presión del fluido ascendente (generalmente gas o vapor) se considera como el parámetro más importante del flujo en dos fases.

La caída de presión puede determinarse mediante correlaciones empíricas o modelos teóricos del flujo de dos fases en lechos empacados.

a. Modelo de Canal

La caída de presión para el flujo de dos fases puede relacionarse con la que corresponde al flujo de una sola fase por medio de la siguiente expresión (Stichlmair y Fair, 1998):

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{\Delta P_d}{Z} \frac{1}{(1 - C_H h_L)^5} \quad \text{Ec. 2.14}$$

En ésta, C_H es un factor característico para cada tipo de empaque. Al reemplazar el término $\Delta P/Z$ según la Ec. 2.7 se obtiene que:

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{1}{4} \zeta_o \frac{\rho_G u_G^2 a_P}{2\varepsilon^3} \frac{1}{(1 - C_H h_L)^5} \quad \text{Ec. 2.15}$$

El modelo de Bravo-Rocha-Fair para empaques estructurados se fundamenta en esta expresión. La ecuación final para determinar la caída de presión es (Fair *et al*, 1990):

$$\Delta P = \left[0.171 + \left(\frac{92.7}{\text{Re}_G} \right) \right] \left(\frac{\rho_G u_{G,eq}^2}{S} \right) \left[\frac{1}{1 - C_o \text{Fr}_L^{0.05}} \right]^5 \quad \text{Ec. 2.16}$$

Fair (Fair *et al*, 1999) recomienda esta expresión para empaques de hoja metálica corrugada, caso en el cual el número de Reynolds debe evaluarse así:

$$\text{Re}_G = \frac{S u_{G,eq} \rho_G}{\mu_G} \quad \text{Ec. 2.17}$$

En las ecuaciones anteriores $u_{G,eq}$ y Fr_L se determinan por las expresiones:

$$u_{G,eq} = \frac{u_G}{\varepsilon \sin \theta}, \quad \text{Ec. 2.18}$$

y

$$\text{Fr}_L = \frac{u_L}{Sg} \quad \text{Ec. 2.19}$$

S es la longitud del lado de corrugación característica del empaque y θ es el ángulo de corrugación medido desde la horizontal. (Figura 2.3).

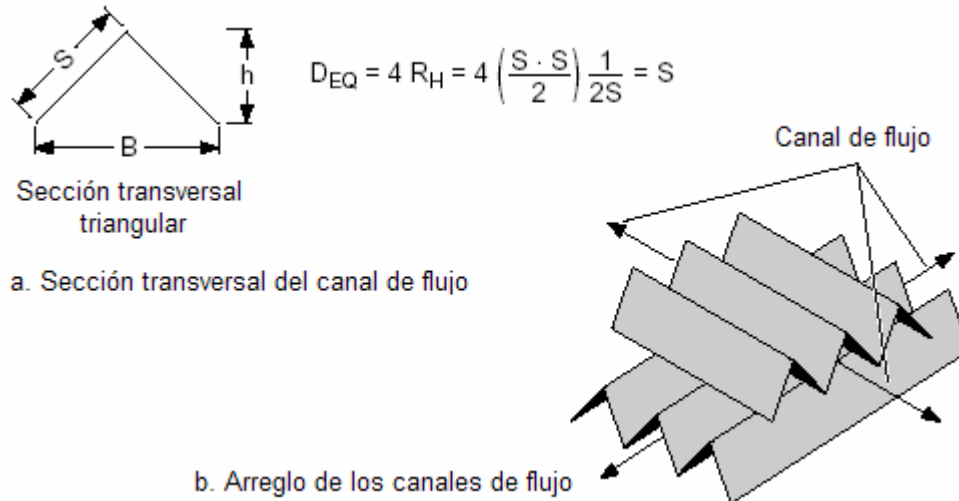


Figura 2.3 Geometría típica de empaques estructurados

Billet y Schultes (Billet, 1995) proponen la relación

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{\Delta P_d}{Z} \frac{\zeta_L}{\zeta_o} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - h_L} \right)^3, \quad \text{Ec. 2.20}$$

expresión que se obtiene al considerar la retención de líquido, h_L , como material sólido adicional. Con ello se corrige la inconsistencia, desde el punto de vista teórico, que presenta la ecuación 2.15, en donde la fracción volumétrica de material sólido, $1 - \varepsilon$, no influye de igual forma que la retención de líquido sobre la caída de presión (Stichlmair y Fair, 1998).

Para determinar los factores de fricción involucrados en la Ec. 2.20, Billet propone las expresiones que se presentan a continuación:

$$\zeta_o = C_p \left(\frac{64}{\text{Re}} + \frac{1.8}{\text{Re}_G^{0.08}} \right) \quad \text{Ec. 2.21}$$

y

$$\zeta_L = W \zeta_o \left(\frac{\varepsilon - h_L}{\varepsilon} \right)^{1.5}, \quad \text{Ec. 2.22}$$

en donde el número de Reynolds debe evaluarse así:

$$\text{Re}_G = \frac{u_G d_p \rho_G}{(1 - \varepsilon) \mu_G} \left(1 + \frac{4}{a_p D_c} \right) \quad \text{Ec. 2.23}$$

C_p es una constante para cada tipo de empaque y W es una medida del humedecimiento que se calcula como:

$$W = \left[1 + 1.2 \left(\frac{u_G}{u_{G,Fl}} \right)^{13} \right]^{0.3} \exp\left(\frac{Re_L}{200} \right), \quad \text{Ec. 2.24}$$

para la cual el número de Reynolds es:

$$Re_L = \frac{u_L \rho_L}{a_p \mu_L} \quad \text{Ec. 2.25}$$

b. Modelo de Partícula

Dado que el número de partículas en el lecho se conserva cuando se opera con dos fases, la caída de presión puede calcularse por medio de la Ecuación 2.9 (flujo de una sola fase), a condición de reemplazar la porosidad, ε , por ε_{irr} , según la expresión

$$\varepsilon_{irr} = \varepsilon \left(1 - \frac{h_L}{\varepsilon} \right), \quad \text{Ec. 2.26}$$

y el diámetro de las partículas, d_p , por $d_{p,irr}$, que se determina así:

$$d_{p,irr} = d_p \left(\frac{1 - \varepsilon \left(1 - \frac{h_L}{\varepsilon} \right)}{1 - \varepsilon} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Como el factor de fricción es función del número de Reynolds (Ec. 2.12) y éste del diámetro de las partículas (Ec. 2.11) se tiene que:

$$\frac{\zeta_{0,irr}}{\zeta_0} = \left(\frac{Re_{irr}}{Re} \right)^c = \left(\frac{d_{p,irr}}{d_p} \right)^c, \quad \text{Ec. 2.28}$$

de donde:

$$\zeta_{0,irr} = \zeta_0 \left(\frac{1 - \varepsilon \left(1 - \frac{h_L}{\varepsilon} \right)}{1 - \varepsilon} \right)^{c/3} \quad \text{Ec. 2.29}$$

En consecuencia, la expresión para la caída de presión es análoga a la encontrada para el flujo de una sola fase (Ec. 2.9):

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{3}{4} \zeta_{0_{irr}} \frac{1 - \varepsilon_{irr}}{\varepsilon_{irr}^{4.65}} \frac{\rho_G u_G^2}{d_{P_{irr}}} \quad \text{Ec. 2.30}$$

Al relacionar la caída de presión para el flujo en contracorriente de dos fases con la caída de presión para el flujo de una sola fase, resulta:

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_d} = \left\{ \frac{1 - \varepsilon \left(1 - \frac{h_L}{\varepsilon} \right)}{1 - \varepsilon} \right\}^{(2+c)/3} \left(1 - \frac{h_L}{\varepsilon} \right)^{-4.65} \quad \text{Ec. 2.31}$$

A elevadas cargas de líquido en la Ec. 2.30 u_G se reemplaza por $u_{G_{irr}}$, según:

$$\frac{u_{G_{irr}}}{u_G} = 1 + \frac{u_L}{u_G} \frac{\varepsilon}{h_L} \quad \text{Ec. 2.32}$$

c. Correlación Generalizada de Caída de Presión.

Leva (Leva, 1947a; Leva y Grummer, 1947) estudia la caída de presión en tubos empacados y correlaciona los datos experimentales con los modelos utilizados para describir el flujo en tubos vacíos. Posteriormente (Leva, 1954) introduce una familia de curvas de caída de presión constante a la carta de inundación de Sherwood (ver Figura 2.7). Eckert (Eckert, 1961; Eckert, 1963; Eckert *et al*, 1966; y Eckert, 1970), por su parte, realiza algunas modificaciones a la correlación generalizada de caída de presión de Leva para ajustar mejor los datos experimentales obtenidos con empaques al azar de segunda generación. La versión de la carta de Eckert de 1975 fue por varias décadas el estándar de la industria para predecir la caída de presión en columnas con empaques al azar (Figura 2.4).

En la representación gráfica de la Correlación Generalizada de Caída de Presión (GPDC), la abscisa corresponde al inverso del parámetro de Lockhart-Martinelli:

$$\mathcal{X} = \frac{L}{G} \left[\frac{\rho_G}{\rho_L} \right]^{0.5} = \frac{u_L}{u_G} \left[\frac{\rho_L}{\rho_G} \right]^{0.5} \quad \text{Ec. 2.33}$$

La literatura de refiere a éste como “parámetro de Lockhart-Martinelli modificado” o, simplemente, como parámetro de flujo.

Prahl (Prahl, 1969) linealiza la carta GPDC, con lo que se facilita la solución aritmética de la caída de presión:

$$\Delta P = \frac{Y(14\chi + 6)}{1 - Y(35\chi + 3)}, \quad \text{Ec. 2.34}$$

en la cual ΔP está en pulgadas de agua / pie, e Y es la ordenada de la carta de Eckert (Eckert, 1963),

$$Y = \frac{G^2 F_p \Psi \mu^{0.2}}{\rho_G \rho_L g_c}, \quad \text{Ec. 2.35}$$

donde, a su vez, Ψ es el recíproco de la gravedad específica del líquido. Prahl critica el carácter de “generalizada” atribuido a la carta y propone determinar las constantes de la Ec. 2.34, para cada tipo de empaque, a partir de datos experimentales.

Al regresar las curvas de la carta de Eckert ² (1975) se obtiene el polinomio:

$$\log(Y) = a_0 \log^3(\chi') + a_1 \log^2(\chi') + a_2 \log(\chi') + a_3, \quad \text{Ec. 2.36}$$

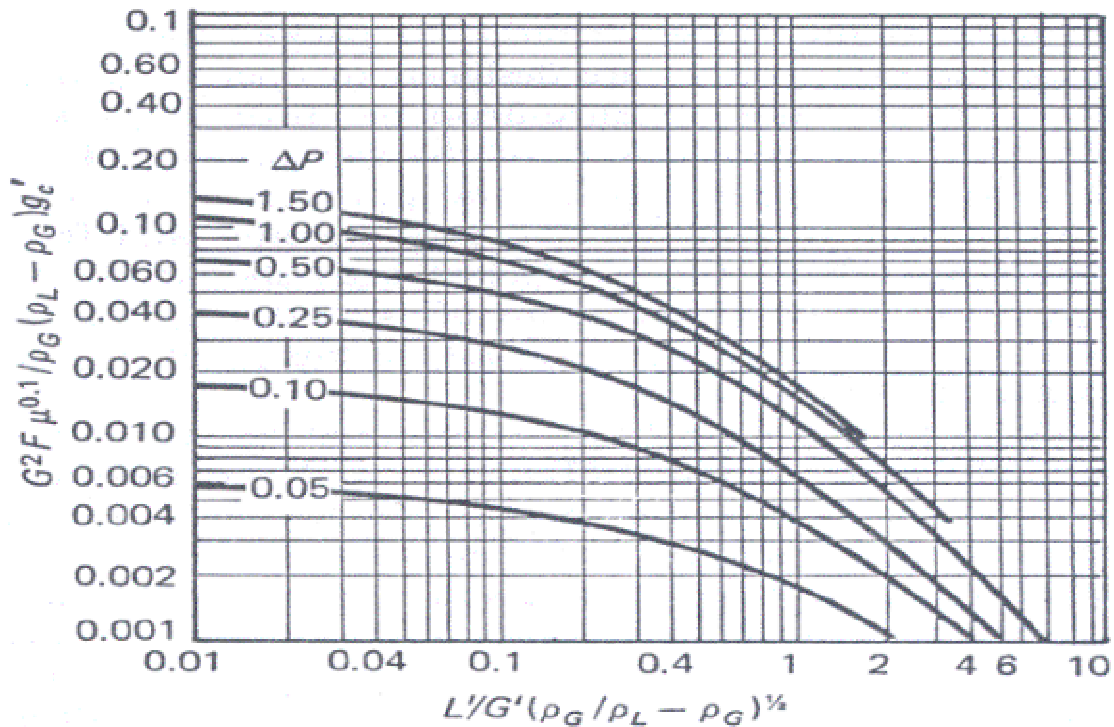


Figura 2.4 Última versión de la GPDC por Eckert (1975)

² Desarrollo propuesto por el autor de este Proyecto. Para cada una de las curvas de la gráfica de Eckert se procedió a medir la ordenada, en mm, para diferentes valores de la abscisa. Estos valores fueron convertidos a la escala correspondiente de la ordenada. Las constantes del polinomio se ajustan para reducir el error entre los valores medidos y los que se predicen.

en el cual las constantes a_j se calculan en función de la caída de presión así:

$$a_j = k_0^j (\Delta P)^3 + k_1^j (\Delta P)^2 + k_2^j (\Delta P) + k_3^j + \frac{k_4^j}{(\Delta P)^2} + \frac{k_5^j}{(\Delta P)} \quad \text{Ec. 2.37}$$

y χ' es una modificación al parámetro de flujo χ definida como:

$$\chi' = \frac{L}{G} \left[\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right]^{0.5} \quad \text{Ec. 2.38}$$

Los valores de las constantes k_i^j se presentan en la Tabla 2.1. ΔP se debe expresar en pulgadas de agua / pie.

Tabla 2.1 Constantes a emplear en la Ec. 2.37

	a_0	a_1	a_2	a_3
k_0	-4.7224E-02	-1.2098E-01	2.3926E-01	9.1663E-01
k_1	1.0408E-01	1.8641E-01	-9.1801E-01	-2.9383
k_2	-9.7556E-02	-1.0110E-01	9.5742E-01	3.1226
k_3	-2.4827E-02	-3.9571E-01	-1.3337	-2.9461
k_4	-1.3680E-04	-5.6836E-04	-1.4348E-03	-2.3217E-03
k_5	5.4765E-04	1.3970E-02	6.0144E-02	4.9807E-02

La validez de esta expresión está restringida al intervalo empleado en la gráfica de Eckert: la caída de presión entre 0.05 y 1.5 pulgadas de agua por pie, y χ' entre 0.01 y 8.0.

Strigle (Strigle, 1994) cambia la escala logarítmica por una semilogarítmica para facilitar los procedimientos de interpolación en la carta de Eckert. Kister y Gill (Kister y Gill, 1991) realizan una modificación más reciente con el fin de ajustar los datos correspondientes a los empaques estructurados, razón por la cual el mismo Kister (Kister, 1992) recomienda no emplear esta versión de la carta para empaques al azar, ya que los resultados pueden ser demasiado optimistas.

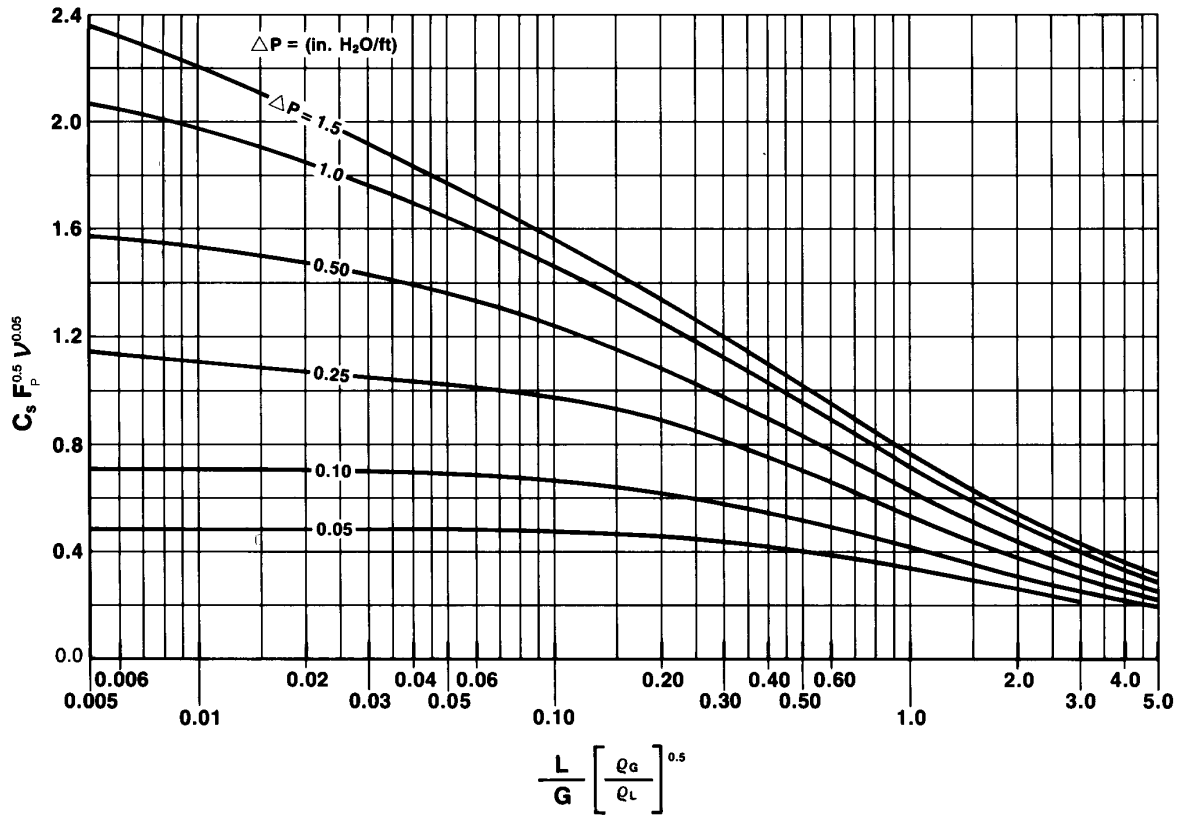


Figura 2.5 Correlación generalizada de caída de presión por Strigle (1994).

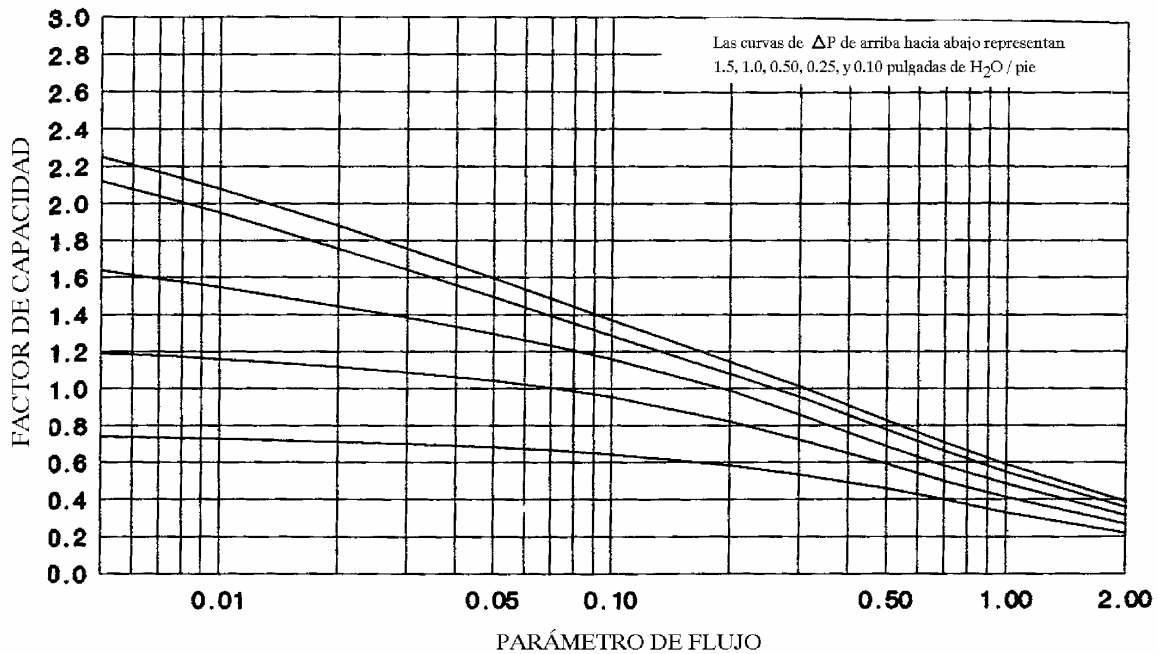


Figura 2.6 GPDC por Kister y Gill (1991) para empaques estructurados.

En la carta de Strigle el factor de capacidad, C_s , está definido por:

$$C_s = u_G \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{1/2}. \quad \text{Ec. 2.39}$$

u_G en ft/s y ν , la viscosidad cinemática, en cSt.

d. Correlación de Robbins

Robbins (Robbins, 1992), sobre la base de un trabajo original de Leva (1954), desarrolla una correlación alternativa en la cual la caída total de presión es el resultado de dos contribuciones: la caída de presión que tendría el gas si no hubiera flujo de líquido,

$$\Delta P_d = 7.4 \times 10^{-8} G_f^2 10^{2.7 \times 10^{-5} L_f}, \quad \text{Ec. 2.40}$$

y la caída de presión debida a la presencia de líquido en la columna:

$$\Delta P_L = 0.4 \left[\frac{L_f}{20000} \right]^{0.1} \left[7.4 \times 10^{-8} G_f^2 10^{2.7 \times 10^{-5} L_f} \right]^4 \quad \text{Ec. 2.41}$$

Así, la caída total de presión es:

$$\Delta P_T = \Delta P_d + \Delta P_L, \quad \text{Ec. 2.42}$$

en donde los parámetros de flujo, G_f y L_f , se evalúan de la siguiente forma³:

$$G_f = 986 u_G \rho_G^{0.5} \left(\frac{F_{Pd}}{20} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. 2.43}$$

$$L_f = L \left(\frac{62.4}{\rho_L} \right) \left(\frac{F_{Pd}}{20} \right)^{0.5} \mu_L^{0.1} \quad \text{Ec. 2.44}$$

Para presiones de operación por encima de la atmosférica se recomienda calcular G_f como:

$$G_f = 986 u_G \rho_G^{0.5} \left(\frac{F_{Pd}}{20} \right)^{0.5} 10^{0.3} \rho_G \quad \text{Ec. 2.45}$$

³ Las Ecs. 2.43 a 2.46 son tomadas textualmente del artículo original de Robbins y verificadas con las que recoge Fair *et al*, en *Perry's Chemical Engineers' Handbook* 7th Edition, Section 14 (Ecs. 14-155 a 14-159). Por otra parte, la estrecha correspondencia entre los valores de la caída de presión calculados con Hysys[®] y con un_HydrauliPack sugiere que en el simulador comercial se utiliza el mismo juego de ecuaciones.

y para factores de empaque menores que 15, L_f debe determinarse así:

$$L_f = L \left(\frac{62.4}{\rho_L} \right) \left(\frac{20}{F_{Pd}} \right)^{0.5} \mu_L^{0.1} \quad \text{Ec. 2.46}$$

Expresiones en las cuales todas las variables deben expresarse en sistema inglés de ingeniería y ΔP en pulgadas de agua / pie.

e. Correlación de Piché *et al.*

Con base en redes neuronales y análisis dimensional (ANN-DA) Piché (Piche *et al.*, 2001c) desarrolla una correlación a partir de la información experimental reportada en la literatura abierta durante los últimos 70 años. Con este propósito ingresa a la red una serie de grupos adimensionales, empleados frecuentemente para evaluar la hidráulica de lechos empacados, y otros factores que caracterizan las propiedades del empaque.

La red desarrollada está conformada por 12 neuronas ocultas, siete grupos de entrada ($Re_G, Ga_G, Re_L, Ga_L, St_L, S_B$ y χ) y un parámetro de salida. Las Ecs. 2.11 y 2.25 definen los números de Reynolds para gas y líquido, respectivamente, y el parámetro de flujo, χ , se define en la ecuación 2.33, mientras que las expresiones para los demás grupos son:

$$Ga_G = \frac{g \rho_G^2}{a_p^3 \mu_G^2}, \quad \text{Ec. 2.47}$$

$$Ga_L = \frac{g \rho_L^2 d_p^3}{\mu_L^2}, \quad \text{Ec. 2.48}$$

$$St_L = \frac{\mu_L u_L a_p^2}{\rho_L g}, \quad \text{Ec. 2.49}$$

y

$$S_B = \frac{a_p d_h}{1 - \varepsilon} + \frac{4 d_h}{D_C (1 - \varepsilon)} \quad \text{Ec. 2.50}$$

El parámetro de salida generado es:

$$\zeta_{LGG} = \frac{\Delta P}{Z} \frac{d_h}{\rho_G u_G^2}, \quad \text{Ec. 2.51}$$

en el cual d_h es el diámetro hidráulico de Krischer-Kast definido por

$$d_h = \frac{6(1 - \varepsilon)}{a_p \phi} \left[\frac{16 \varepsilon^3}{9 \pi (1 - \varepsilon)^2} \right] \quad \text{Ec. 2.52}$$

En esta última expresión ϕ es la esfericidad del empaque que corresponde a la Ec. 1.4. Cada uno de los parámetros de entrada a la red, Q_i , se normaliza por medio de la función:

$$U_i = \frac{Q_i - Q_{i,Min}}{Q_{i,Max} - Q_{i,Min}} \quad \text{Ec. 2.53}$$

A los parámetros normalizados, U_i , se les aplica la siguiente función de transferencia para determinar el valor de cada una de las neuronas de la red:

$$H_j = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^{J+1} \omega_{ij} U_i)}, \quad \text{Ec. 2.54}$$

en la cual J es el número de neuronas que conforman la red. El parámetro de salida se determina como:

$$S = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^{J+1} \omega_j H_j)}, \quad \text{Ec. 2.55}$$

y se normaliza así:

$$S = \frac{O - O_{Min}}{O_{Max} - O_{Min}} \quad \text{Ec. 2.56}$$

Donde O es el resultado final de la red. Los valores de cada uno de los términos de peso de la red, ω_{ij} y ω_j , se presentan en la Tabla 2.2. En la Tabla 3.3 se muestran los valores mínimo y máximo para cada uno de los parámetros de entrada y para el parámetro de salida.

Tabla 2.2 Términos de peso de la red para caída de presión (Piche, 2001c)

j	ω_{1j}	ω_{2j}	ω_{3j}	ω_{4j}	ω_{5j}	ω_{6j}	ω_{7j}	ω_{8j}	ω_j
1	5.48625	-1.39453	10.6406	-7.50527	0.698007	-5.27005	4.67136	-7.90942	3.25984
2	1.08163	0.14895	-9.73173	9.51593	7.24867	11.7843	-1.61944	-4.03018	71.941
3	-1.58873	3.71516	-10.6744	9.84821	13.6507	14.0697	3.2166	-11.9498	-61.4564
4	2.64013	2.41041	3.73242	-4.38186	-8.43989	46.258	-3.95619	3.37391	-24.2888
5	19.0587	-135.283	18.4691	210.605	-53.3823	-48.3563	-28.5838	24.145	-0.826329
6	10.8243	126.942	-10.7372	135.041	-22.5347	-54.365	-20.0241	-102.921	0.474629
7	-1.32181	4.28208	-12.491	10.0879	14.869	15.5598	2.75561	-12.2817	45.8593
8	0.319992	-0.6223	-3.37363	1.55999	-1.38933	1.36322	1.93159	5.08771	-59.1247
9	12.4082	-10.7163	-47.9768	37.6255	22.9849	-24.4646	-19.8177	-3.20489	-16.6876
10	22.5333	-7.4272	-31.4195	11.3291	-10.8794	32.7808	-36.397	20.4449	-4.43554
11	10.9058	60.6	34.7341	-128.109	0.963636	-2.74424	17.3624	2.65867	-0.455033
12	72.9044	145.457	-165.467	92.3996	4.06765	140.825	-130.253	-71.7343	-0.482593
13									30.4417

Tabla 2.3 Rango de validez de la red neuronal (Piche, 2001c)

Parámetro	Mínimo	Máximo
Re_G	8.00E-01	4.18E+03
Ga_G	1.20E+01	1.41E+06
Re_L	2.00E-02	1.12E+03
Ga_L	1.90E+01	5.30E+07
St_L	4.40E-07	7.45E-03
S_B	8.00E+00	1.49E+03
χ	2.00E-02	3.15E+02
f_{LGG}	2.54E+00	1.02E+04

2.2.3 Determinación del Punto de Inundación

Aún cuando no existe un consenso general sobre la definición del punto de inundación, ésta se considera uno de los fenómenos físicos asociados con las torres empacadas más influyentes en su diseño y operación. La inundación solo se observa, no se mide, circunstancia que explica en parte la falta de consenso.

Se han presentado varias recopilaciones de definiciones del punto de inundación, que coinciden en la posibilidad de dividir las en dos grandes categorías: La primera incluye aquellas definiciones que enfatizan en la observación visual de la inundación, mientras la segunda apunta a la determinación de la inundación de forma inferencial, a partir de las gráficas de la caída de presión y de la retención de líquido en función del flujo de gas.

Sherwood introduce la primera correlación conocida para la predicción del punto de inundación, desarrollada exclusivamente con datos experimentales para el sistema agua-aire (Sherwood *et al*, 1938). Sobre la base de esta correlación se desarrolla la carta generalizada de caídas de presión, tal como se expone en el numeral anterior.

De manera simultánea con los desarrollos realizados a partir de la correlación original de Sherwood ha evolucionado un segundo grupo de correlaciones, originadas principalmente en la escuela alemana, basadas en consideraciones teóricas del flujo de dos fases en lechos empacados. Una desventaja inherente a estas correlaciones es que requieren varias constantes específicas según el tipo de empaque.

Una propuesta reciente (Piché *et al*, 2001b) para la determinación de la condición de inundación se basa en el ajuste, mediante redes neuronales, de una extensa base de datos experimentales. Por supuesto, su debilidad radica en la variedad de definiciones del punto de inundación mencionada.

Las principales correlaciones publicadas para la determinación de la condición de inundación se presentan en detalle a continuación.

a. Correlación de Sherwood *et al*

La modificación de la correlación de Sherwood (Sherwood *et al*, 1938) propuesta por Eckert (Eckert, 1970) ha permanecido como una herramienta estándar para la predicción del punto de inundación.

En la versión original de Sherwood, Figura 2.7, la ordenada es un factor de capacidad dado por:

$$Y = \frac{a_p G^2 \mu_L^{0.2}}{\varepsilon^3 \rho_G \rho_L g_c} = \frac{u_{G,Fl}^2}{g} \left(\frac{a_p}{\varepsilon^3} \right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \mu_L^{0.2} \quad \text{Ec. 2.57}$$

Piché (Piché *et al*, 2001b) ajusta la curva presentada por Sherwood al polinomio:

$$\log(Y) = -0.2866 \log^2(\chi) - 1.0997 \log(\chi) - 1.6784, \quad \text{Ec. 2.58}$$

válido en el intervalo $0.01 \leq \chi \leq 200$, y en el cual μ_L debe estar en cP.

Lobo (Lobo *et al*, 1945) propone reemplazar la relación a_p/ε^3 por un factor experimental para representar mejor las características geométricas del empaque. El Factor de Empaque, como se le conoce, se convierte rápidamente en un parámetro estándar de caracterización.

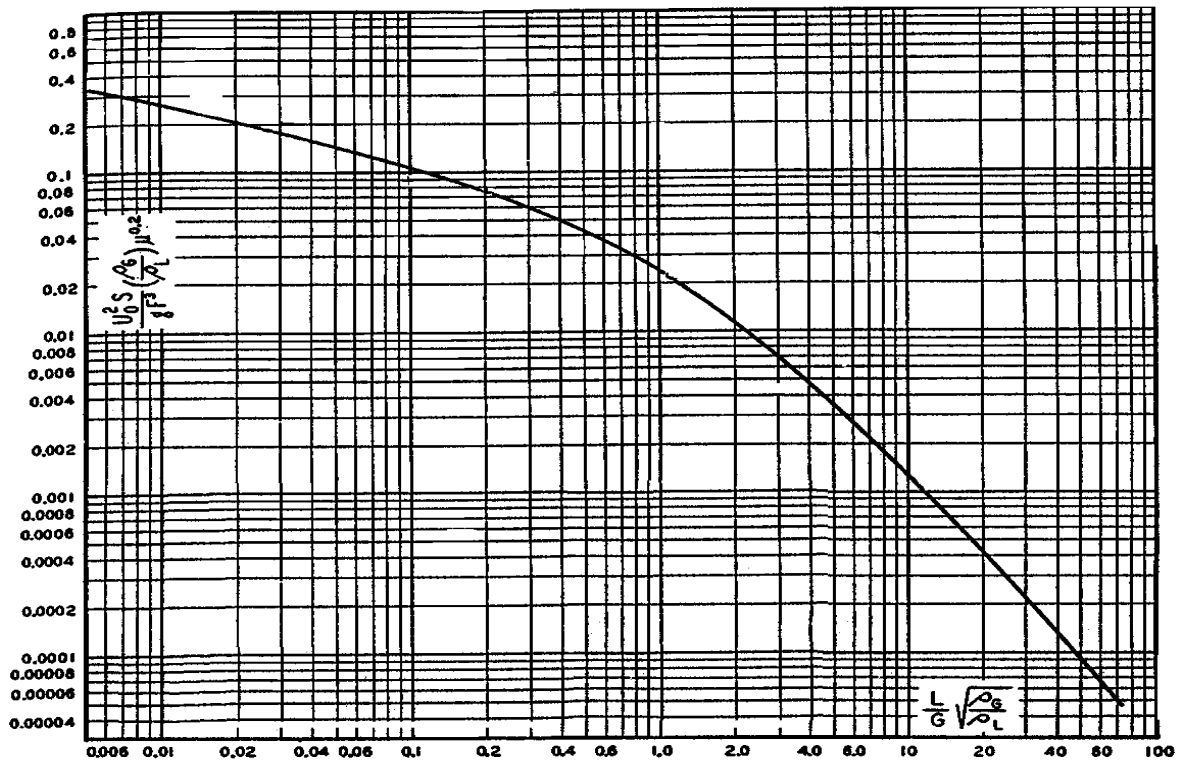


Figura 2.7 Curva de inundación presentada por Sherwood *et al*. (1938)

La carta presentada por Lobo puede ajustarse al polinomio (Piché, 2001b):

$$\log(Y) = -0.252 \log^2(\chi) - 1.041 \log(\chi) - 1.732, \quad \text{Ec. 2.59}$$

expresión limitada a valores del parámetro de flujo entre 0.01 y 8, y en la cual la viscosidad está en cP.

Sawistowski modifica la carta presentada por Lobo para ajustarla mejor a los datos reportados para operaciones a baja presión (Sawistowski, 1957):

$$G^2 = \frac{g \varepsilon^3 \rho_L \rho_G}{a_T} \left(\frac{\mu_w}{\mu_L} \right)^{0.2} \exp \left(-4 \left(\frac{L}{G} \right)^{0.25} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.125} \right). \quad \text{Ec. 2.60}$$

Por otra parte Leva cambia el factor de capacidad de la carta de Sherwood por:

$$Y = \frac{G^2 F_p \mu_L^{0.2} \Psi^2}{\rho_G \rho_L g_c}, \quad \mu_L \text{ en cP.} \quad \text{Ec. 2.61}$$

Esta nueva curva se ajusta a la expresión:

$$\log(Y) = -0.270 \log^2(\chi) - 1.076 \log(\chi) - 1.705, \quad \text{Ec. 2.62}$$

la cual tiene validez en el intervalo $0.03 \leq \chi \leq 6$ (Piché, 2001b).

Eckert (1970) realiza algunas variantes a la correlación de Leva, entre las cuales se destaca el cambio del exponente del factor de corrección de densidad, Ψ , de dos a uno, Figura 2.8. La curva de inundación propuesta por Eckert corresponde al polinomio:

$$\log(Y) = -0.289 \log^2(\chi) - 1.081 \log(\chi) - 1.682, \quad \text{Ec. 2.63}$$

con la viscosidad en cP y χ entre 0.04 y 6 (Piché, 2001b).

Leva argumenta que el cambio en el exponente del factor de corrección para la densidad (Ψ) desmejora notoriamente la predicción y propone modificar la ordenada de la carta por (Leva, 1992):

$$Y = 0.016 \frac{\rho_G u_{G,Fl}^2}{g} F_p f(\rho_L) f(\mu_L), \quad \text{Ec. 2.64}$$

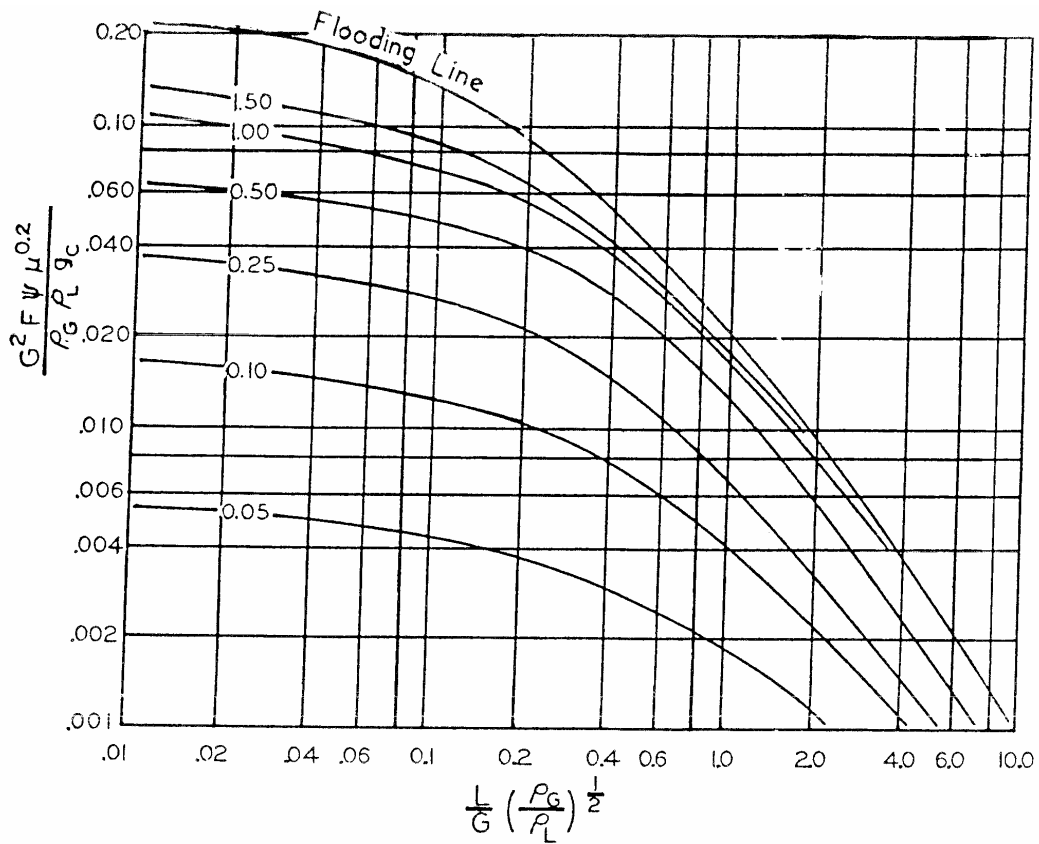


Figura 2.8 Última versión de la GPDC que incluye la curva de inundación.

donde $f(\rho_L)$ y $f(\mu_L)$ son factores de corrección determinados a partir de las gráficas presentadas por Leva. Piché propone los siguientes polinomios para evitar los procedimientos gráficos en la solución de la correlación propuesta (Piché, 2001b):

$$\log(Y) = -0.290 \log^2(\chi) - 1.075 \log(\chi) - 1.636 \quad \text{Ec. 2.65}$$

$$f(\rho_L) = 1.5052 \ln\left(\frac{\rho_w}{\rho_L}\right) + 1.1883 \quad \text{Ec. 2.66}$$

$$\log[f(\mu_L)] = 0.1839 \log(\mu_L) - 0.011, \text{ si } d_p > 1.0 \text{ o,} \quad \text{Ec. 2.67a}$$

$$\log[f(\mu_L)] = 0.0591 \log^3(\mu_L) + 0.0226 \log^2(\mu_L) + 0.1701 \log(\mu_L) - 0.0135, \text{ en caso contrario.} \quad \text{Ec. 2.67b}$$

El uso de estas expresiones está restringido a parámetros de flujo, χ , entre 0.01 y 10, a valores de la densidad del líquido entre 700 y 1400 kg/m³, y a viscosidades entre 0.2 y 20 cP.

b. Correlación de Zenz y Eckert

Zenz (1953) encuentra que existe una relación simple entre los flujos de líquido y de gas para la condición de inundación:

$$\sqrt[3]{G} + \sqrt{L} = \text{Constante} \quad \text{Ec. 2.68}$$

A partir de esta relación Zenz y Eckert (Zenz y Eckert, 1961) proponen una nueva carta para determinar la inundación de torres empacadas, la cual puede expresarse así:

$$14.55 \left[u_{G,Fl} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \sqrt{\frac{a_P}{\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/3} + 10.43 \left[u_L \sqrt{\frac{a_P}{\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} = 18.9 \quad \text{Ec. 2.69}$$

Takahashi modifica el exponente para el flujo de gas empleado por Zenz y propone la expresión (Takahashi *et al*, 1974):

$$\left[u_{G,Fl} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \sqrt{\frac{a_P}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} + \left[u_L \sqrt{\frac{a_P}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} = 0.552 \quad \text{Ec. 2.70}$$

Posteriormente Miyahara (Miyahara *et al*, 1992) cambia el valor de la constante al estudiar los datos experimentales reportados para empaques de nueva generación con elevada fracción vacía:

$$\left[u_{G,Fl} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \sqrt{\frac{a_P}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} + \left[u_L \sqrt{\frac{a_P}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} = 0.629 \quad \text{Ec. 2.71}$$

c. Correlación de Kister y Gill

Basados en observaciones realizadas por Zenz (1953), Strigle y Rukovena (1978) y Mackowiak (1991), Kister y Gill (1991) proponen expresar la caída de presión para la condición de inundación únicamente en función del factor de empaque, así:

$$\Delta P_{Fl} = 0.115 F_P^{0.7} \quad \text{Ec. 2.72}$$

Una vez se obtiene la caída de presión para el punto de inundación, puede establecerse la capacidad para tal condición a partir de cualquiera de los métodos disponibles.

d. Método de Billet y Schultes

Billet y Schultes, con base en el modelo de canal, proponen la siguiente expresión para determinar la velocidad superficial del gas en el punto de inundación:

$$u_{G,Fl}^2 \frac{\rho_G}{\rho_L} = \frac{2}{a_p} \frac{h_{L,Fl} (\varepsilon - h_{L,Fl})^3}{\varepsilon} C_{Fl}^2 \left[\chi \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0.2} \right]^{-n_{Fl}}, \quad \text{Ec. 2.73}$$

en donde

$$n_{Fl} = 0.388, \text{ si } \chi < 0.4, \text{ y} \quad \text{Ec. 2.74a}$$

$$n_{Fl} = 1.416, \text{ si } \chi \geq 0.4 \quad \text{Ec. 2.74b}$$

La retención de líquido en el punto de inundación, $h_{L,Fl}$, se evalúa mediante la expresión:

$$h_{L,Fl}^3 (3h_{L,Fl} - \varepsilon) = \frac{6\varepsilon a_p^2}{g} \frac{L}{G} \frac{\rho_G}{\rho_L} \frac{\mu_G}{\mu_L} u_{G,Fl}, \quad \text{Ec. 2.75}$$

la cual sólo tiene una raíz con significado físico dada por:

$$\frac{\varepsilon}{3} \leq h_{L,Fl} \leq \varepsilon \quad \text{Ec. 2.76}$$

Según Kister (1992), Billet supera así una falla de la correlación generalizada de caída de presión consistente en no tomar en cuenta la retención de líquido la cual, se ha encontrado, determina en gran medida la condición de inundación. Elgin y Weiss (1939) son los primeros en reconocer el efecto de la retención de líquido sobre la condición de inundación, e incluyen este término en su carta, la cual se ajusta a la expresión:

$$\log(Y) = 0.338 \log^4(X) - 0.591 \log^3(X) - 0.782 \log^2(X) - 0.583 \log(X) - 0.898, \quad \text{Ec. 2.77}$$

donde

$$X = \sqrt{\frac{u_{G,Fl}}{u_L}}, \quad 0.4 \leq X \leq 40, \quad \text{Ec. 2.78}$$

y

$$Y = \frac{a_p u_L^2}{g(\varepsilon - h_s)} \quad \text{Ec. 2.79}$$

En la ecuación 2.77 X debe estar dentro del intervalo 0.4 – 40.

e. Modelo de Stichlmair, Bravo y Rocha

Según estos autores, por encima del punto de carga la caída de presión para el flujo a contracorriente de dos fases viene dada por:

$$\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} = \frac{\Delta P_d}{Z\rho_L g} \left[\frac{1 - \varepsilon \left(1 - \frac{h_{Lo}}{\varepsilon} \left\{ 1 + 20 \left(\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} \right)^2 \right\} \right)}{1 - \varepsilon} \right]^{(2+c/3)} \left[1 - \frac{h_{Lo}}{\varepsilon} \left\{ 1 + 20 \left(\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} \right)^2 \right\} \right]^{-4.65},$$

Ec. 2.80

expresión que se obtiene al considerar el aporte a la caída de presión del líquido retenido por encima del punto de carga, Ec. 2.105, en la Ec. 2.31.

Con base en la definición del punto de inundación:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial u} = \infty \Rightarrow \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_d} = \infty \Rightarrow \frac{\partial \Delta P_d}{\partial \Delta P} = 0, \quad \text{Ec. 2.81}$$

al diferenciar la Ec. 2.80 se obtiene:

$$\left(\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} \right)_{FI}^{-2} - \frac{40 \frac{2+c}{3} h_{Lo}}{1 - \varepsilon + h_{Lo} \left(1 + 20 \left(\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} \right)_{FI}^2 \right)} = - \frac{-186 h_{Lo}}{\varepsilon - h_{Lo} \left(1 + 20 \left(\frac{\Delta P}{Z\rho_L g} \right)_{FI}^2 \right)}, \quad \text{Ec. 2.82}$$

a partir de la cual puede determinarse la caída de presión para la condición de inundación mediante un procedimiento iterativo.

f. Correlación de Piché *et al*

Para la aplicación en redes neuronales Piché divide la base de datos recopilada en dos series y emplea la primera como clases de entrenamiento (714 vectores) y la segunda como clases de prueba (305 vectores).

La red está conformada por seis grupos de entrada, 14 neuronas ocultas y un parámetro de salida. En la Figura 2.9 se presenta un esquema del perceptrón empleado en la correlación.

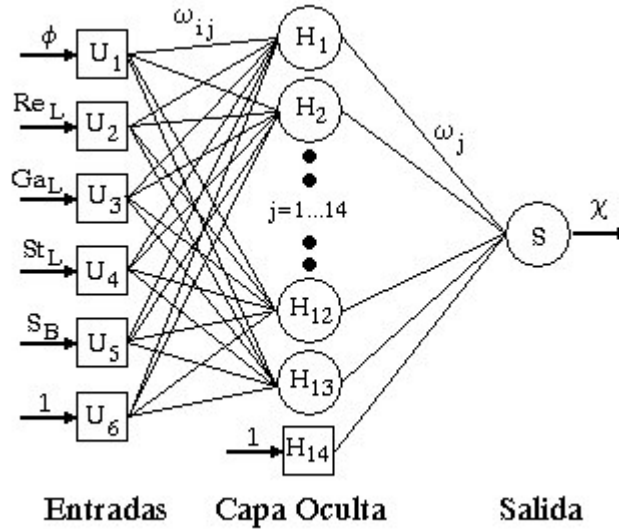


Figura 2.9 Esquema del perceptrón desarrollado por Piché *et al.*

Los grupos de entrada son: la esfericidad del empaque (Ec. 1.4); los números de Reynolds, Galileo (Ec. 2.48) y Stokes para el líquido, un factor de corrección del lecho (Ec. 2.50) y un parámetro de normalización. La red neuronal genera como respuesta el parámetro de Lockhart-Martinelli modificado (Ec. 2.33).

Los números de Reynolds y Stokes se evalúan de la siguiente forma:

$$Re_L = \frac{\rho_L u_L}{a_p (1 - \varepsilon) \mu_L} \quad \text{Ec. 2.83}$$

$$St_L = \frac{\mu_L u_L}{\varepsilon \rho_L g d_p^2} \quad \text{Ec. 2.84}$$

Las funciones de normalización y de transferencia, que se aplican a cada uno de los parámetros de entrada, se presentan en el apartado anterior (Ecs. 2.53 a 2.56). Los términos de peso a emplear se muestran en la Tabla 2.4 y en la 2.5 los rangos de validez de la correlación.

Tabla 2.4 Términos de peso de la red para evaluar la inundación (Piche, 2001b)

j	ω_{1j}	ω_{2j}	ω_{3j}	ω_{4j}	ω_{5j}	ω_{6j}	ω_j
1	10.8636	-39.196	52.9612	31.38	55.685	-48.397	1.35906
2	0.326362	11.6527	-20.4422	-17.2985	-7.68428	16.1258	5.81981
3	-20.4642	-61.3863	67.683	61.2119	23.9996	-30.3758	1.02942
4	-77.5318	9.62686	-24.1732	-8.94722	30.6847	37.4355	-8.68566
5	-80.5687	17.4044	-35.0161	-15.5825	17.733	48.5488	8.29331
6	6.37256	-25.244	68.9015	68.5041	15.3372	-74.9187	-19.3101
7	-17.7977	33.989	7.85856	-11.6751	32.7382	-16.6322	-12.8405
8	-49.0148	-18.3042	17.9678	19.5253	-8.38965	7.51199	1.30414
9	-2.75082	-18.0195	7.63902	-65.6419	55.3322	26.3225	0.546522
10	-17.8295	36.2018	3.28895	-13.3661	28.2723	-12.7229	12.6995
11	2.89402	13.9681	-12.7126	-7.20767	-12.8382	11.5079	-2.019
12	-14.4653	9.74821	32.4901	-23.1407	-9.42602	-25.2655	0.253166
13	-20.646	8.28609	-26.2128	6.25251	32.2026	-0.723981	-0.466271
14							-2.11634

Tabla 2.5 Rango de validez de la red para la inundación (Piche, 2001b)

Parámetro	Mínimo	Máximo
ϕ	4.50E-02	1.00E+00
Re_L	5.86E-02	3.73E+04
Ga_L	5.71E-01	1.96E+08
St_L	7.49E-07	2.78E-01
S_B	3.21E+00	1.36E+03
χ	9.39E-03	1.58E+02

g. Otras correlaciones

Bertetti propuso la siguiente expresión para determinar la velocidad del gas en el punto de inundación:

$$4.85\mu_L^{0.04} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.33} u_{G,Fl}^{0.67} + 4.1\mu_L^{0.1} u_L^{0.67} = \frac{6.4\epsilon}{a_p^{0.33}}, \quad \text{Ec. 2.85}$$

en la cual todas las unidades deben estar en el sistema inglés de ingeniería (Bertetti, 1942).

Kuzniewska y Lach (Kuzniewska y Lach, 1999) recomiendan la siguiente expresión:

$$u_{G,FI} = A \mathcal{E} \left(\frac{a_P}{\mathcal{E}^3} \right)^B, \quad \text{Ec. 2.86}$$

con A y B definidas como:

$$A = \left\{ 1608932u_L^3 - 7846.1u_L^2 + 237.3u_L + 15.2 \right\} \frac{\left(\frac{\rho_A \rho_L}{\rho_G \rho_W} \right)^{0.5}}{\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_W} \right)^{0.25} \left(\frac{\mu_L}{\mu_W} \right)^{0.02}} \quad \text{Ec. 2.87}$$

y

$$B = \left\{ -144.6u_L^2 - 9.5u_L - 0.273 \right\} \frac{\left(\frac{\rho_W \mu_L}{\rho_L \mu_W} \right)^{0.02}}{\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_W} \right)^{0.15} \left(\frac{\mu_G}{\mu_A} \right)^{0.1}}. \quad \text{Ec. 2.88}$$

2.2.4 Capacidad Máxima de Operación

Strigle define la capacidad máxima de operación como la máxima velocidad de vapor que asegura un comportamiento normal del empaque desde el punto de vista de la eficiencia (Strigle, 1994). Sin embargo, localizar esta capacidad es difícil no sólo por el grado de subjetividad que implica, sino porque su determinación depende de la precisión en la medida de la eficiencia, la cual, a su vez, es afectada por factores como la distribución de las fases, los procedimientos de muestreo y los efectos terminales en la columna.

Strigle y Rukovena (Strigle, 1994) sugieren determinar la caída de presión en el punto de máxima capacidad de operación a partir de la expresión

$$\Delta P_{MOC} = 0.119 F_P^{0.7} \quad \text{Ec. 2.89}$$

Por su parte Kister y Gill proponen calcular la velocidad del gas para la condición de máxima capacidad de operación por medio de la ecuación (Kister y Gill, 1991)

$$u_{G,MOC} = 0.95 u_{G,FI} \quad \text{Ec. 2.90}$$

Según Kister los valores predichos con esta correlación se encuentran dentro de un 20% de los reportados para empaques estructurados y al azar, razón por la cual no es factible establecer diferencias entre empaques de elevada eficiencia (Kister, 1992).

2.2.5 Punto de Carga

La transición entre los regímenes de precarga y de carga se denomina punto de carga. Aunque inicialmente se propuso la existencia de un punto en el cual la curva de caída de presión contra la velocidad de gas presentaba un cambio de pendiente brusco al pasar del régimen de precarga al de carga, hoy el consenso general (Kister, 1992) es que la pendiente cambia de manera gradual y que no existe un punto de carga definido para la mayoría de las aplicaciones comerciales.

Billet (1995) define el punto de carga como aquel donde la retención de líquido empieza a aumentar con la velocidad del gas. Kunesh lo define como el punto más allá del cual un pequeño incremento en el flujo de gas conduce a un rápido deterioro de la eficiencia. Strigle (1994) por su parte da dos definiciones al respecto: El Punto de Carga Inferior, que corresponde al flujo más alto de gas hasta el cual la caída de presión es proporcional al cuadrado de la velocidad del gas, y el Punto de Carga, que es la velocidad de flujo a la cual la fase gaseosa empieza a interactuar con la fase líquida para incrementar la retención de líquido y por consiguiente el área interfacial efectiva en el lecho empacado.

a. Método de Billet y Schultes

La velocidad del gas para la condición de carga puede determinarse mediante la ecuación (Billet y Schultes, 1999):

$$u_{G_{Lo}}^2 \frac{\rho_G}{\rho_L} = \left[\frac{\epsilon}{a_p^{1/6}} - a_p^{1/2} \left(\frac{12u_L \mu_L}{g\rho_L} \right)^{1/3} \right] \left(\frac{12u_L \mu_L}{g\rho_L} \right)^{1/6} C_{Lo}^2 \left[\chi \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0.4} \right]^{-n_{Lo}}, \quad \text{Ec. 2.91}$$

en la cual

$$n_{Lo} = 0.652, \quad \text{si } \chi < 0.4 \quad \text{y} \quad \text{Ec. 2.92a}$$

$$n_{Lo} = 1.446, \quad \text{si } \chi \geq 0.4 \quad \text{Ec. 2.92b}$$

Esta correlación presenta un buen ajuste (dentro del 10%) tanto para empaques estructurados como al azar. Su principal inconveniente es la disponibilidad de las constantes requeridas (Kister, 1992; Piché *et al*, 2001).

b. Correlación de Miyahara *et al*

Miyahara y colaboradores (Miyahara *et al*, 1992) proponen relacionar el punto de carga de forma análoga a la del punto de inundación (Ec. 2.66):

$$\left[u_{G_{Lo}} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \sqrt{\frac{a_p}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} + \left[u_L \sqrt{\frac{a_p}{g\epsilon^3} \mu_L^{0.2}} \right]^{1/2} = 0.547 \quad \text{Ec. 2.93}$$

c. Correlación de Piché *et al*

La red para la determinación del punto de carga está formada por 5 neuronas. A la red ingresan como parámetros la esfericidad del empaque (Ec. 1.4), los números de Reynolds (Ec. 2.83), Galileo (Ec. 2.48) y Stokes (Ec. 2.84) para el líquido y un factor de corrección del lecho (Ec. 2.50) y se genera como salida el parámetro de Lokchart-Martinelli modificado para la condición de carga.

Los factores de peso para cada neurona se presentan en la Tabla 2.6. Las funciones de normalización y de transferencia a emplear corresponden a las ecuaciones 2.53 a 2.56. La Tabla 2.7 recoge los intervalos de validez para la red neuronal desarrollada.

Tabla 2.6 Términos de peso de la red para evaluar el punto de carga (Piche, 2001a)

j	ω_{1j}	ω_{2j}	ω_{3j}	ω_{4j}	ω_{5j}	ω_{6j}	ω_j
1	0.193798	-0.203414	-0.241257	-0.528749	0.278539	-0.651042	57.4709
2	-12.1172	56.0881	-85.2895	-62.9257	-32.8656	68.5576	-34.8313
3	-14.0851	48.9752	-124.081	-130.032	-28.514	140.323	8.26435
4	-284.197	-139.088	260.813	162.803	-452.153	64.7439	0.353583
5	12.0928	-54.1293	82.3698	60.6402	32.0574	-66.4748	-36.3771
6							11.9011

Tabla 2.7 Rango de validez para la evaluación del punto de carga (Piche, 2001a)

Parámetro	Mínimo	Máximo
ϕ	6.70E-02	8.23E-01
Re_L	6.45E-02	5.97E+03
Ga_L	5.71E-01	3.75E+07
St_L	5.50E-07	1.52E-01
S_B	1.77E+01	4.24E+04
χ	2.59E-02	1.58E+02

2.2.6 Retención de Líquido

La retención de líquido es la cantidad de líquido presente en el espacio libre del empaque. En la condición de inundación todo este espacio es ocupado por líquido o espuma. Para asegurar una buena transferencia de masa se necesita una retención de líquido razonable, dado que si se pasa de cierto límite la eficiencia empieza a decaer. Una retención alta incrementa la caída de presión, el peso del lecho, la carga soportada en el fondo de la torre y el tiempo de drenaje de la columna.

El líquido retenido se clasifica como retención estática, entendida como la cantidad de líquido que permanece en el lecho luego de suspender su alimentación y permitir el drenaje durante un periodo

apropiado y como retención operacional, que es el líquido retenido como consecuencia de la operación dinámica de la columna y se define como la diferencia entre la retención total y la retención estática.

Para empaques de primera generación (anillos Raschig de carbón y cerámica y monturas Berl de cerámica) las retenciones estática y operacional pueden determinarse a partir de las correlaciones desarrolladas por Shullman (1955). La correlación de Buchanan (1967) permite calcular la retención operacional para empaques con geometría de anillos. Con las propuestas de Mersmann y Deixler (1986), Miyahara (1992), Stichlmair (1998), Engel (1997), Piché (2001) y Billet (1995) es posible evaluar la retención total en empaques al azar, aunque la última puede también emplearse con empaques estructurados.

a. Correlación de Buchanan

A partir de consideraciones teóricas del flujo en canales y placas inclinadas Buchanan ajustó los datos experimentales de retención operacional de líquido a la expresión (Buchanan, 1967):

$$h_o = 2.2 \left(\frac{Fr_L}{Re_L} \right) + 1.8 Fr_L^{1/2}, \quad \text{Ec. 2.94}$$

en la cual el número de Reynolds se determina por medio de la Ec. 2.11 y el número de Froude así:

$$Fr_L = \frac{u_L^2}{gd_p} \quad \text{Ec. 2.95}$$

b. Correlación de Mersmann y Deixler

Mersmann y Deixler proponen una correlación para evaluar la retención total de líquido, la cual es presentada por Kister en forma modificada, así (Kister, 1992):

$$h_L = \frac{1}{12\varepsilon} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L} \right)^{1/6} (u_L a_p)^{0.5} \quad \text{Ec. 2.96}$$

La aplicación de esta expresión se restringe a sistemas bajo condiciones de operación que correspondan a los intervalos considerados en su desarrollo, a saber:

$$400 < \frac{\sigma}{\rho_L} \left(\frac{a_p}{\varepsilon} \right)^2 < 18300$$

$$0.15 < Re_L < 200$$

$$55 < a_p < 427 \quad m^2/m^3$$

$$0.57 < \varepsilon < 0.99$$

$$930 < \rho_L < 1122 \quad \text{kg/m}^3$$

$$6 \times 10^{-4} < \mu_L < 0.014 \quad \text{Ns/m}^2$$

c. Correlación de Miyahara *et al*

Miyahara propone considerar la retención de líquido como resultado de tres contribuciones: estática, dinámica y dinámica operativa (Miyahara *et al*, 1992):

$$h_L = h_s + h_d + h_o \quad \text{Ec. 2.97}$$

$$\frac{h_s}{Z} = 1.53 \times 10^{-4} d_p^{-1.2} \quad \text{Ec. 2.98}$$

$$\frac{h_d}{Z} = 1.42 \times 10^{-5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_w} \right)^{0.75} d_p^{-1.2} \quad \text{Ec. 2.99}$$

$$\frac{h_o}{Z} = 4.11 \times 10^{-1} \left(\frac{Z}{d_p} \right)^{-0.35} \text{Ca}_L^{0.8} \text{Mo}_L^{-0.16} \text{Fr}_L \quad \text{Ec. 2.100}$$

Los números adimensionales de Morton (Mo), Froude (Fr) y capilar (Ca) se determinan de la siguiente forma:

$$\text{Mo}_L = \frac{g \mu_L^4}{\sigma^3 \rho_L} \quad \text{Ec. 2.101}$$

$$\text{Fr}_L = \frac{u_L^2}{g d_p \varepsilon^2} \quad \text{Ec. 2.102}$$

$$\text{Ca}_L = \frac{\mu_L u_L}{\sigma \varepsilon} \quad \text{Ec. 2.103}$$

d. Correlación de Stichlmair

Stichlmair correlaciona los datos de retención de líquido para empaques estructurados y al azar, por debajo del punto de carga, en términos del número de Froude (Stichlmair *et al*, 1988), así:

$$h_{Lo} = 0.555 \left(\frac{u_L^2 a_p}{g \varepsilon^{4.65}} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 2.104}$$

Esta expresión es válida sólo para agua y para líquidos cuyas propiedades sean similares a las del agua, ya que no toma en cuenta propiedades como densidad, viscosidad y tensión superficial.

Por otra parte, para la determinación de la retención de líquido por encima del punto de carga Stichlmair (1998) propone la siguiente expresión:

$$h_L = h_{Lo} \left[1 + 20 \left(\frac{\Delta P}{gZ\rho_L} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 2.105}$$

Engel (Engel *et al*, 1997) desarrolla una correlación que, de acuerdo a Stichlmair, presenta una desviación media inferior al 16% para la mayoría de datos publicados (Stichlmair y Fair, 1998):

$$h_{Lo} = 0.93 \left(\frac{u_L^2 a_P}{g} \right)^{1/6} \left(\frac{\mu_L^2 a_P^3}{g\rho_L^2} \right)^{1/10} \left(\frac{\sigma a_P^2}{g\rho_L} \right)^{1/8} \quad \text{Ec. 2.106}$$

e. Método de Billet y Schultes

Para determinar la retención total de líquido Billet y Schultes (Billet, 1995; Billet y Schultes, 1999) proponen la siguiente expresión:

$$h_L = \left[\frac{u_L \mu_L a_P^2}{\frac{1}{3} \rho_L g - \frac{1}{4} \zeta_L \frac{a_h}{h_L (\varepsilon - h_L)^2} \rho_G u_G^2} \right]^{1/3} \left(\frac{a_h}{a_P} \right)^{2/3}, \quad \text{Ec. 2.107}$$

en la cual a_h es el área hidráulica del empaque y,

$$\frac{a_h}{a_P} = C_H \text{Re}_L^{0.15} \text{Fr}_L^{0.1}, \text{ si } \text{Re}_L < 5 \quad \text{Ec. 2.108a}$$

y

$$\frac{a_h}{a_P} = 0.85 C_H \text{Re}_L^{0.25} \text{Fr}_L^{0.1}, \text{ si } \text{Re}_L \geq 5 \quad \text{Ec. 2.108b}$$

ζ_L se define en la Ec. 2.22, y el número de Froude como:

$$\text{Fr}_L = \frac{u_L^2 a_P}{g} \quad \text{Ec. 2.109}$$

Si u_G es menor a u_{GLo} , entonces la retención de líquido se evalúa por medio de la expresión

$$h_{Lo} = \sqrt[3]{\frac{12 a_p^2 \mu_L u_L}{g \rho_L} \left(\frac{a_h}{a_p}\right)^{2/3}} \quad \text{Ec. 2.110}$$

f. Correlación de Piché *et al.*

En este caso la base está conformada por un total de 1483 datos experimentales en los regímenes de precarga y carga. La red consta de 5 grupos de entrada y 13 neuronas y genera como parámetro de salida la retención total de líquido. Los grupos de entrada son:

$$Fr_G = \frac{u_G^2}{g d_p \varepsilon^2}, \quad \text{Ec. 2.111}$$

$$St_G = \frac{\mu_G u_G}{g \rho_G d_p^2 \varepsilon}, \quad \text{Ec. 2.112}$$

$$Re_L = \frac{\rho_L d_p u_L}{(1 - \varepsilon) \mu_L}, \quad \text{Ec. 2.113}$$

$$Oh_L = \left(\frac{\mu_L^2}{\sigma_L d_p \rho_L} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 2.114}$$

y el número de Froude para el líquido, Fr_L , definido en la ecuación 2.102.

Los factores de peso para este caso se presentan en la Tabla 2.8

Tabla 2.8 Términos de peso de la red para evaluar la retención de líquido (Piche, 2001a)

j	ω_{1j}	ω_{2j}	ω_{3j}	ω_{4j}	ω_{5j}	ω_{6j}	ω_j
1	-1.33376	2.06595	-1.05871	3.35382	-3.15255	0.669729	9.6124
2	4.11709	-1.07689	-0.443382	6.73617	5.16878	-6.31073	7.53606
3	39.2957	-25.1479	-1.35126	2.47643	2.38671	-18.3563	9.71477
4	2.26296	-1.98663	-1.05305	8.07989	2.02079	1.80599	5.35714
5	-4.65991	10.1897	15.1077	-9.20374	3.18579	-6.99178	-12.9649
6	-2.54122	-0.858566	7.58477	4.09349	11.2851	-6.15343	12.8545
7	1.24631	-13.125	13.8142	-3.65068	-8.57474	10.5729	-2.423
8	2.18149	2.53411	2.29695	9.42807	3.86175	5.09154	0.604932
9	-5.66604	3.96297	9.1272	0.391952	-1.61976	1.14297	-1.62576
10	4.63897	-1.95492	-5.91879	11.9502	1.52315	-4.28729	-5.93223
11	-4.25026	-2.09118	1.77662	-4.24739	-6.03955	-3.47987	-8.49126
12	-10.3756	20.3174	25.79	-14.8752	2.24564	-12.496	7.33027
13	-2.07414	-1.11507	9.06064	2.90336	12.9242	-7.00305	-15.3651
14							-3.61308

Las funciones de transferencia y de normalización a emplear se presentan en las Ecs. 2.53 a 2.57. Los rangos de validez de la red se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Rango de validez para la retención de líquido (Piche, 2001a)

Parámetro	Mínimo	Máximo
Fr_G	1.05E-04	1.87E+03
St_G	4.13E-05	1.23E+01
Re_L	1.16E-01	4.39E+03
Fr_L	1.10E-06	1.99E-01
Oh_L	4.52E-04	8.35E-02
h_T	5.00E-03	5.22E-01

2.2.7 Humedecimiento

La velocidad mínima de humedecimiento (MWR de las siglas en inglés) es la carga de líquido por debajo de la cual la película de éste se rompe. Constituye por lo tanto el límite inferior que asegura un comportamiento estable del empaque.

Schmidt describe esta velocidad mínima en términos de un balance de fuerzas. Mientras la gravedad y los esfuerzos viscosos favorecen la conservación de la película de líquido descendente, la tensión superficial y el esfuerzo cortante del gas tienden a destruirla. Por lo tanto la velocidad mínima será mayor si aumenta la tensión superficial y la densidad del líquido y disminuye su viscosidad. Un tamaño mayor del empaque y pobres características de humedecimiento también contribuyen a una mayor MWR. El efecto del flujo de gas comienza a ser importante cerca del punto de carga, cuando los esfuerzos cortantes se vuelven significativos (Schmidt, 1979).

Las características de humectabilidad del empaque afectan fuertemente la velocidad mínima de humedecimiento, tal como se señala en el capítulo uno, en la sección correspondiente a los materiales de los empaques. En la Figura 2.10 se presentan imágenes de películas de agua y de heptano sobre placas verticales de diferentes materiales.

Otro factor importante, señalado por MacDougall, es el gradiente de tensión superficial. Un sistema es positivo en tensión superficial ($\sigma +$) cuando ésta aumenta a medida que el líquido desciende, es negativo ($\sigma -$) cuando disminuye, y se considera neutro si la tensión superficial no experimenta cambios en la columna. La tendencia de la película de líquido a romperse es mayor para un sistema negativo que para uno positivo. MacDougall estima que para un sistema negativo la MWR es dos veces más alta que para uno positivo.

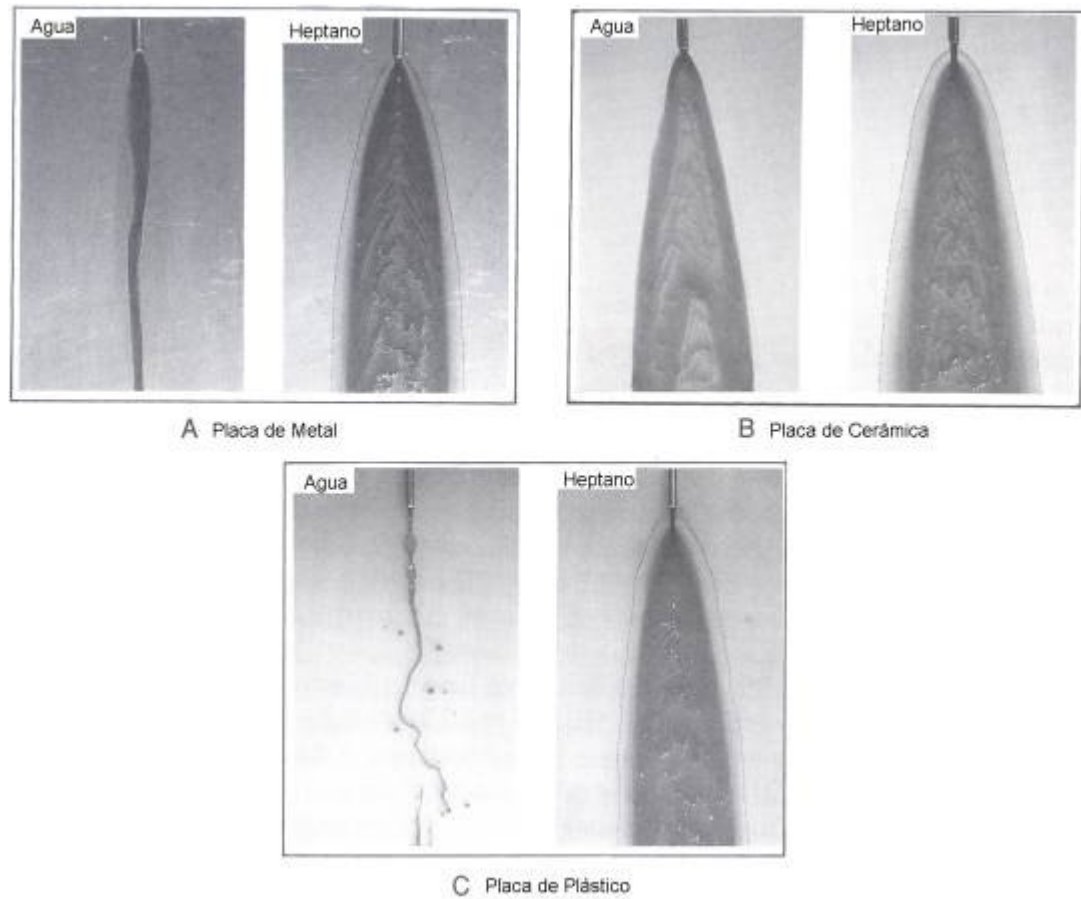


Figura 2.10 Patrones de flujo para agua y heptano en una placa vertical (Stichlmair y Fair, 1998)

Según Schmidt (1979) la velocidad mínima de líquido que logra formar una película estable viene dada por:

$$u_{L,\min} = 0.3182 \frac{C_L^{2/9} (1 - \cos \alpha)^{2/3}}{(1 - T_L)^{0.5} a_p^{0.5}}, \quad \text{Ec. 2.115}$$

donde

$$C_L = 1633.6 \frac{\rho_L \sigma^3}{\mu_L^4} \quad \text{Ec. 2.116}$$

y

$$T_L = 0.9 \left(\frac{u_G}{u_{G,Fl}} \right)^{2.8} \quad \text{Ec. 2.117}$$

En esta expresión α es el ángulo de contacto entre una gota de líquido y la superficie del empaque. Dado que rara vez se conoce este ángulo, la correlación de Schmidt puede utilizarse con α igual a 10° , lo cual es válido para sistemas que no experimentan deshumedecimiento (Kister, 1992).

Cuando no se dispone de información específica para el empaque bajo estudio, puede apelarse a las reglas empíricas (heurísticas) presentada en los manuales de la Glitsch Inc. (1986), Tabla 2.10, desarrolladas para el Cascade MiniRing[®],⁴ siempre y cuando las áreas específicas del empaque sean mayores que $140 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Tabla 2.10 Reglas empíricas para la velocidad mínima de humedecimiento (Glitsch, 1986)

Material	MWR (m/s)	Caudal ⁵ (mL/s)
Cerámica no vidriada	1.17E-06	1.17
Metal oxidado (acero al carbono, cobre)	1.76E-06	1.76
Metal con superficie tratada	2.34E-06	2.34
Cerámica vidriada	4.69E-06	4.69
Vidrio	5.86E-06	5.86
Metal brillante (acero inoxidable, tantalio, otras aleaciones)	7.03E-06	7.03
PVC-CPVC	8.21E-06	8.21
Polipropileno	9.38E-06	9.38
Fluoro-polímeros (PTFE)	1.17E-05	11.7

2.3 FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL

Las modernas técnicas de fluidodinámica computacional (CFD), recientemente desarrolladas, se ofrecen como una valiosa herramienta para la predicción precisa de la hidro/aerodinámica en lechos empacados, en especial si se utilizan empaques estructurados (Petre *et al*, 2003). Estas técnicas implican la formulación de modelos para describir el comportamiento de los fluidos en microescala, con base en la ecuación de continuidad y en los balances de cantidad de movimiento correspondientes.

La idea central es modelar la trayectoria completa de los fluidos a través del lecho, por lo que, en principio, se logra una mayor precisión con empaques estructurados, dado que su geometría es bien definida (Brunazzi y Paglianti, 1997; Iliuta y Larachi, 2001). Con empaques al azar siempre se requiere alguna clase de simplificación (Yin *et al*, 2000; Iliuta *et al*, 2003).

Dada la mayor complejidad de estas técnicas, no es posible abordarlas en este trabajo. Sin embargo, no puede pasarse por alto su mención, ya que constituyen el estado actual del arte. Con el objeto de

⁴ Empaque al azar de tercera generación fabricado por la firma Koch-Glitsch Inc.

⁵ Caudal requerido de líquido para una columna de 1 m^2 de sección transversal.

evaluar los beneficios que representa la incorporación de técnicas más complejas, se estudia en detalle, y se incluye como una hoja de cálculo anexa al módulo (**un**_HydrauliPack), uno de los modelos mecanicistas propuestos. Debe advertirse que aunque la solución estricta de estos modelos exige establecer unidades elementales representativas (REU) y solucionar las expresiones para cada una de éstas, para luego sumar el efecto global, la implementación de dichas expresiones en la hoja de cálculo es apenas de carácter general.

Iliuta y Larachi desarrollan un modelo unidimensional de dos zonas que representa el lecho por medio de dos placas inclinadas, geoméricamente similares y recurrentes: una placa seca y una húmeda (Iliuta y Larachi, 2001).

En este modelo, entre otros supuestos, se considera que el gradiente total es el mismo a través del lecho y de la red idealizada de placas:

$$-\frac{\Delta P}{Z} - \rho_G g = \frac{1}{\cos \theta} \left(\frac{dP}{dz} - \rho_G g \right) = \rho_G g \Psi_G \quad \text{Ec. 2.118a}$$

y

$$-\frac{\Delta P}{Z} + \rho_L g = \frac{1}{\cos \theta} \left(\frac{dP}{dz} - \rho_L g \right) = \rho_L g \Psi_L \quad \text{Ec. 2.118b}$$

La formulación final del modelo se presenta en las siguientes tres ecuaciones, las cuales, según los autores, deben resolverse por medio de un algoritmo iterativo de Newton-Raphson:

$$\Psi_G = \frac{32}{\cos^2 \theta} \frac{1 - \eta_e}{\varepsilon - h_L} \left(1 + \frac{\zeta_w \text{Re}_G}{8\varepsilon \cos \theta} \right) \frac{\text{Re}_G}{\text{Ga}_G} + \frac{32}{\cos^2 \theta} \frac{\varepsilon^2 \eta_e^2}{(\varepsilon - h_L)(\eta_e \varepsilon - h_L)^2} \left\{ 1 + \frac{\zeta_w [\eta_e \text{Re}_G + (\eta_e \varepsilon - h_L) \text{Re}_i]}{8\eta_e \varepsilon \cos \theta} \right\} \frac{\eta_e \text{Re}_G + (\eta_e \varepsilon - h_L) \text{Re}_i}{\text{Ga}_G} \quad \text{Ec. 2.119}$$

$$\Psi_L = \frac{32\eta_e^2}{\cos^2 \theta} \frac{\varepsilon^2}{h_L^3} \left(1 + \frac{\zeta_w \text{Re}_L}{8\eta_e \varepsilon \cos \theta} \right) \frac{\text{Re}_L}{\text{Ga}_L} - \Psi_G \frac{\rho_G}{\rho_L} \left(\frac{\eta_e \varepsilon}{h_L} - 1 \right) \quad \text{Ec. 2.120}$$

$$\eta_e = -\frac{h_L^2 \cos^2 \theta}{64\varepsilon} \frac{\rho_G}{\rho_L} \frac{\text{Ga}_L}{\text{Re}_L} + \frac{h_L^2 \cos \theta}{8\varepsilon} \left(\frac{\text{Ga}_L}{\text{Re}_L} \right)^{1/2} \sqrt{\frac{4}{3h_L} \left(1 + \frac{3\rho_G}{2\rho_L} \right) + \frac{\cos^2 \theta}{64} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^2 \frac{\text{Ga}_L}{\text{Re}_L}} \quad \text{Ec. 2.121}$$

En éstas, θ , ángulo de inclinación de las placas idealizadas, corresponde al ángulo de corrugación del empaque. Los números de Reynolds y de Galileo, tanto para el gas como para el líquido, se definen como:

$$\text{Re} = \frac{u d_{eq} \rho}{\mu}, \quad \text{Ec. 2.122}$$

$$\text{Ga} = \frac{d_{eq}^3 g \rho^2}{\mu^2}, \quad \text{Ec. 2.123}$$

y el número de Reynolds para la interfaz gas-líquido se determina por la expresión:

$$\text{Re}_i = \frac{u_{il} d_{eq} \rho_g \cos \theta}{\mu_g}, \quad \text{Ec. 2.124}$$

en la cual u_{il} corresponde a la velocidad del gas o del líquido, en la interfaz, y se evalúa así:

$$u_{il} = \frac{h_L g \cos \theta}{\eta_e^2 a_p^2} \left(\frac{h_L \Psi_L}{2\nu_L} + \frac{(\eta_e \varepsilon - h_L) \Psi_G \rho_G}{\nu_L \rho_L} \right) \quad \text{Ec. 2.125}$$

El factor de fricción de pared en las Ecs 2.119 y 2.120 debe determinarse a partir de los datos de caída de presión en una sola fase. Los autores proponen que se emplee una expresión del tipo Ergun.

3. DISEÑO DE COLUMNAS EMPACADAS

En el capítulo anterior se consideraron los fenómenos que determinan la hidráulica en torres empacadas, y se presentaron algunas de las correlaciones o modelos disponibles para su predicción. En este capítulo se muestra cómo intervienen estos fenómenos en el diseño de una columna nueva o en la evaluación de columnas existentes y se hace una descripción gruesa de las demás etapas involucradas en el diseño.

El diseño de una torre empacada está determinado por aspectos relativos tanto a la transferencia de masa y de calor como al comportamiento hidráulico. Generalmente los primeros determinan la altura del lecho, mientras que de los segundos depende el diámetro de la columna. Especial consideración merece, adicionalmente, el diseño de los constituyentes internos, los equipos auxiliares, las líneas de interconexión y el sistema de control.

El diseño definitivo es el resultado de un proceso de optimización que necesariamente involucra los costos de fabricación, instalación, puesta en marcha y operación del equipo, entre otros.

3.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO

El diámetro de una torre empacada se determina, en general, por su comportamiento hidráulico. En el proceso de diseño de una columna son muchas las variables involucradas y el número de grados de libertad siempre es mayor que cero, por lo que el diseñador debe definir algunas especificaciones.

La condición de diseño, velocidad o caída de presión del gas, se establece de forma tal que la columna opere lo más cerca de la condición de máxima eficiencia, pero suficientemente alejada de la región en la ésta disminuye rápidamente. Para ello se ofrecen diversas recomendaciones basadas en la experiencia y que involucran la determinación de la condición de inundación, de la capacidad máxima de operación o de la caída de presión, conceptos que al fin de cuentas están íntimamente relacionados.

De acuerdo con lo anterior las torres empacadas usualmente se diseñan para operar entre el 70 y el 80% (Kister, 1992) de la velocidad del gas que corresponde al punto de inundación. Strigle recomienda diseñar las torres empacadas con un margen del 10 al 20% de su capacidad máxima de operación y ésta se encuentra alrededor de un 5% por debajo del punto de inundación (Strigle, 1994), lo cual equivale a diseñar entre el 76 y el 86% de la velocidad de inundación. La Tabla 3.1 recoge algunos criterios de máxima caída de presión.

Tabla 3.1 Máxima caída de presión recomendada para columnas empacadas (Kister, 1992)

Operación/Sistema	Máxima caída de presión (Pa/m)
Destilación	
atmosférica	410 – 820
media a baja presión	410 – 820
alta presión	$C_{P1} F_P^{0.7} (\rho_L / \rho_W)^1$
al vacío	40 – 80
sistemas espumantes	80 – 200
Absorción	
sistemas no espumantes	200 – 325
sistemas espumantes	200
con aminas	200
carbonato caliente	250
secado de cloro	80 – 120
absorción de SO ₃	200 – 250
atmosférica	160 – 325
a presión	410 – 820
Regeneración	
de gas inerte en sistemas espumantes	200
de vapor en sistemas espumantes	250
de aminas	250
carbonato caliente	325
Despojadores	
con agua	500
con líquidos diferente al agua	325
sistemas espumantes	290

3.2 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA

La altura de una columna empacada depende de los requerimientos de separación y de la eficiencia del empaque. Para determinar la eficiencia de un empaque se han propuesto dos conceptos. El primero, basado en los modelos de equilibrio, permite una comparación directa con las columnas por etapas y el segundo emplea los modelos de velocidad de transferencia de masa.

¹ Para ρ_L / ρ_W entre 0.06 y 0.2 $C_{P1} = 0.19$; y para ρ_L / ρ_W mayor a 0.2 $C_{P1} = 0.099$.

3.2.1 Altura Equivalente a un Plato Teórico

Una forma de evaluar la eficiencia de un empaque es mediante el concepto de altura equivalente a un plato teórico (HETP, de las siglas en inglés). Dado un sistema puede determinarse el número de platos teóricos (n) para lograr la separación requerida por cualquiera de los métodos disponibles (matriz tridiagonal, métodos de relajación, etc.) de manera tal que, conocida la HETP, la altura de la torre se evalúa como:

$$Z = n(\text{HETP}) \quad \text{Ec. 3.1}$$

Para determinar la HETP se han propuesto diferentes correlaciones: Strigle, 1994, y Whaley, 1999.

3.2.2 Altura de una Unidad de Transferencia

Una mejor aproximación al comportamiento real de una torre empacada se consigue por medio del concepto de unidad de transferencia, el cual se fundamenta en modelos de transferencia de masa entre fases, en contacto continuo. El número de unidades de transferencia (NTU) viene dado por ecuaciones de la forma:

$$NTU = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y^* - y}, \quad \text{Ec. 3.2}$$

y la altura de una unidad de transferencia se calcula con expresiones tales como

$$HTU = \frac{G_m}{A_T k_{OG} a_e P}, \quad \text{Ec. 3.3}$$

que exigen conocer el coeficiente global de transferencia y el área interfacial específica efectiva, los cuales pueden calcularse con base en diversos métodos de estimación y correlaciones que ofrece la literatura (Billet y Schultes, 1995; Bravo y Fair, 1998; Djebbar y Narbaitz, 1998; Piché *et al*, 2001).

3.3 DISEÑO DE CONSTITUYENTES INTERNOS

Los constituyentes internos, tal como se señaló en el primer capítulo, son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la columna. Sin embargo, la información relativa a su diseño es escasa y la literatura abierta, a cambio, considera el tema desde el punto de vista de su adecuada selección. Diversos fabricantes han publicado algunos manuales como ayuda para un diseño preliminar.

Billet (1995) aborda la distribución de fases (distribuidores y redistribuidores de líquido y sistemas de alimentación) desde los fundamentos teóricos y desarrolla varias expresiones para el diseño. A

manera de ilustración, en la Figura 3.1 se presentan las dimensiones típicas de torres empacadas a escalas de laboratorio e industrial.

3.4 SISTEMAS DE CONTROL

Un paso importante en el diseño de columnas de separación, empacadas o de platos, es la especificación del sistema de control. El principal objetivo de cualquier sistema de control automático es el mantenimiento del estado de operación deseado sin intervención humana. Esto requiere la habilidad para prevenir o suprimir automáticamente las perturbaciones que pueden resultar como consecuencia de cambios en las variables que intervienen en la operación.

En general, un sistema de control de procesos consiste de un gran número de lazos de control que pueden interactuar entre sí. Los problemas más relevantes del control de columnas de separación se originan en las interacciones entre lazos y variables, los retrasos o tiempos muertos en el proceso y en la medición, el gran número de variables que intervienen y las condiciones de no linealidad en el proceso.

Se ha propuesto una gran variedad de configuraciones diferentes para efectuar el control, cuya descripción y análisis quedan por fuera del alcance de este trabajo. En todo caso, para seleccionar el sistema de control es necesario definir:

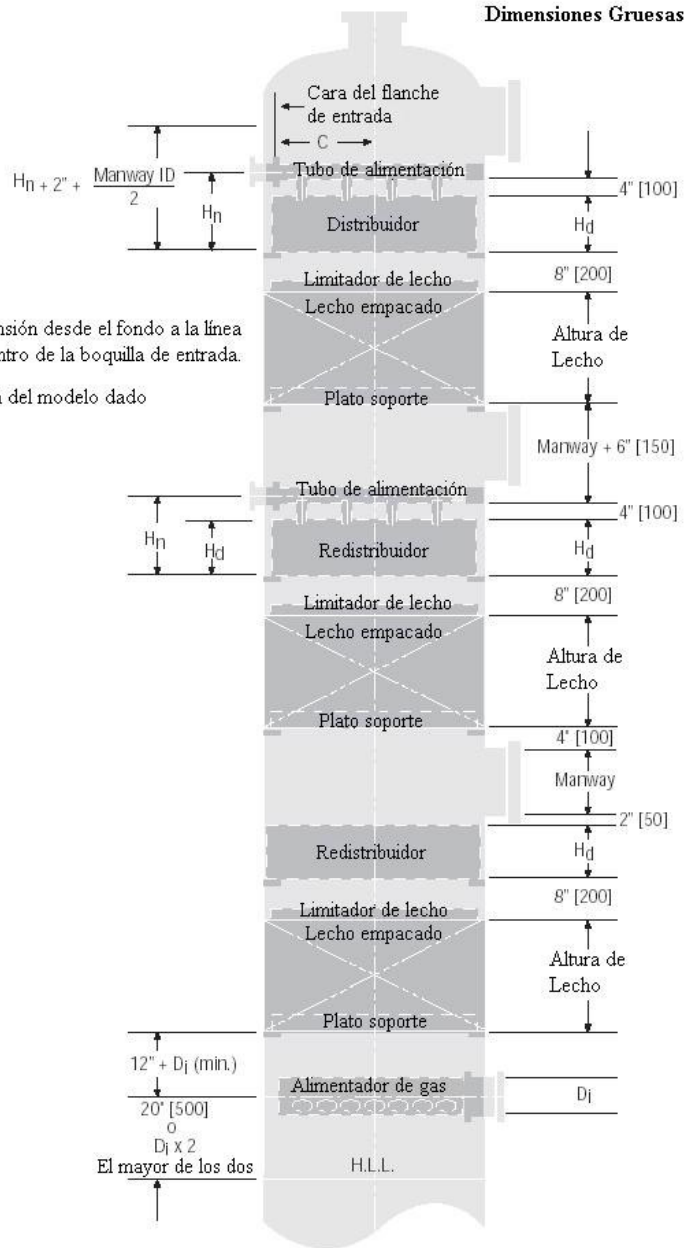
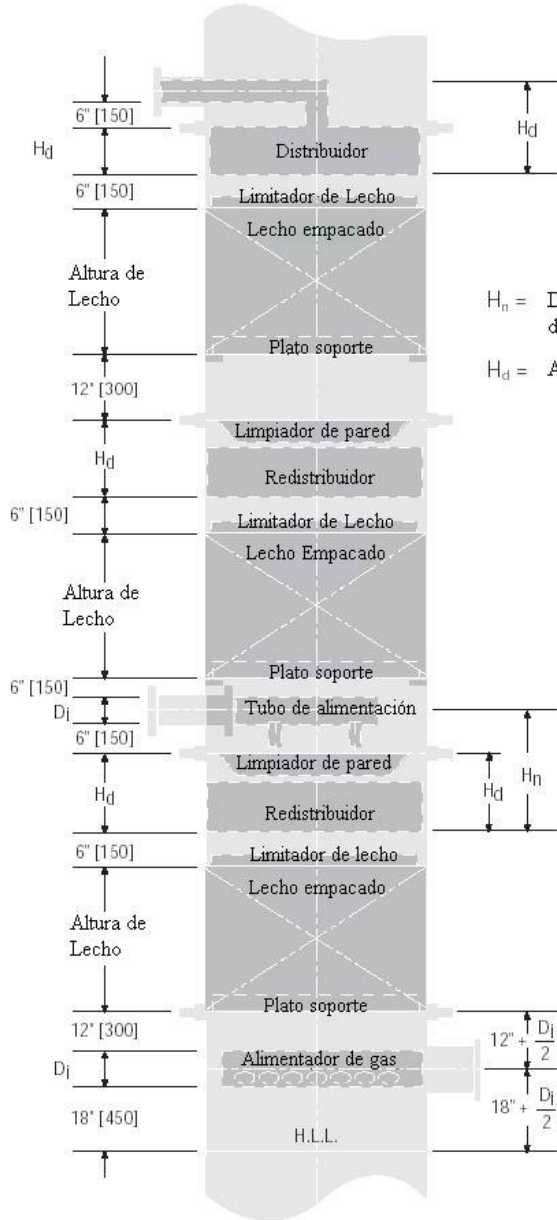
- Las variables a controlar.
- Las variaciones esperadas en la operación (perturbaciones o cambios en variables no controladas).
- El intervalo (rango) de operación de cada instrumento de control y el punto en el cual el instrumento aplicará una acción correctiva.
- La rapidez de respuesta de la columna a la acción del controlador (esto como consecuencia de los grandes tiempos muertos que se presentan en la columna debido a la retención).
- La manera de efectuar las acciones correctivas sin afectar la operación debido a una sobre-corrección. (con lo que se causaría el desbalance de la operación y el deterioro de la calidad de los productos).

Diámetros Pequeños
(Torres Bridadas)

Diámetros Grandes
(Los constituyentes internos y el empaque pasan a través de pasos de hombre para su instalación)

Dimensiones Guesas

Dimensiones Guesas



H_n = Dimensión desde el fondo a la línea de centro de la boquilla de entrada.
 H_d = Altura del modelo dado

■ Arreglo para alimento vaporizado no mostrado.

■ Los pasos de hombre de cada distribuidor no deben estar a $180^\circ \pm 10^\circ$ de la tubería de entrada.

■ Dejar 36 in. (H_n) para chimenea / colectores.

Figura 3.1 Dimensiones típicas de torres empacadas (Norton, 2001)

3.5 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El diseño de una unidad de separación aún no está completo cuando se han especificado los flujos, las dimensiones de la columna, los constituyentes internos y el esquema de control. Hace falta llevar a cabo el diseño mecánico de la columna, de los condensadores, de los rehervidores y de otros intercambiadores de calor, seleccionar las bombas, dimensionar las líneas, especificar los soportes y las fundaciones (bases y cimientos), como también elaborar el plano detallado de la unidad. En términos de las horas hombre requeridas, estos pasos constituyen la componente principal del ejercicio de diseño.

3.6 COSTOS

Entre todas las etapas del diseño, ninguna es más importante y llena de dificultades que la estimación de costos. En teoría, la precisión de los estimativos debe crecer a medida que el trabajo de diseño se acerca a su etapa final, de forma tal que aquel previo a la construcción debe estar dentro del 5% del valor real. Sin embargo, los precios pueden cambiar más rápido que la velocidad con la que se toman las decisiones.

Para realizar la evaluación económica de diferentes alternativas, el ingeniero cuenta con varias herramientas:

- Periodo de retorno de la inversión,
- Tasa interna de retorno,
- Valor presente neto y
- Relación costo/ beneficio.

Cualquiera de estas herramientas puede emplearse para seleccionar una de varias posibilidades, ya que en general la opción favorecida es la misma.

Para la evaluación de costos es necesario considerar en forma simultánea los equipos auxiliares, dado que su diseño se ve afectado por la variación del equipo principal. Entre los equipos auxiliares deben considerarse: acumuladores o tambores, compresores, condensadores, enfriadores, intercambiadores, hornos, bombas, rehervidores, tanques e instrumentación.

4. DISEÑO DEL MÓDULO DE CÁLCULO ¹

El desarrollo del trabajo demanda, entre otros aspectos, adquirir información y estructurar la aplicación. La información a buscar está asociada con la caracterización de empaques, al azar y estructurados, así como con los parámetros para la estimación de propiedades físicas de diferentes sustancias. El desarrollo del módulo, **un_HydrauliPack**, implica formular los algoritmos de cálculo, a partir de las expresiones presentadas en el capítulo dos, y diseñar la interfaz.

4.1 INFORMACIÓN SOBRE EMPAQUES

Se recopila la información disponible en la literatura abierta (libros, manuales y artículos), así como la ofrecida por quienes producen y proveen empaques. Para ello se realiza una búsqueda en Internet y se establece contacto directo con algunos fabricantes. En total se reúne la información correspondiente a 539 empaques, distribuidos así:

Tabla 4.1 Empaques incluidos en la base de datos

Material	Al azar	Estructurados	Total
Metal	145	81	226
Plástico	135	8	143
Cerámica	127	25	152
Vidrio	2	2	4
Carbón	14	-	14
Total	423	116	539

En el Apéndice A se presenta el resultado de esta recopilación. Allí se resumen las características geométricas y los parámetros para la evaluación del comportamiento hidráulico de los diferentes empaques. Los valores reportados corresponden al promedio de las diferentes fuentes cuando entre éstas no se halla el fabricante o a los que éste suministra. Entre los fabricantes contactados se encuentran: Rauschert Verfahrenstechnik GmbH, Koch-Glitsch Inc, Jaeger Products Inc, Chem-Pro Equipment Co, Lantec Products Inc, Envicon Engineering GmbH, Saint-Gobain NorPro Corporation, Clarkson Controls & Equipment Company, Chemetics International, Sulzer Ltd, Raschig GmbH, Ceilcote Air Pollution Control, Vereinigte Füllkörper-Fabriken GmbH Co, Julius Montz GmbH, Kühni AG, Beijing Zehua Chemical Engineering Co. Ltd, Fabco Products Co. y Towerflow Technologies.

¹ En el Apéndice H se presenta el proceso de desarrollo de la aplicación y se detalla su estructura interna. Esta información facilita el manejo y la actualización del módulo, en la perspectiva de mejorar su funcionalidad y alcance.

4.2 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

Evaluar la hidráulica de lechos empacados requiere conocer la densidad, la viscosidad y la tensión superficial del líquido, así como la viscosidad y la densidad del gas. Para la estimación de estas propiedades, si es que el usuario no especifica sus valores, se implementan varios de los métodos recomendados por Reid *et al* (1987).

En la Tabla 4.2 se indican los métodos incorporados al módulo de cálculo, y en el Apéndice C se presentan las expresiones correspondientes a cada uno de éstos y se indica en qué casos resulta adecuado utilizarlos. Los parámetros requeridos en la aplicación de los diferentes métodos se presentan en el Apéndice B para un total de 469 sustancias.

Tabla 4.2 Métodos de estimación implementados en el módulo

Propiedad	Gases	Líquidos
<i>Densidad</i>		
Sustancias puras y mezclas	Ecuaciones de estado de Van der Waals, Redlich-Kwong, Redlich-Kwong-Soave, Peng-Robinson y Joffe Barner-Adler.	Gunn-Yamada y Chueh-Praunitz modificado por Lyckman-Eckert-Praunitz.
<i>Viscosidad</i>		
Sustancias puras	Método de Chung-Ajlan-Lee-Starling y método de Lucas.	Método de Przedziecki-Sridhar y constantes reportadas por Reid.
Mezclas	Reglas de mezclado de Reichemberg, Wilke y Lucas.	Método Teja-Rice.
<i>Difusividad</i>		
Sistemas binarios	Chapman-Cooling, Wilke-Lee, Brokaw y Fuller-Schettler-Giddings.	Wilke-Chang, Scheibel, Reddy-Doraiswamy, Lysis-Ratcliff, Siddiqi-Lucas, Hayduk-Minhas (para n-Alcanos), King-Hsueh-Mao, Hayduk-Laudie, Hayduk-Minhas y Siddiqi-Lucas para mezclas polares.
Sistemas multicompuestos	Ley de Blanc.	Ecuaciones de Perkins-Geankopolis y de Wilke-Chang modificada de Perkins-Geankopolis
<i>Tensión superficial</i>		
		Eötvös, Ramsey-Shield-Eötvös, Brock-Bird, Brock-Bird-Riedel y Brock-Bird-Miller

4.3 ALGORITMOS DE CÁLCULO

Para efectuar los procedimientos iterativos se escoge el método de Newton-Raphson con la fórmula de recurrencia:

$$z_{i+1} = z_i - \frac{f(z_i)}{f'(z_i)}, \quad \text{Ec. 4.1}$$

expresión que se deriva de la expansión en series de Taylor:

$$f(z_{i+1}) = f(z_i) + f'(z_i)(z_{i+1} - z_i) + \frac{f''(\xi)}{2}(z_{i+1} - z_i)^2, \quad \text{Ec. 4.2}$$

cuyo último término representa el error.

Para determinar $f'(z_i)$ se hace uso del método de diferencias finitas de alta precisión. Las tres opciones para efectuar este cálculo son:

- Diferencias progresivas

$$f'(z_i) = \frac{-f(z_{i+2}) + 4f(z_{i+1}) - 3f(z_i)}{2h} \quad \text{Ec. 4.3}$$

- Diferencias regresivas

$$f'(z_i) = \frac{3f(z_i) - 4f(z_{i-1}) + f(z_{i-2})}{2h} \quad \text{Ec. 4.4}$$

- Diferencias centradas

$$f'(z_i) = \frac{-f(z_{i+2}) + 8f(z_{i+1}) - 8f(z_{i-1}) + f(z_{i-2})}{12h} \quad \text{Ec. 4.5}$$

En la Figura 4.1 se presenta la secuencia de actividades necesarias para calcular una columna nueva. En este caso, además de especificar la información mínima: temperatura, presión, flujos de gas y de líquido y composiciones, debe establecerse un criterio de diseño.

Tal como se sugirió, es posible definir los valores de las propiedades de las corrientes u optar por la aplicación del Programa que permite calcularlas. El procedimiento iterativo c-d-e (Fig. 4.1) se efectúa con el método de Newton-Raphson y el cálculo de diferencias con los primeros tres términos de la serie de Taylor (Ecs. 4.3, 4.4 y 4.5). Si se trata de evaluar el comportamiento hidráulico de una torre existente se omiten los pasos c y e.

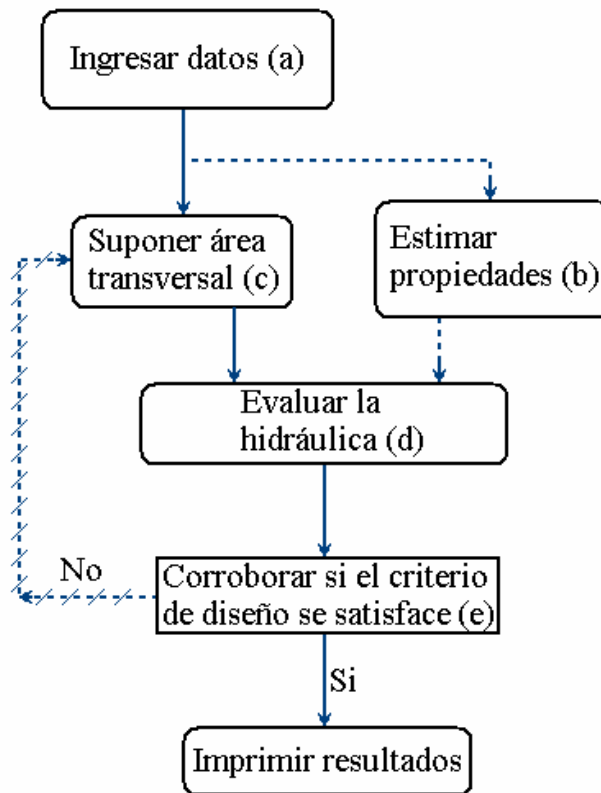


Figura 4.1 Flujo de actividades en el módulo de cálculo.

4.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ

El desarrollo del módulo se realiza en Visual Basic® 6.0, lenguaje que se selecciona gracias a las facilidades inherentes para la creación de la interfaz gráfica de usuario (GUI), y a la potencialidad que como lenguaje multipropósito posee BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code).

La información concerniente a la caracterización de empaques y a las propiedades físicas de sustancias se organiza en una base de datos desarrollada en MS Access® 97. Se emplea el motor de acceso de datos Jet, por medio de instrucciones en el Lenguaje Estructurado de Consulta (SQL).

El programa se estructura en la forma de una interfaz de documentos múltiples (MDI), común a otros programas en ambiente Windows, y se incorporan ciertas características que facilitan el empleo de la aplicación: barras de herramientas, barra de estado, menús emergentes, información sobre herramientas y cuadros de diálogo con fichas.

La descripción detallada de cada una de las ventanas (formularios y cuadros de diálogo) y las instrucciones acerca de su utilización se presentan en el Manual del Usuario (Apéndice D).

5. RESULTADOS

Para evaluar el módulo de cálculo desarrollado, **un_HydrauliPack**, se comparan los resultados obtenidos al emplear algunas de las correlaciones implementadas, con los reportados por los simuladores Aspen Plus® y Hysys® y con la información experimental correspondiente. También se resuelve un problema de diseño por medio de diferentes correlaciones con **un_HydrauliPack** y con los dos simuladores comerciales y, finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad en el último caso de estudio mencionado frente a la variación en las cargas de gas y de líquido.

5.1 COMPARACIÓN CON DATOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales que se emplean para realizar las comparaciones en los primeros dos casos de estudio corresponden a los reportados por Billet (Billet, 1995). En ambos, Billet presenta gráficamente¹ la información de caída de presión contra velocidad de gas, en términos del parámetro de flujo del gas, e indica las condiciones de operación de la columna y sus características geométricas. Los demás datos, flujo y composición de las corrientes, se adecúan con el propósito de replicar el valor de la relación de flujos que Billet establece.

Tal como se menciona en la sección 4.3, al módulo se alimentan los flujos de las corrientes, los valores de las propiedades físicas pertinentes y, de ser necesario, la presión y/o la temperatura². Cuando el usuario no especifica los valores de una o más propiedades físicas, debe seleccionar las correlaciones para calcularlas, y establecer la composición, la presión y la temperatura de las corrientes limitantes, esto es, aquellas cuyo caudal es mayor y con base en las cuales debe calcular el diámetro de la columna y, por ende, su sección transversal.

Es muy importante no perder de vista que cuando el único objetivo es realizar la evaluación hidráulica de un lecho empacado, aparte de la caracterización del empaque, la información indispensable corresponde sólo a flujos, densidad y viscosidad de las corrientes, y tensión superficial del líquido. Estrictamente hablando, no importa el grado de separación, ni las composiciones.

¹ Así, los datos a los que se alude como reportados por Billet, son en realidad leídos de las gráficas que él presenta.

² En algunas correlaciones se emplea como referencia la presión de operación y/o la temperatura de las corrientes. Por ejemplo, la correlación de Robbins emplea como criterio de decisión la presión de operación (Ecs. 2.42 y 2.44); en otros casos es necesario estimar propiedades para sustancias de referencia, como en el caso de las expresiones de Leva y Eckert, que requieren conocer la densidad del agua, o como en la correlación de Kuzniewska y Lach que requiere la densidad y la viscosidad del agua y del aire como referencias.

Los resultados obtenidos se presentan en forma gráfica y se emplean las mismas coordenadas que utiliza Billet, con el parámetro de flujo definido como:

$$F_V = u_G \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Primero se comparan los resultados de caída de presión obtenidos por medio de **un_HydrauliPack** con los generados a partir del simulador para una misma expresión, por lo que es de esperar una muy buena correspondencia. Las diferencias, si se presentan, sólo pueden explicarse con base en la valoración de las propiedades físicas y/o en el valor de los parámetros de caracterización de los empaques (factor de empaque, fracción vacía, área superficial específica, etc.). Luego se extiende la comparación a diferentes correlaciones incluidas en **un_HydrauliPack**, así como a diversos tipos de empaque.

5.1.1 CASO 1: DESTILACIÓN DE ETILBENCENO / ESTIRENO

Billet estudió la rectificación de mezclas de etilbenceno/estireno en una columna empacada experimental de 500 mm de diámetro y 2 m de altura de lecho, a una presión de 67 mbar (Billet, 1995). Los datos de caída de presión ($\Delta P/Z$) con el empleo de anillos Pall metálicos, para una relación de flujos líquido/gas igual a 1, se presentan en la tabla 5.1, en donde la caída de presión está en mbar/m, u_G en m/s y F_V en $\text{kg}^{1/2}\text{m}^{-1/2}\text{s}^{-1}$. La estimación de propiedades se realiza con la siguiente información: $T_G = 61.86$ °C; $T_L = 61.43$ °C; fracción molar del estireno en el líquido = 0.4721; fracción molar del estireno en el vapor = 0.3950.

Tabla 5.1 Caída de presión experimental reportada por Billet ³

Pall 15mm			Pall 25mm			Pall 50mm		
u_G	F_V	$\Delta P/Z$	u_G	F_V	$\Delta P/Z$	u_G	F_V	$\Delta P/Z$
0.86	0.60	1.00	0.89	0.62	0.50	0.65	0.45	0.25
1.21	0.84	1.75	1.28	0.89	1.00	1.14	0.79	0.50
1.49	1.03	2.50	1.56	1.08	1.50	1.84	1.28	1.00
2.08	1.45	4.50	2.12	1.47	2.50	2.37	1.64	1.75
2.42	1.68	6.75	2.44	1.69	3.25	2.75	1.91	2.75
2.89	2.01	9.88	2.79	1.94	5.38	3.12	2.17	3.50
			3.38	2.35	8.25	3.21	2.23	4.13
			3.80	2.64	11.63	3.63	2.52	6.38
						4.01	2.79	9.25

³ u_G se calcula a partir de F_V y de la densidad estimada para la corriente.

Los resultados de la simulación del sistema con el simulador Hysys[®] se presentan en el apéndice E.

La Tabla 5.2 recoge el valor de las propiedades físicas calculadas con **un_HydrauliPack**, el método de estimación empleado y, como referencia, el valor predicho por Hysys[®].

Tabla 5.2 Valor de las propiedades físicas estimadas con **un_HydrauliPack**

Propiedad	Método de estimación	un_HydrauliPack	Hysys [®]
Densidad del vapor (kg/m ³)	Peng-Robinson	0.2540	0.2569
Densidad del líquido (kg/m ³)	Gunn-Yamada	848.7	848.6
Viscosidad del vapor (cP)	Chung <i>et al</i> / Reichemberg	6.496 x 10 ⁻³	6.342 x 10 ⁻³
Viscosidad del líquido (cP)	Reid / Teja-Rice	4.897 x 10 ⁻¹	4.171 x 10 ⁻¹
Tensión superficial (dyna/cm)	Brock-Bird	25.48	25.46

En la Figura 5.1 se presenta la caída de presión calculada con Hysys[®] y con **un_HydrauliPack**, por medio de la ecuación de Robbins.

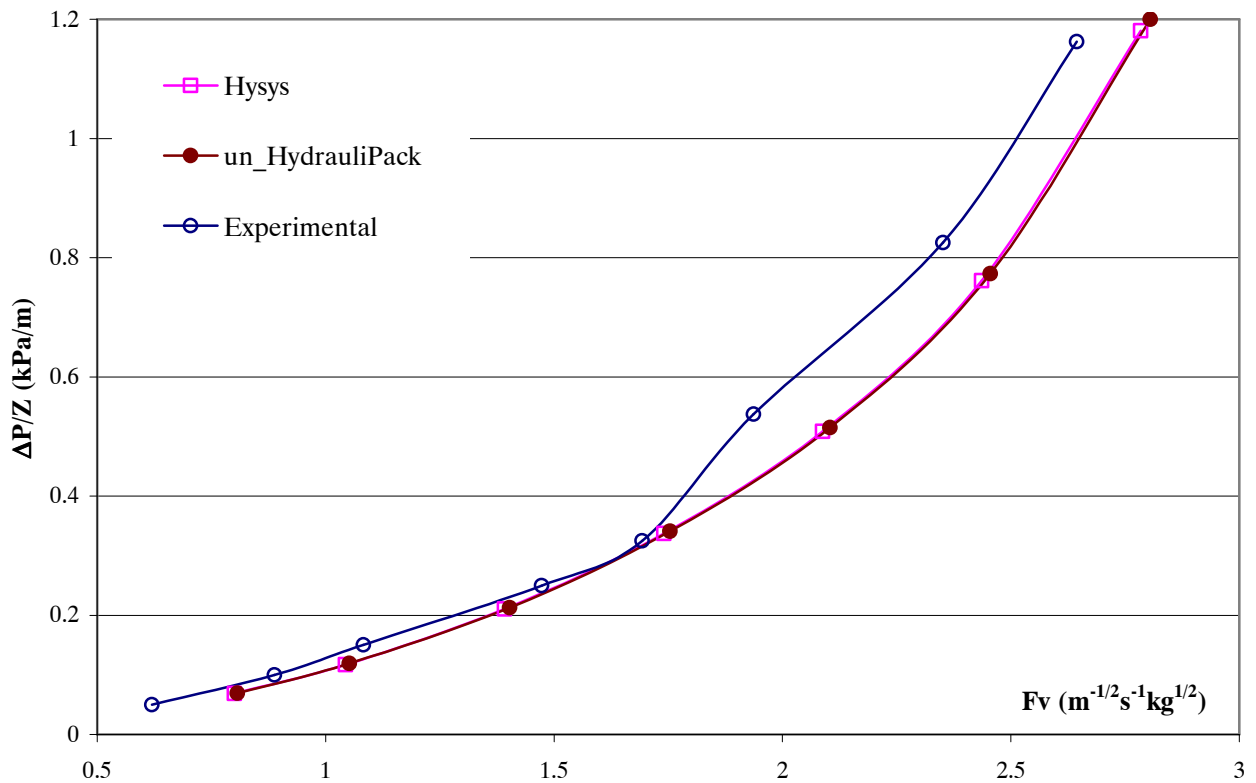


Figura 5.1 Caída de presión determinada para anillos Pall de 1 pulgada, con la ecuación de Robbins

Se observa una muy buena correspondencia entre los valores calculados con Hysys® y con **un_HydrauliPack**. Las desviaciones promedio y máxima son muy bajas: 1.5% y 2.2%, respectivamente. Sin duda, éstas se deben a las pequeñas diferencias en los valores de las propiedades físicas estimadas. La correspondencia señalada se verifica en la Figura 5.2, en la cual se presenta la caída de presión determinada para varios empaques metálicos, aleatorios, de 1 pulgada, y de diferentes generaciones. Entre estos se encuentra una desviación media de 1.38%.

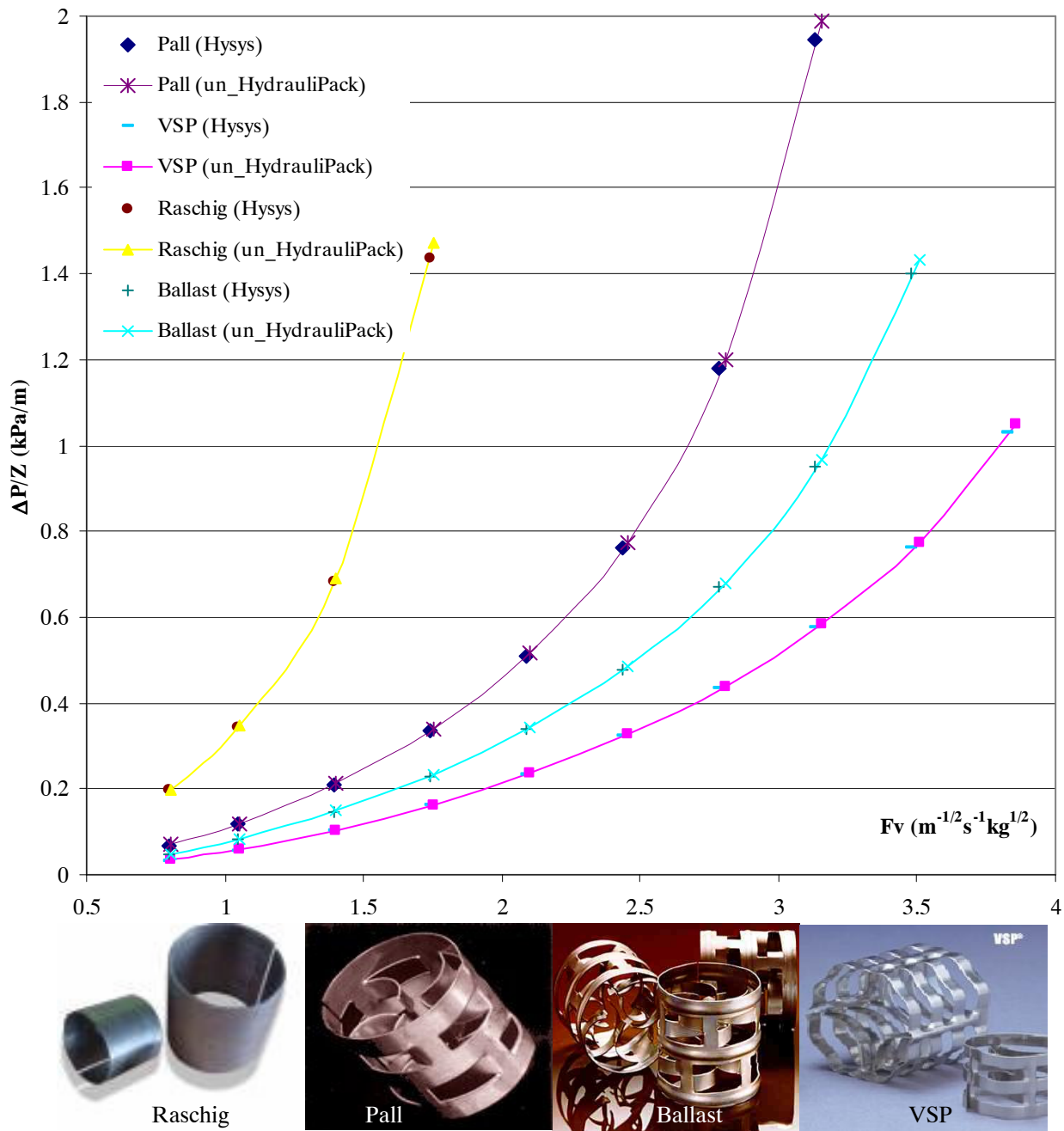


Figura 5.2 Caída de presión determinada para diferentes empaques metálicos de 1 pulgada, por medio de la ecuación de Robbins

Los resultados que se obtienen al aplicar algunas de las correlaciones implementadas se presentan en la Figura 5.3, para anillos Pall de 1 pulgada y en la Figura 5.4, para anillos Pall de 2 pulgadas. En el primer caso el mejor ajuste se logra con la ecuación de Stichlmair, con un error promedio de 9.6%. Para las otras correlaciones los errores, como porcentaje, son: 15.7, para Eckert; 16.6, para Prahl; 47.3, para Kister y Gill; 15.5, para Robbins; 24.1, para Piché; y 11.8, para Strigle.

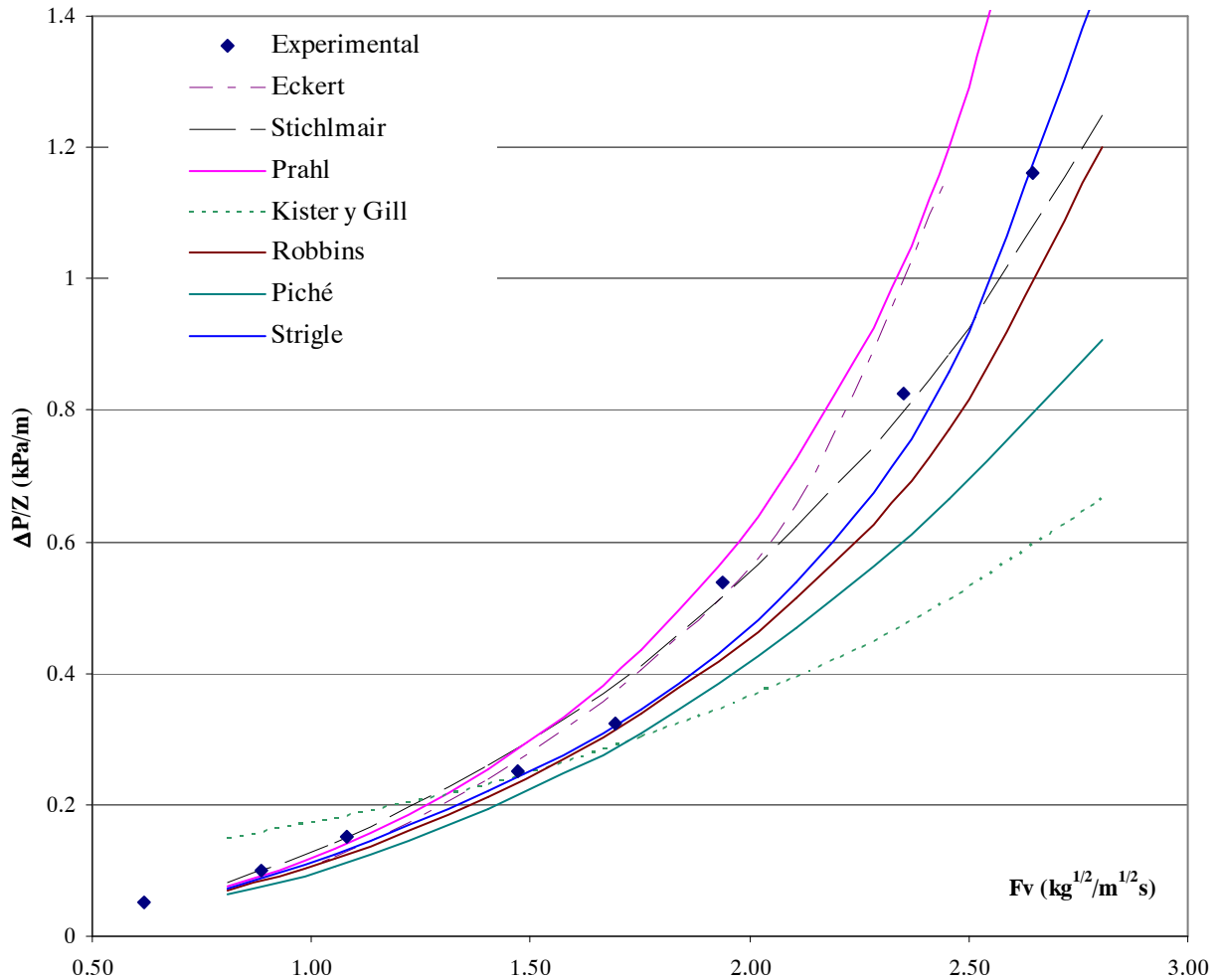


Figura 5.3 Caída de presión determinada para anillos Pall, metálicos, de 1 pulgada, por medio de diferentes correlaciones incluidas en **un_HydrauliPack**

En el segundo caso se observa un menor ajuste global con todas las expresiones, lo cual puede ser consecuencia de una falla inherente a casi todas las correlaciones desarrolladas con base en experimentación sobre columnas de diámetro pequeño. En estos casos, cuando se evalúan los empaques de mayor tamaño, los efectos de pared se vuelven considerables, en especial la canalización de flujo. Para la correlación de Prahl se logra el mejor ajuste, con un error promedio de 24.2%. Con las demás los errores son: 26.3, 45.8, 38.3, 40.4, 34.2 y 33.2%, para Eckert, Stichlmair, Kister y Gill, Robbins, Piché y Strigle, respectivamente.

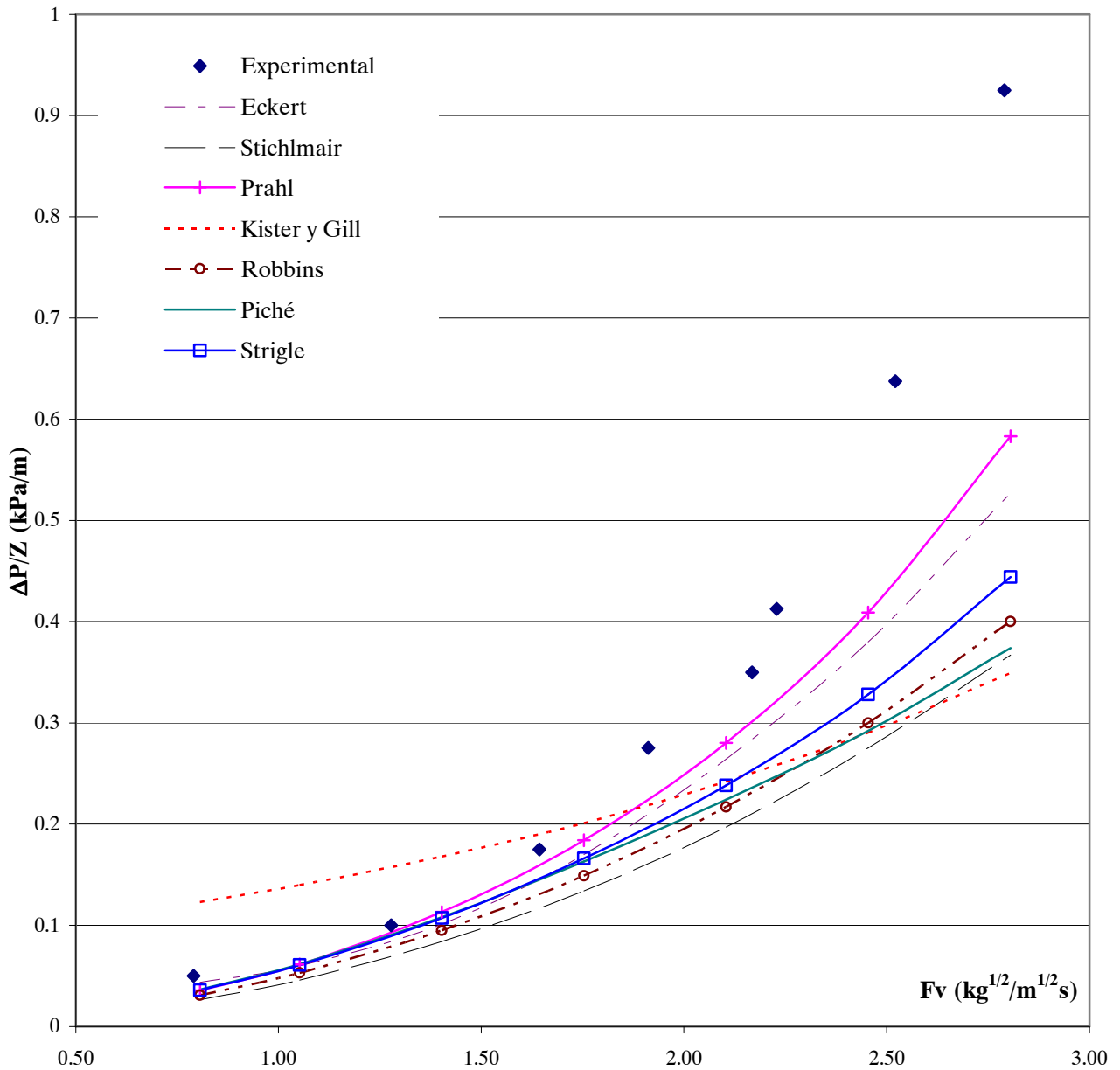


Figura 5.4 Caída de presión determinada para anillos Pall, metálicos de 2 pulgadas, por medio de diferentes correlaciones.

Finalmente se evalúa la confiabilidad de los resultados generados por **un_HydrauliPack** frente al simulador Hysys®, para lo cual se realiza un barrido de todos los empaques comunes a los dos programas. En la Tabla 5.3 se listan los empaques considerados, con sus respectivos materiales y tamaños.

Tabla 5.3 Empaques evaluados para la comparación entre Hysys® y un_HydrauliPack

Empaque	Material	Tamaños
<i>Empaques al azar</i>		
Ballast Plus	Metal	60 mm
Ballast Ring	Metal	1, 1.5, 2 y 3 ½ pulgadas
	Plástico	1, 1 ½, 2 y 3 ½ pulgadas
Berl Saddle	Cerámica	¼, ½, ¾, 1, 1 ½, y 2 pulgadas
Cascade Miniring	Cerámica	Nos 2, 3 y 5
	Metal	Nos 0, 1, 2, 3 y 4
Chempak	Metal	Nos 1 y 2
Hy-pak	Metal	1, 1.5, 2, y 3 pulgadas
Intalox Saddle	Cerámica	¼, ⅜, ½, ¾, 1, 2 y 3 pulgadas
Tripacks	Plástico	1, 1 ¼, 2 y 3 ½ pulgadas
VSP	Metal	25 y 40 mm
Lessing Experimental	Metal	1 ½ pulgadas
Levapack	Plástico	No 2
Maspac	Plástico	FN-200 y FN-90 (2 y 3 pulgadas)
IMTP	Metal	Nos 15, 25, 40, 50 y 70
Nutter Ring	Metal	Nos 0.7, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3
Pall Ring	Metal	⅝, 1, 1 ½, 2 y 3 ½ pulgadas
	Plástico	⅝, 1, 1 ½, 2 y 3 ½ pulgadas
Protruded Ring	Metal	¼ de pulgada
Raschig Ring	Carbón	¼, ½, ¾, 1, 1 ¼, 1 ½, 2 y 3 pulgadas
	Cerámica	¼, ⅝, ½, ⅝, ¾, 1, 1 ¼, 1 ½, 2 y 3 pulgadas
	Metal pared 1/32	¼, ⅝, ½, ⅝, ¾ y 1 pulgada
Super Intalox Saddle	Metal pared 1/16	½, ⅝, ¾, 1, 1 ¼, 1 ½, 2 y 3 pulgadas
	Cerámica	Nos 1 y 2
Tellerettes	Plástico	Nos 1, 2 y 3
	Plástico	Nos 1 y 2
<i>Empaques estructurados</i>		
Flexipac	Metal	1Y, 2Y, 3Y y 4Y
Gempak	Metal	0.75A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5A, 3A, y 4A
Glitsch gris	Metal	EF-25A
Goodloe	Metal	
Helipak	Metal	A, B, C
Hyperfil	Metal	
MaxPack	Metal	2
Montz Pack	Metal	A2
Neo Kloss	Metal	
Sulzer	Metal	BX

Cada uno de estos empaques se evalúa a diferentes flujos de gas y de líquido, bajo las condiciones descritas anteriormente. En la Figura 5.5 se reporta la caída de presión determinada por Hysys® contra la que se calcula con un_HydrauliPack.

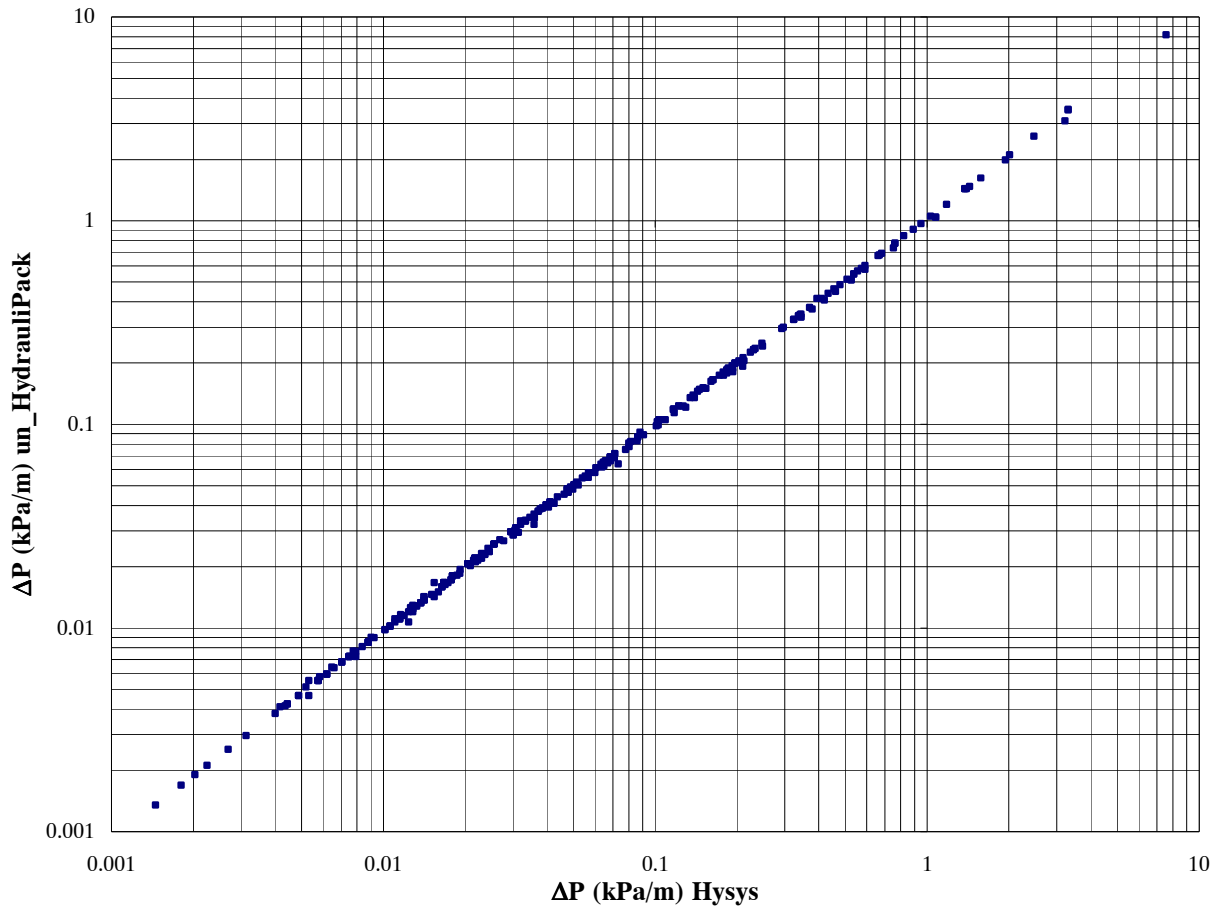


Figura 5.5 Comparación entre la caída de presión calculada por el simulador Hysys® y por un_HydrauliPack

Para medir la correlación entre los cálculos realizados con los dos programas se determina el valor de r^2 , el cuadrado del momento Pearson, que refleja el grado de linealidad. El momento Pearson se define como:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}}, \quad \text{Ec. 5.2}$$

donde x son los valores calculados en Hysys® y y los valores determinados por un_HydrauliPack. Cabe recordar que en este barrido las diferencias en el cálculo no se deben sólo a la variación en el valor de las propiedades estimadas, sino también a las que se presentan en los factores de empaque utilizados. El valor de r^2 calculado es 0.9996.

5.1.2 CASO 2: DESTILACIÓN DE CLOROBENCENO / ETILBENCENO

Billet reporta la caída de presión para diferentes empaques, estructurados y al azar, en una columna experimental de 0.22 m de diámetro y 1.5 m de altura de lecho. La columna opera a una presión de cima de 67 mbar, con una relación L/V igual a 1.0 (Billet, 1995). La estimación de propiedades se realiza con la siguiente información: $T_G = 55.81$ °C; $T_L = 55.78$ °C; fracción molar del clorobenceno en el líquido = 0.4976; fracción molar del clorobenceno en el vapor = 0.5404. Los datos de caída de presión para empaques al azar se presentan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Caída de presión experimental reportada por Billet para empaques al azar

Empaque	Fv	$\Delta P/Z$	Empaque	Fv	$\Delta P/Z$
<i>Pall 25mm</i>			<i>Top-Pak 50mm</i>		
	0.59	0.21		0.51	0.16
	0.78	1.06		0.61	0.22
	0.99	1.06		0.74	0.38
	1.21	2.02		1.12	0.60
	1.61	3.51		1.72	1.52
	1.82	4.47		2.29	2.99
	2.20	7.23	<i>Cascade</i>		
	2.33	8.30	<i>Miniring 1.5</i>	0.63	0.64
<i>Pall 38mm</i>				1.18	0.96
	0.78	0.53		1.33	1.28
	0.86	0.66		1.84	2.34
	1.61	1.98		2.24	3.72
	2.34	5.27		2.48	4.89
	2.68	7.38		2.77	7.34
<i>Pall 50 mm</i>				3.11	9.26
	1.06	0.60			
	1.65	1.41			
	2.31	2.77			
	2.44	3.53			
	2.80	4.84			

El reporte de la simulación realizada en Aspen Plus® se presenta en el Apéndice F.

La Tabla 5.5 recoge el valor de las propiedades físicas estimadas con los programas **un**_HydrauliPack, Aspen Plus® y Hysys®, así como el método empleado.

Tabla 5.5 Valor de las propiedades físicas estimadas, Caso 2

Propiedad	Método de estimación	un_HydrauliPack	Aspen Plus®	Hysys®
Densidad del vapor (kg/m ³)	Peng-Robinson	0.26956	0.26941	0.2727
Densidad del líquido (kg/m ³)	Gunn-Yamada	946.99	829.85	940.0
Viscosidad del vapor (cP)	Chung <i>et al</i> / Reichemberg	6.9198 x 10 ⁻³	7.4548 x 10 ⁻³	6.829 x 10 ⁻³
Viscosidad del líquido (cP)	Reid / Teja-Rice	5.1834 x 10 ⁻¹	4.8833 x 10 ⁻¹	5.101 x 10 ⁻¹
Tensión superficial (dyna/cm)	Brock-Bird	26.648	27.162	27.64

En la Figura 5.6 se presenta la caída de presión calculada por medio de la correlación generalizada de Eckert y de la ecuación de Stichlmair-Fair, para anillos Pall de 25mm, tanto con Aspen Plus® como con un_HydrauliPack. En las Figuras 5.7 y 5.8 se presenta lo correspondiente para anillos Pall de 38 y de 50mm, respectivamente.

Mientras que con la ecuación de Stichlmair se evidencia un buen ajuste entre las caídas de presión calculadas por medio de un_HydrauliPack y de Aspen Plus®, con la ecuación de Eckert las diferencias son considerables, motivadas por las variaciones en los valores estimados de la densidad del líquido (14.1%) y de la viscosidad del vapor (7.8%), y por probables diferencias en los factores de empaque utilizados. Cuando se ingresan al módulo los valores de las propiedades físicas estimadas con Aspen Plus®, la diferencia entre los dos cálculos se reduce considerablemente.

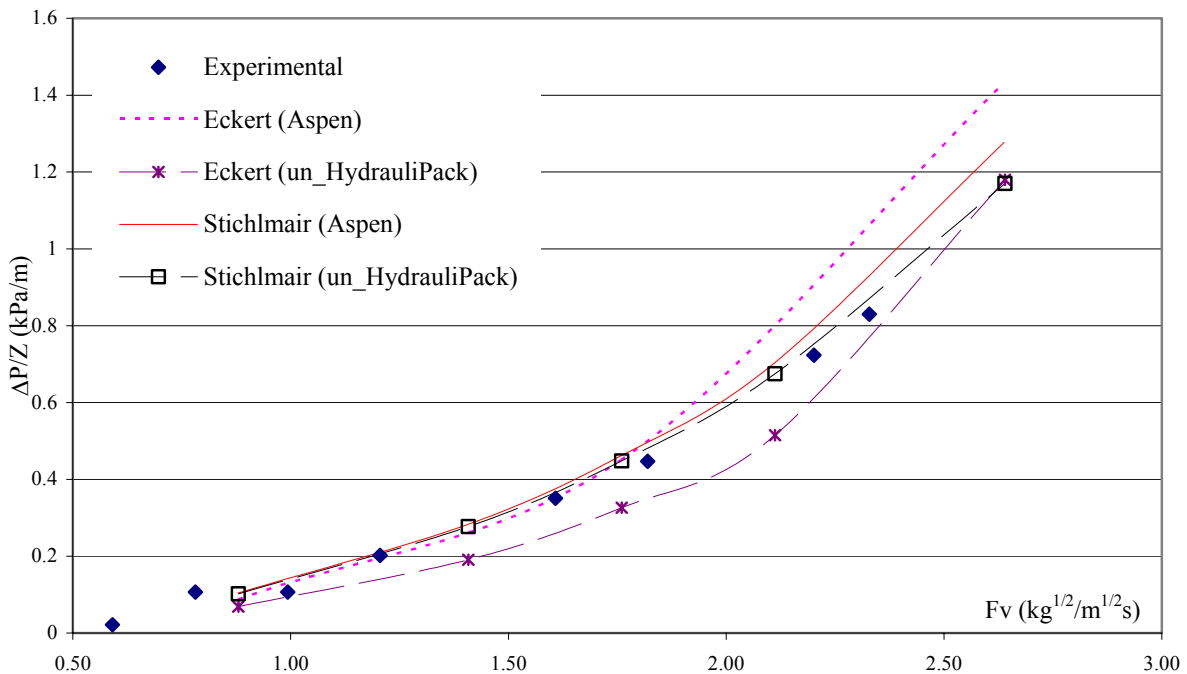


Figura 5.6 Caída de presión calculada para anillos Pall de 25mm

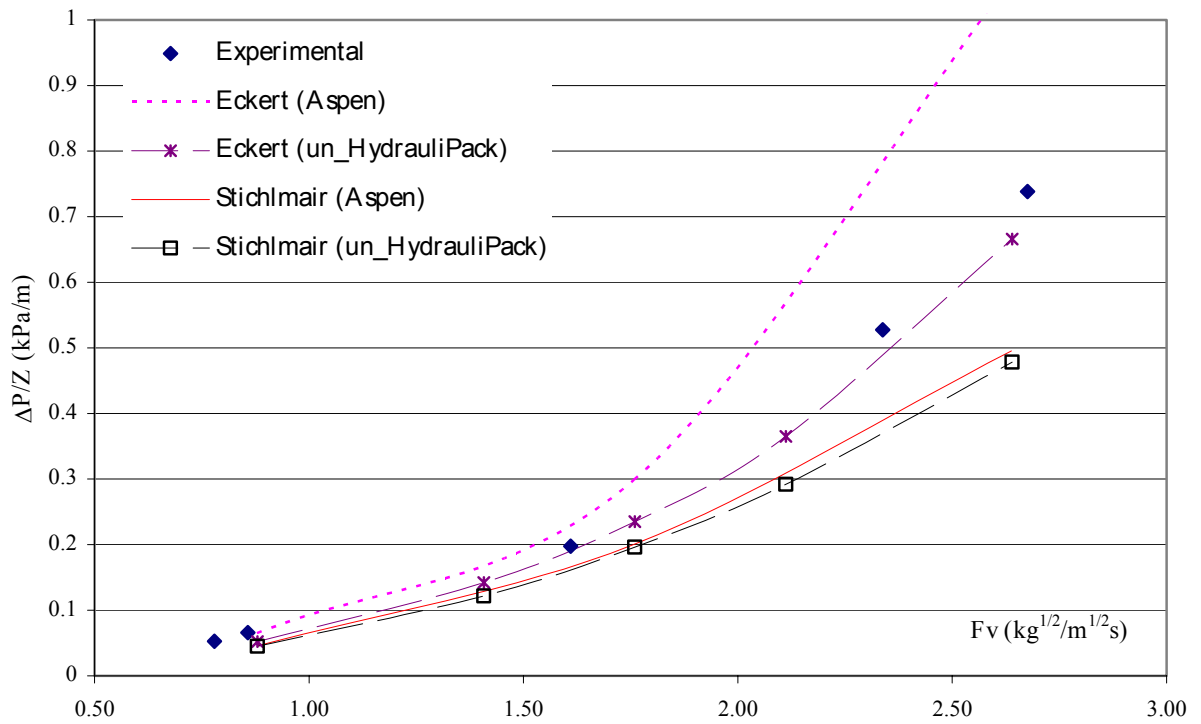


Figura 5.7 Caída de presión calculada para anillos Pall de 38mm

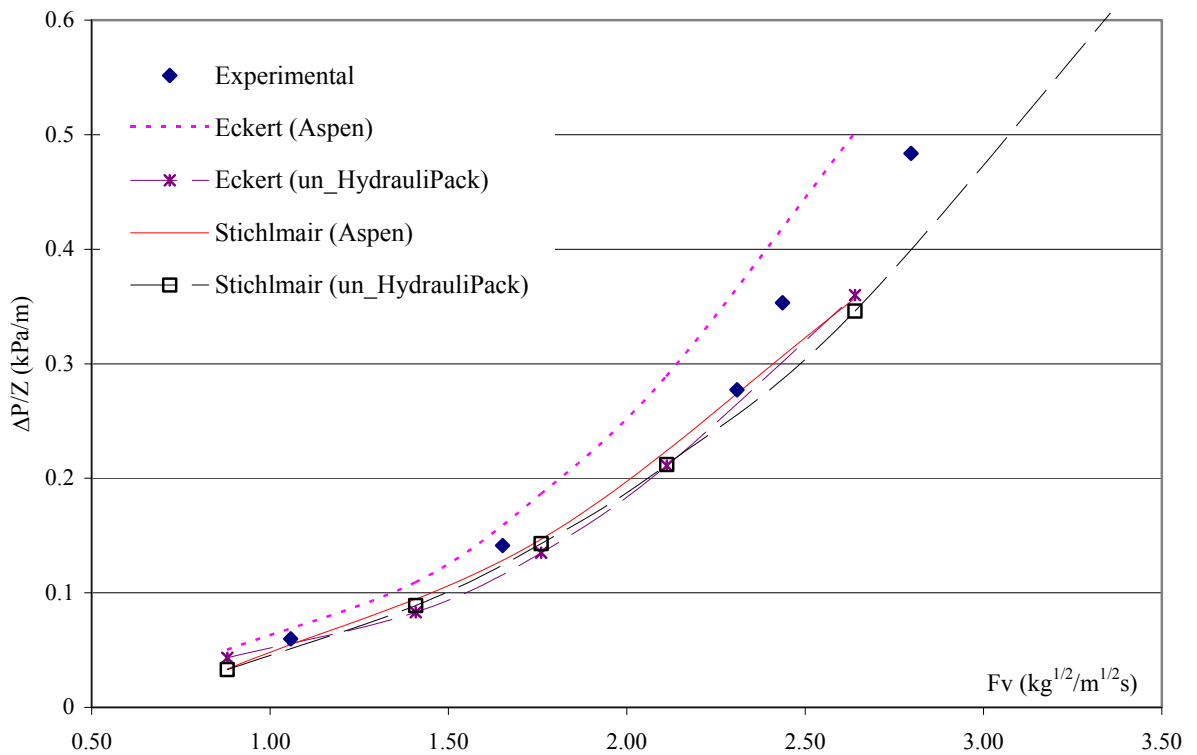


Figura 5.8 Caída de presión calculada para anillos Pall de 50mm

En la Figura 5.9 se presenta la caída de presión calculada por medio de diferentes correlaciones, cuando se utiliza el empaque Cascade MiniRing 1.5".

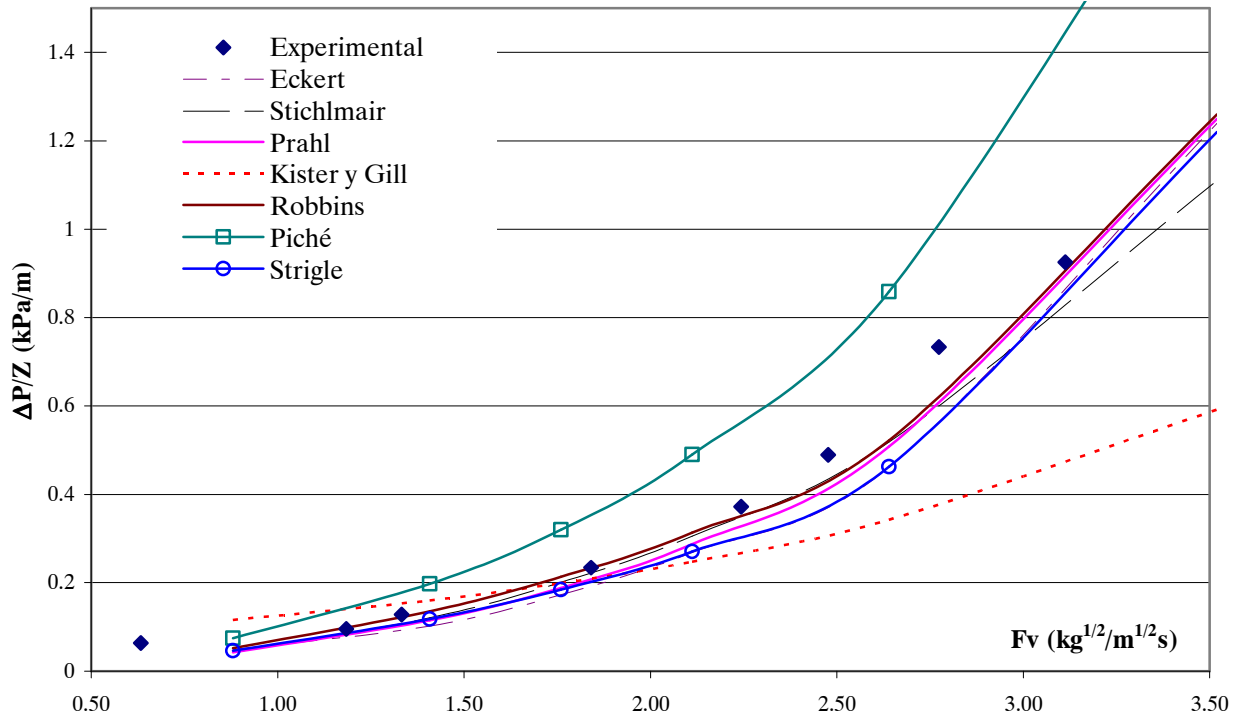


Figura 5.9 Caída de presión calculada para el empaque Cascade MiniRing 1.5", por diferentes correlaciones, con **UN_HydrauliPack**

En la Tabla 5.6 se presenta la caída de presión reportada por Billet, correspondiente a empaques estructurados.

Tabla 5.6 Caída de presión reportada por Billet para empaques estructurados

Empaque	F_v	$\Delta P/Z$	Empaque	F_v	$\Delta P/Z$
<i>Ralupac 250YC</i>	0.76	0.24	<i>Sulzer BX</i>	0.27	0.12
	1.08	0.47		0.80	0.47
	1.58	0.82		1.22	0.71
	1.99	1.06		1.50	1.06
	2.31	1.88		1.96	1.65
	2.85	4.35		2.38	2.94
	3.06	6.12		2.61	4.24
	3.12	6.35		2.87	6.00
3.24	6.82				

En este caso, primero se evalúa la caída de presión por medio de las correlaciones recomendadas para empaques estructurados, entre las implementadas en **un_HydrauliPack**, y cuyos parámetros se conocen. En la Figura 5.10 se muestran los resultados obtenidos y se incluye la caída de presión calculada con el programa Sulpak 2.1, módulo suministrado por Sulzer ltd.

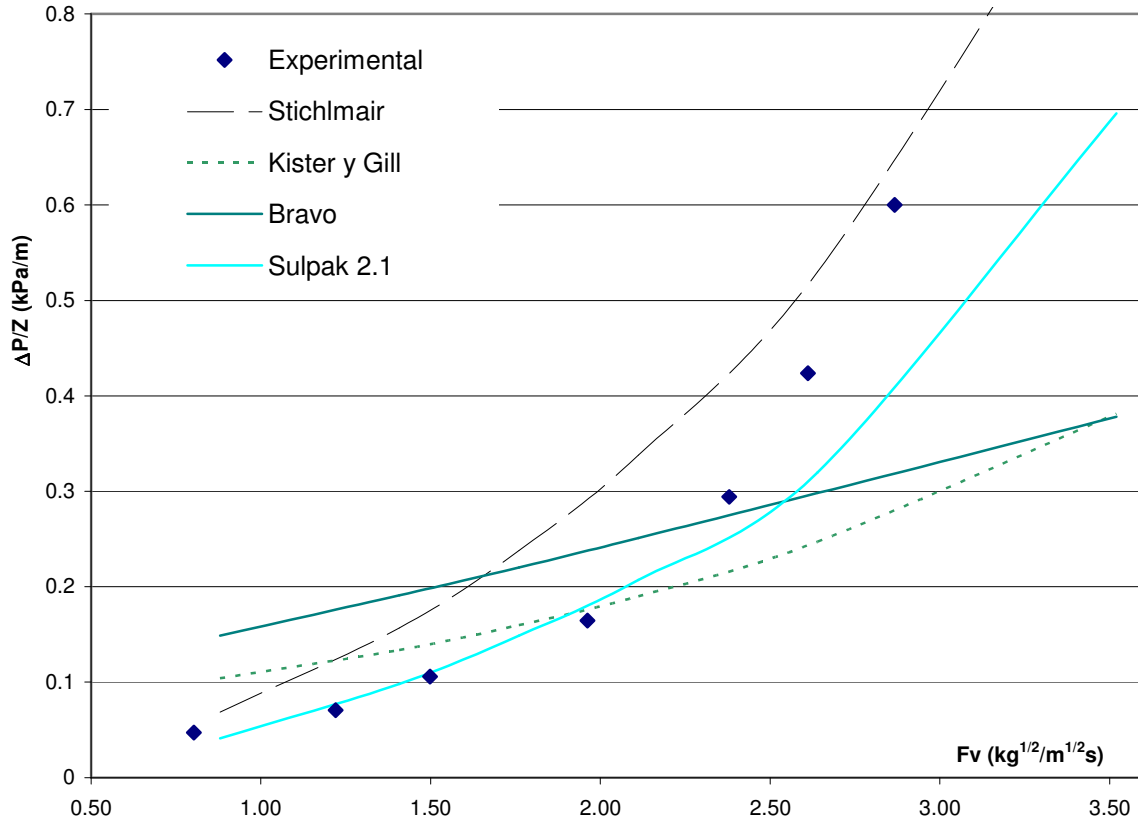


Figura 5.10 Caída de presión calculada para empaques estructurados

Es evidente que el mejor ajuste se logra con el programa propiedad del proveedor del empaque, caso en el cual el error promedio respecto al valor experimental es de 8%, para valores del parámetro de flujo por debajo de 2.5,¹ y el error máximo de 35.5%, cuando se considera el intervalo completo. Por otra parte, entre las correlaciones estudiadas sólo la de Stichlmair reproduce la tendencia en la caída de presión, aunque no logra un buen ajuste. En este caso el error promedio es de 44.7%.

En la Figura 5.11 se presenta la caída de presión determinada con las correlaciones originalmente desarrolladas para empaques al azar, pero cuyo uso se ha extrapolado a empaques estructurados, a los cuales se asignan factores de empaque más bajos. Como comparación se incluye la curva que corresponde a los resultados obtenidos con Sulpak 2.1.

¹ Es importante anotar que para valores del parámetro de flujo por encima de 2.5, el programa Sulpak 2.1 reporta que se ha superado el punto de carga, por lo que los resultados no son confiables.

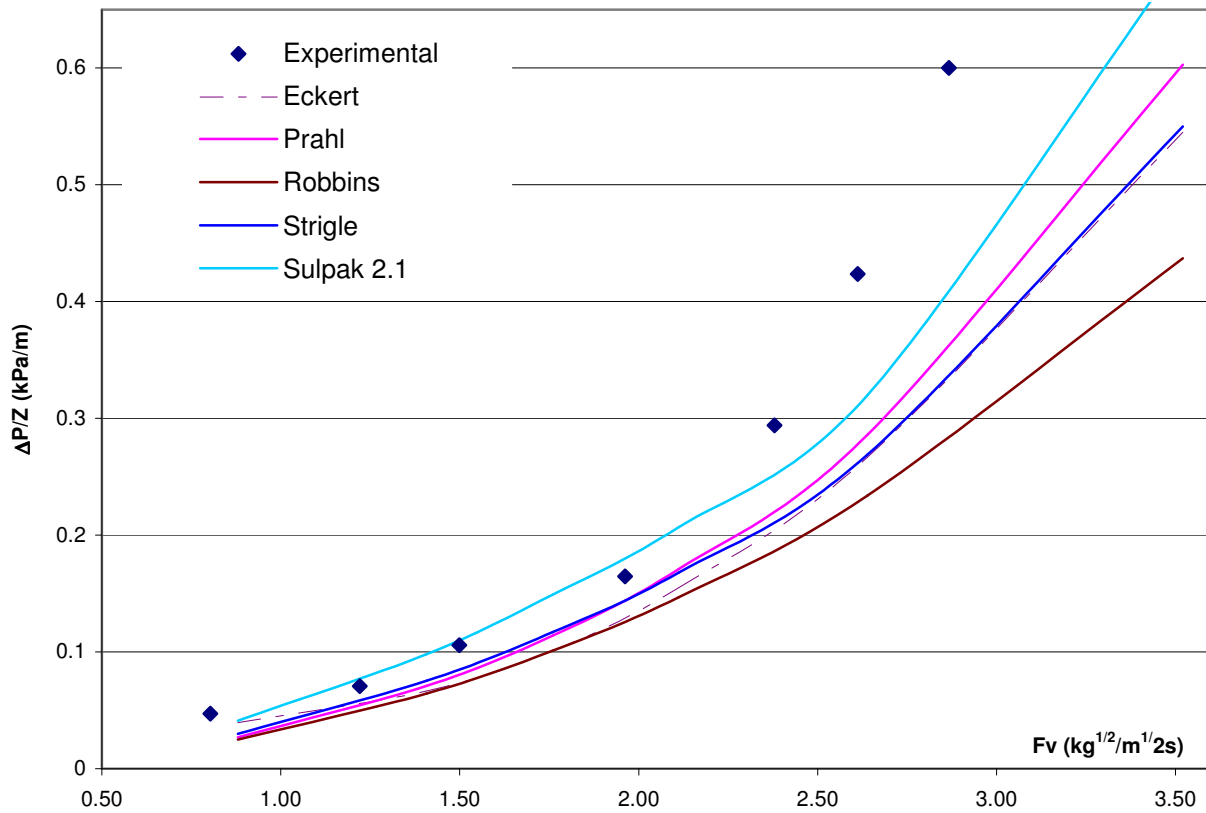


Figura 5.11 Caída de presión calculada para el empaque Sulzer BX por medio de diferentes correlaciones

Puede observarse que se presenta un mejor ajuste entre los valores experimentales y las caídas de presión calculadas con las correlaciones no específicas para empaques estructurados, que con aquellas recomendadas para estos tipos de empaque, en especial cuando los factores de flujo son menores que 2. Así, con la correlación de Strigle el error promedio es de 16.9%, si $F_v \leq 2$, y de 26.9% en el intervalo completo, con un máximo de 45.7%. Sin embargo, en todos los casos la predicción es optimista, lo cual implica un riesgo mayor y exige una atención especial por parte del diseñador.

En la Figura 5.12 se presenta la caída de presión determinada con el programa Sulpak 2.1, así como la que se obtiene al aplicar el modelo de Iliuta y Larachi (2001), reseñado en la última sección del capítulo dos (fluidodinámica computacional), e incluido en hoja de cálculo anexa al módulo **un_HydrauliPack**,

Dado que Iliuta y Larachi (2001) no especifican la forma de evaluar el factor de fricción, se decide comparar expresiones de dos clases: la primera del tipo Ergun, recomendada por Brunazzi y Paglianti (1997), y la segunda del tipo Stichlmair (1998), con las constantes ajustadas por el autor de este proyecto.

La expresión de Brunazzi y Paglianti es:

$$\zeta_w = E1 + \frac{E2}{Re_G}, \tag{Ec. 5.3}$$

mientras que la del tipo Stichlmair es:

$$\zeta_w = \frac{C1}{Re} + \frac{C2}{Re^{1/2}} + C3 \tag{Ec. 5.4}$$

Las constantes a emplear, específicas para el empaque Sulzer BX, son: $E1 = 0.0032$, $E2 = 0.47$, $C1 = 23.085$, $C2 = -1.884$, $C3 = 0.0419$.

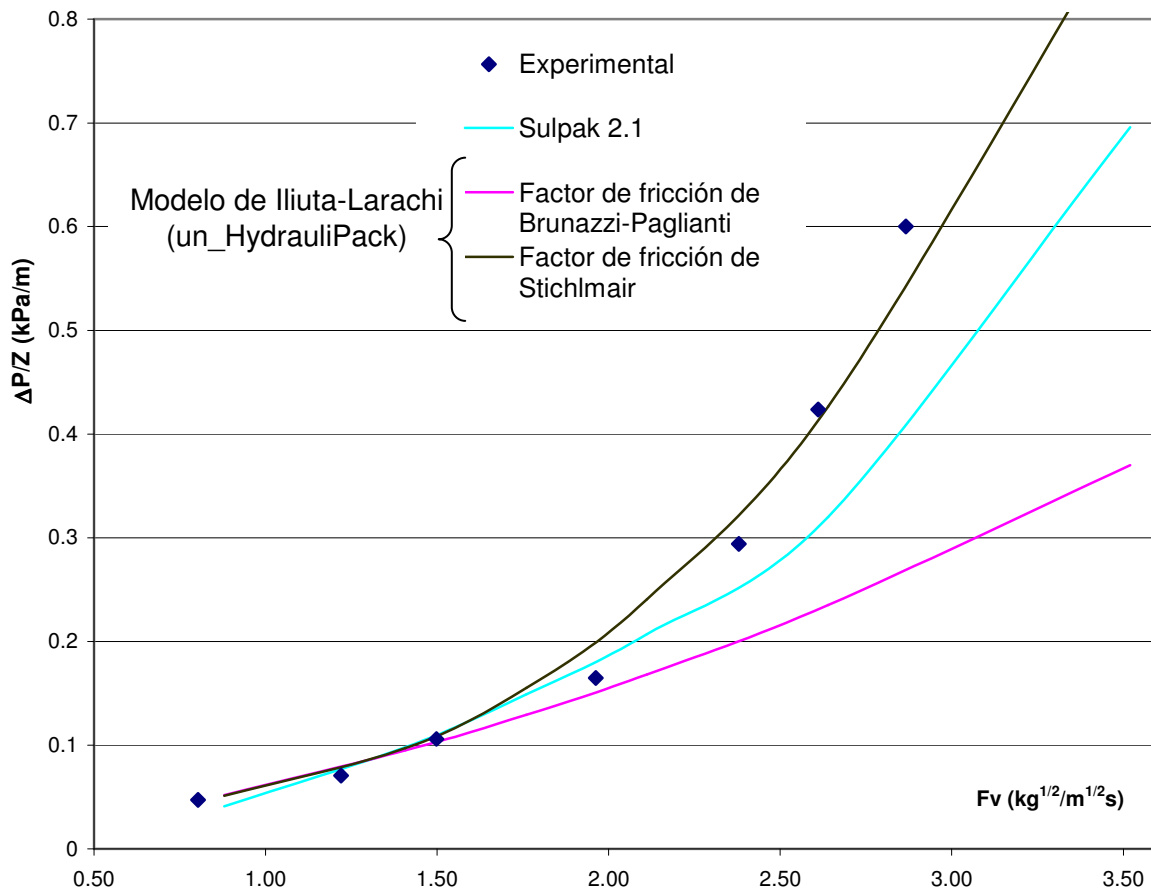


Figura 5.12 Caída de presión calculada para el empaque Sulzer BX con el modelo de Iliuta y Larachi (2001)

Es evidente el ajuste con los datos experimentales en el intervalo de F_v estudiado, cuando se emplea el modelo de Iliuta-Larachi con un factor de fricción tipo Stichlmair. Sin embargo, cuando se utiliza

el factor de fricción recomendado por Brunazzi y Paglianti, la interpretación adecuada de los datos experimentales se limita a parámetros de flujo menores que 2.0.

Lo anterior comprueba que es posible mejorar la predicción con un modelo más sofisticado, aunque se evidencia una fuerte sensibilidad frente al factor de fricción. Cabe resaltar que cuando se utiliza el modelo de Iliuta y Larachi con el factor de fricción calculado por medio de la expresión de Stichlmair, el ajuste a la serie experimental es mejor que el que se consigue con el programa propiedad del proveedor. El error promedio en el primer caso es de 7.8%, considerado el intervalo completo, inferior al de 15.6% que se produce con Sulpack 2.1, y similar al de 8% originado por este mismo programa cuando $F_v \leq 2.5$, esto es, si se opera por debajo del punto de carga. Es evidente, entonces, el avance significativo que se logra cuando los modelos interpretan mejor el comportamiento real del empaque.

Sin embargo, es claro que sólo se desea resaltar el progreso logrado en la tendencia general de la predicción, dado que las constantes empleadas en la evaluación del factor de fricción de Stichlmair fueron ajustadas para este problema específico y no se cuenta con mayores argumentos para generalizarlas.

5.1 PROBLEMA DE DISEÑO²

Descripción: En una columna de rectificación debe separarse una mezcla iso-butano/n-butano, que fluye a 500 kmol/h. La mezcla consiste de 60% del componente de bajo punto de ebullición y 40% del de alto punto de ebullición. El 99.9% molar del producto de cima ha de ser de iso-butano, y los fondos deben contener máximo 0.1% molar del mismo. La columna operará a una presión de cima de 3.6 bar y una relación de reflujo de 15. Es necesario realizar el diseño de la columna.

Solución: Con base en los balances de materia global sobre la columna y de iso-butano, se obtienen los flujos especificados en la Tabla 5.7. Esta información se alimenta a los dos simuladores empleados, Hysys[®] y Aspen Plus[®], y se manipula el número de etapas y la etapa de alimentación hasta ajustar las composiciones de cima y de fondo requeridas.

Tabla 5.7 Balance de materia sobre la columna

Corriente	Flujo Molar (kmol/h)	Flujo másico (kg/h)
Alimento	500	29 062
Destilado	300	17 437
Reflujo	4 501.5	261 645
Vapor al condensador	4 801.6	279 088
Fondos	200	11625

² Adaptación del problema propuesto por Billet (1995).

En el apéndice G se presenta el reporte completo de estas simulaciones, según las cuales se requiere un total de 55 etapas (57 al contar el rehervidor y el condensador) para lograr la separación. Las mayores cargas de líquido y vapor se presentan en la etapa previa al condensador, razón por la que ésta se escoge como la etapa de diseño. Las propiedades de las corrientes en esta etapa se presentan en la Tabla 5.8. Las temperaturas corresponden a los puntos de rocío (26.18 °C) y de burbuja (26.26°C) evaluados a la presión de operación, con la composición de cima.

Tabla 5.8 Datos de las corrientes determinados por cada uno de los programas evaluados

Propiedad	Hysys®		Aspen®		un_HydrauliPack		
	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
Peso molecular promedio	58.12	58.12	58.12	58.12	58.12	58.12	
Densidad	kg/m ³	549.0	9.327	549.7	9.343	549.3	9.301
Viscosidad	cP	0.165	7.64x10 ⁻³	0.172	7.78x10 ⁻³	0.171	7.78x10 ⁻³
Tensión superficial	dyna/cm	9.813		10.10		9.80	

Para efectuar el dimensionamiento de la columna en Hysys® se emplea la utilidad *Tray Sizing*, y se seleccionan la correlación S–L–E³ y la ecuación de Robbins⁴. En Aspen Plus® se emplea la correlación recomendada por el fabricante del empaque (definida por Aspen), con la herramienta *Pack Sizing*. Como criterio de diseño se propone que la columna opere a un 75% de la condición de inundación. Se evalúan 12 empaques: 8 al azar, metálicos, con diámetro nominal de 2" y 4 estructurados, tipo No. 2.

En la Tabla 5.9 se presenta el valor del diámetro determinado por cada simulador para los diferentes empaques y el valor obtenido por medio de un_HydrauliPack con las expresiones de Eckert⁵, Kister y Gill, y Piché *et al.* En la Tabla 5.10 se presenta, de igual forma, el resultado para la velocidad de inundación y en la Tabla 5.11 lo que corresponde a la caída de presión.

En estas tablas se verifica la diferencia existente entre empaques de diferentes generaciones; así por ejemplo, se requiere un mayor diámetro de columna si se seleccionan anillos Raschig (sólo la correlación de Piché predice un menor diámetro para este caso), que si se escoge cualquier otro empaque. Para empaques de últimas generaciones, y para empaques estructurados, el diámetro requerido es considerablemente menor.

³ En Hysys®, tal como muchos autores lo hacen, se denomina SLE a cualquiera de las modificaciones realizadas a la carta generalizada de caída de presión. Aunque no se hace explícito cuál versión se utiliza, por los resultados obtenidos puede inferirse que se trata de la carta de Eckert de 1970.

⁴ La ecuación de Robbins no determina la condición de inundación, por lo que es de suponer que Hysys® cambia el criterio de inundación especificado por uno equivalente de caída de presión.

⁵ La velocidad de inundación se determina con la curva de inundación de Eckert de 1970, mientras que la caída de presión se evalúa con la correlación generalizada presentada por el mismo autor en 1975.

Tabla 5.9 Diámetro requerido (m)

	Hysys			un_HydrauliPack		
	Aspen	Robbins	SLE	Eckert	Kister y Gill	Piché
Ballast Ring	-	3.66	3.96	3.83	3.74	4.24
Cascade MR	3.72	3.81	4.27	4.09	3.93	4.55
Hy-Pak Ring	4.19	3.66	3.96	3.73	3.69	4.33
Norton IMTP	4.46	3.66	3.96	3.73	3.69	4.39
Nutter Ring	-	3.66	3.81	3.68	3.66	4.37
Pall Ring	4.23	3.81	3.96	4.13	3.96	4.31
Raschig Ring	6.96	4.57	5.18	4.97	4.63	4.21
Raschig SR	4.90	-	-	4.09	3.93	4.63
Gempak 2A	-	3.66	3.66	3.62	3.63	-
Montz A-2	-	3.81	4.11	3.96	3.83	-
Flexipac 2Y	4.30			3.92	3.80	-
ISP 2T	4.26	-	-	3.68	3.66	-

En las dos tablas siguientes se observa el cambio conceptual experimentado entre la correlación de Eckert y las propuestas por Kister y Gill y por Piché *et al.* En el primer caso, aunque la velocidad de inundación es específica para cada tipo de empaque, la caída de presión para la condición de inundación aparece constante. En los otros casos la relación es específica y más compleja. Kister y Gill sugieren que la falla de la correlación de Eckert señalada es una de las razones por las cuales se omitió la curva de inundación en la última versión de la carta de Eckert (Kister y Gill, 1991).

Tabla 5.10 Velocidad de inundación (m/s) calculada

	Hysys			un_HydrauliPack		
	Aspen	Robbins	SLE	Eckert	Kister y Gill	Piché
Ballast Ring		1.060	0.966	0.966	1.010	0.787
Cascade MR	1.021	0.988	0.860	0.847	0.915	0.684
Hy-Pak Ring	0.804	1.082	0.993	1.020	1.040	0.756
Norton IMTP	0.709	1.105	0.993	1.020	1.040	0.735
Nutter Ring	-	1.105	1.022	1.050	1.060	0.739
Pall Ring	0.789	0.988	0.942	0.831	0.901	0.761
Raschig Ring	0.292	0.682	0.558	0.572	0.661	0.800
Raschig SR	0.588	-	-	0.847	0.915	0.659
Gempak 2A	-	1.088	1.168	1.080	1.070	-
Montz A-2	-	1.005	0.878	0.901	0.963	-
Flexipac 2Y	0.763			0.921	0.981	-
ISP 2T	0.779	-	-	1.050	1.060	-

Tabla 5.11 Caída de presión (Pa/m)

	Aspen	Hysys		un_HydrauliPack		
		Robbins	SLE	Eckert	Kister y Gill	Piché
Ballast Ring		358	726	1170	374	562
Cascade MR	616	394	650	1170	411	427
Hy-Pak Ring	363	274	654	1170	352	338
Norton IMTP	146	333	660	1170	352	302
Nutter Ring	-	372	778	1170	340	244
Pall Ring	363	309	660	1170	415	579
Raschig Ring	57	309	785	1170	500	268
Raschig SR	45	-	-	1170	411	174
Gempak 2A	-	394	792	1170	329	-
Montz A-2	-	372	778	1170	399	-
Flexipac 2Y	134			1170	394	-
ISP 2T	216	-	-	1170	340	-

En la Figura 5.13 se muestra cómo varía el diámetro de la columna en función del flujo de gas cuando se mantienen constantes los demás parámetros, para tres empaques diferentes, según lo calculado con la correlación de Eckert. En la Figura 5.14 se presenta, de forma análoga, la variación del diámetro en función de la carga de líquido.

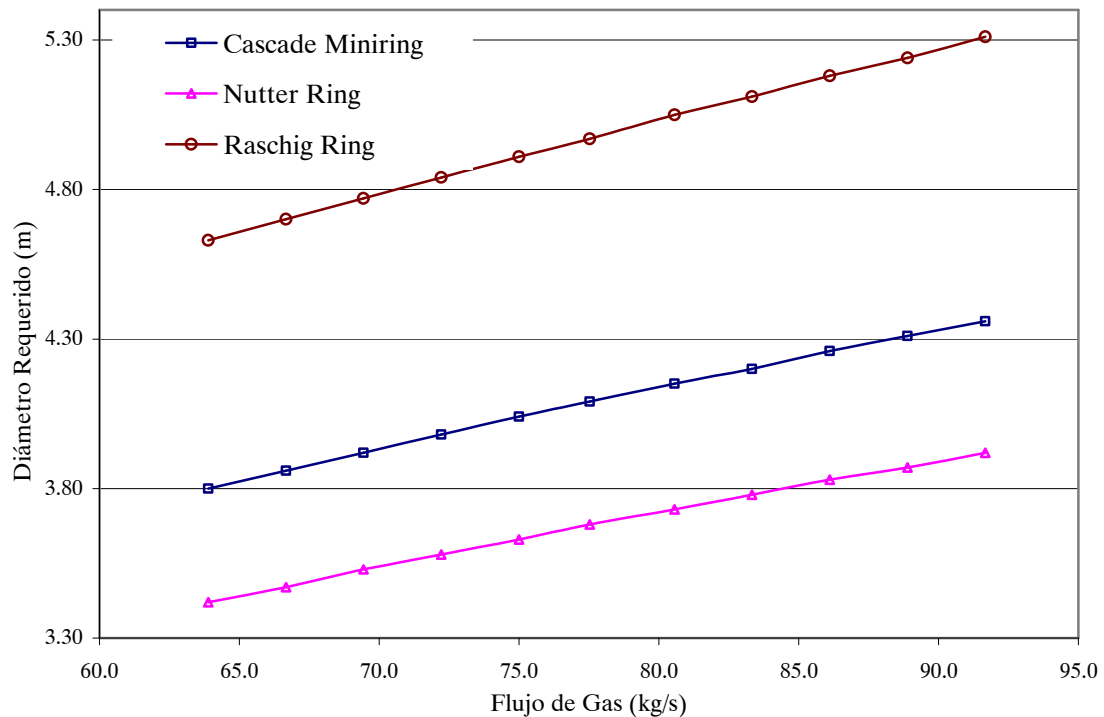


Figura 5.13 Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de gas

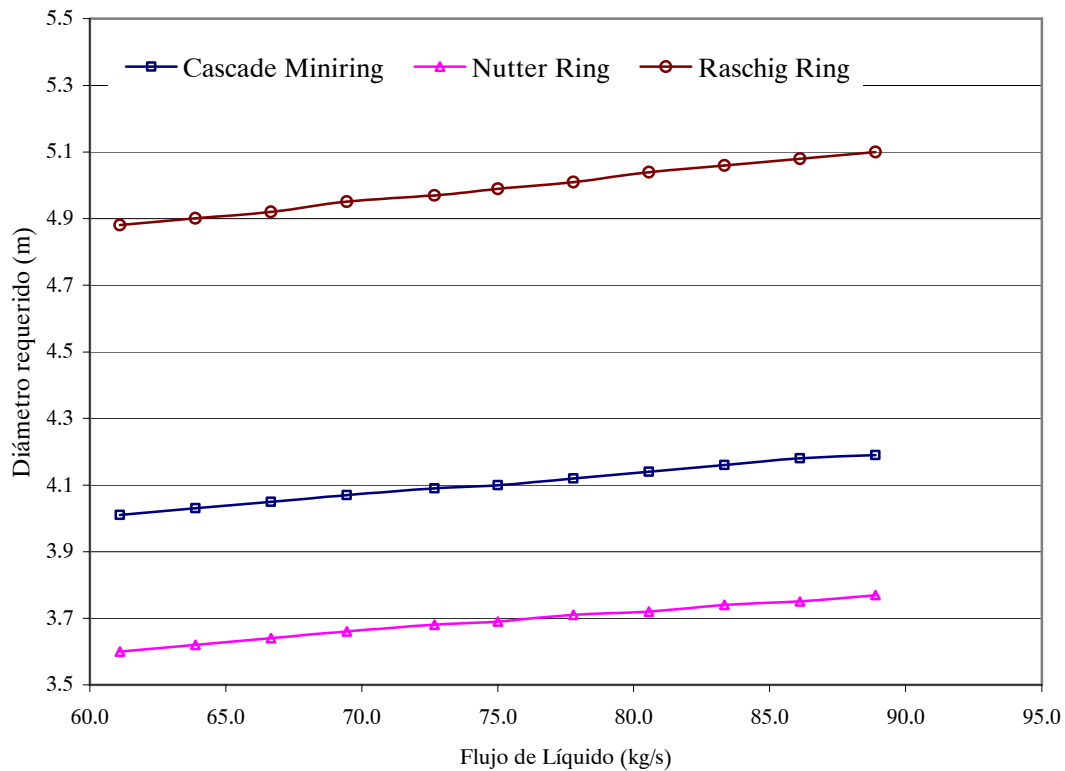


Figura 5.14 Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de líquido

El diámetro calculado resulta más sensible a las variaciones en el flujo de gas que a las del flujo de líquido, lo que se refleja en el papel que normalmente juega la fase gaseosa en las correlaciones y modelos propuestos. También se observa que la tendencia en la variación para diferentes empaques es la misma. Para el caso del gas la variación en el diámetro calculado entre los flujos mínimo y máximo considerados es del 14.7%, mientras que la del líquido sólo es del 4.6%. Los flujos oscilaron entre -20 y +20% del valor inicial.

En la Figuras 5.15 y 5.16 se presentan las tendencias en la variación del diámetro al utilizar diferentes correlaciones, para el empaque Cascade MiniRing.

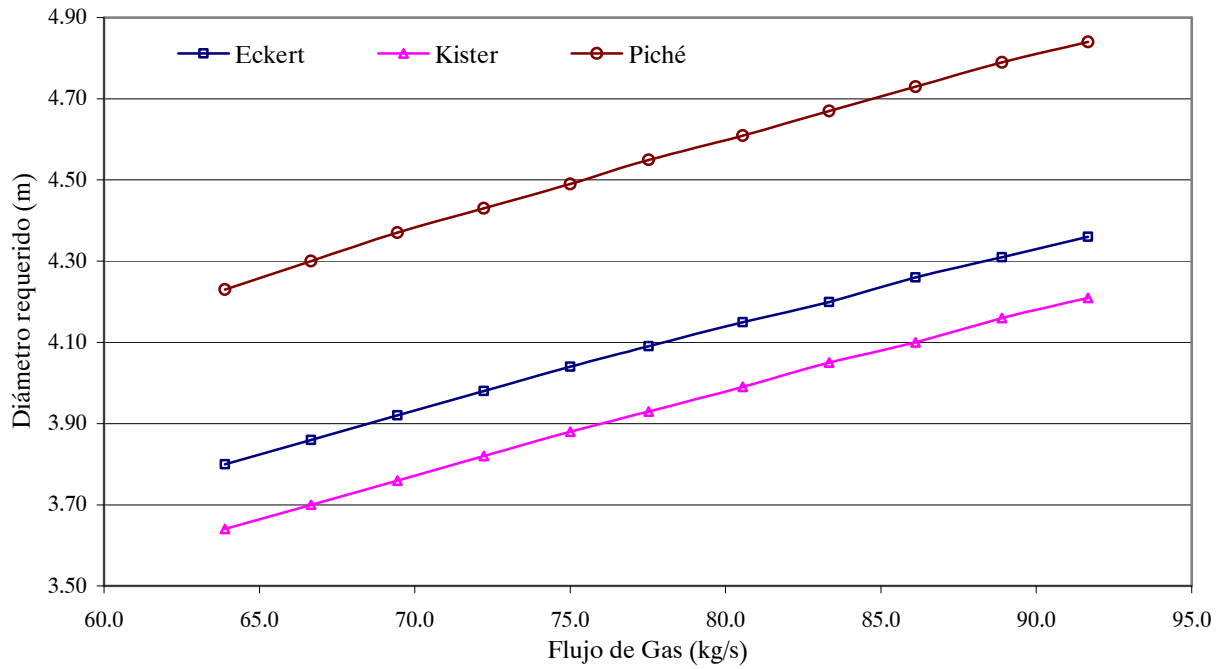


Figura 5.15 Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de gas, por medio de diferentes correlaciones

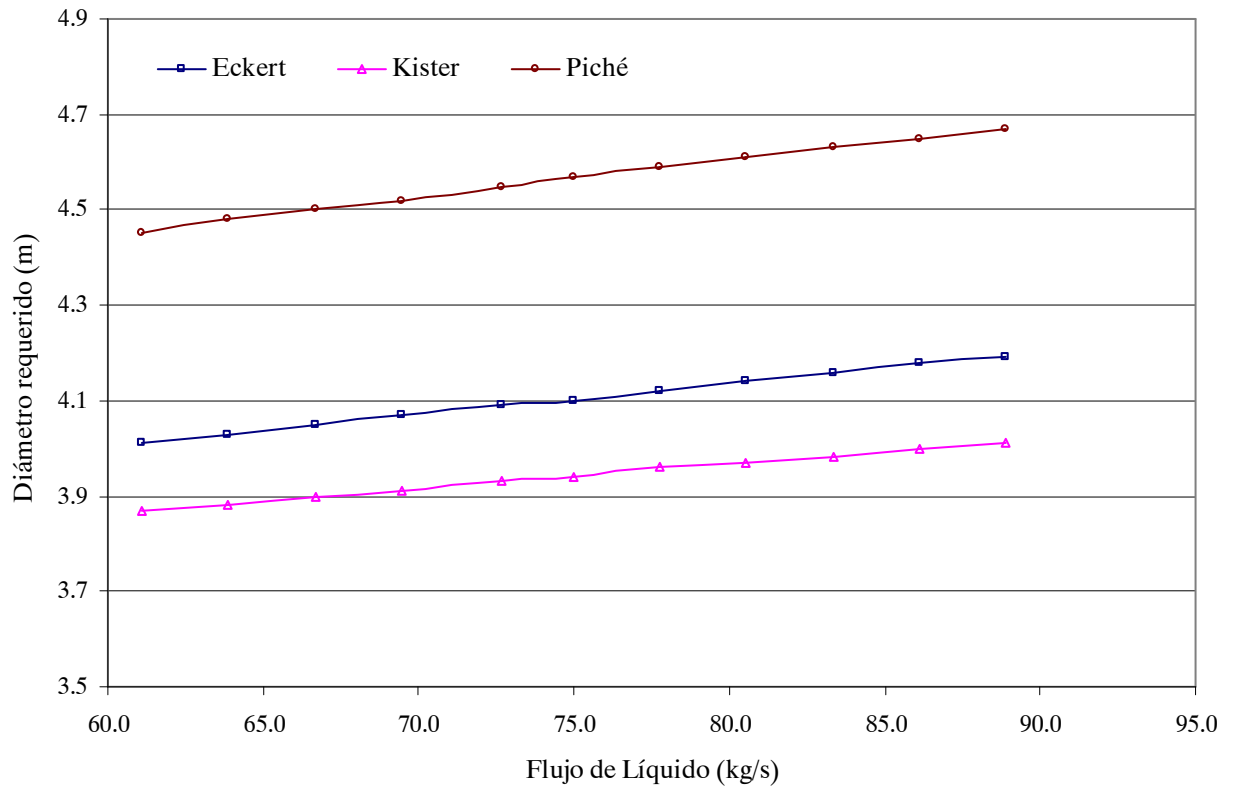


Figura 5.16 Sensibilidad del diámetro a las variaciones en la carga de líquido, por medio de diferentes correlaciones

Se encuentra que, pese a las diferencias en el valor del diámetro calculado, las tendencias observadas se conservan con las diferentes correlaciones. Ello justificaría el uso de un único factor para caracterizar la geometría del empaque, ya que mientras la correlación de Eckert sólo emplea el factor de empaque, la de Piché considera cuatro parámetros (área superficial específica, fracción vacía, esfericidad y diámetro nominal). Se podría pensar, entonces, que las fallas en la correlación de Eckert son fácilmente subsanables por medio de una adecuada selección del factor de empaque.

Es importante aclarar que la linealidad que se observa en las gráficas anteriores se explica por lo estrecho del intervalo que se considera para el flujo. Con el fin de mostrar que efectivamente no existe una relación lineal entre el flujo de gas y el diámetro requerido, se presenta en la Figura 5.17 la velocidad de inundación calculada, la cual determina el diámetro de la columna, en función del flujo de gas en un intervalo de estudio un poco mayor. La funcionalidad real puede apreciarse con mayor claridad si se manejan intervalos mucho más amplios.

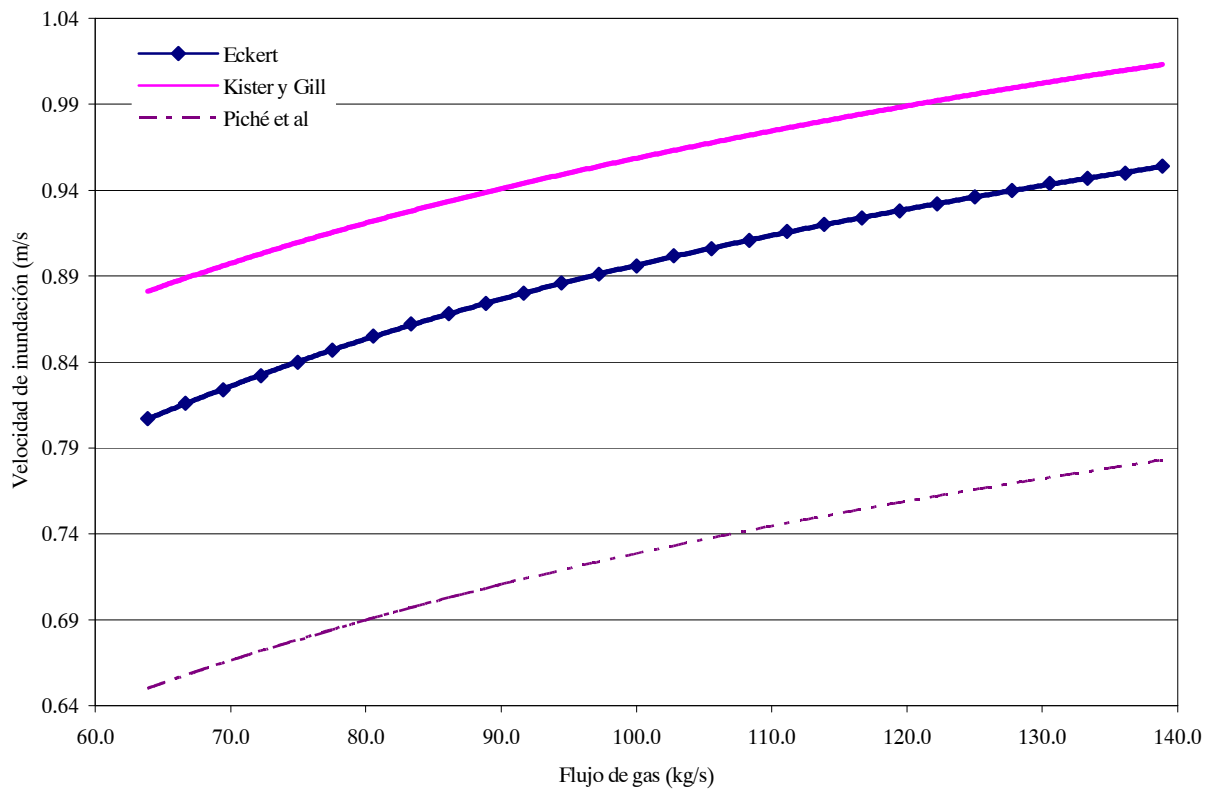


Figura 5.17 Variación de la velocidad de inundación con el flujo de gas

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El módulo desarrollado, **un**_HydrauliPack, proporciona una amplia gama de opciones para la evaluación hidráulica y el cálculo del diámetro de torres empacadas, a la vez que ofrece una interfaz amable y de fácil uso.

Se trata de una herramienta funcional y versátil, dado que incorpora las principales correlaciones que se ofrecen en la literatura para los propósitos planteados, un significativo número de los métodos desarrollados en años recientes, y una completa base de datos sobre empaques de todas las generaciones.

Se incluyen las correlaciones clásicas para evaluar la condición de inundación (Sherwood *et al*, Elgin-Weiss y Zenz-Eckert) y la caída de presión (Leva) en lechos con empaques al azar, así como las diversas modificaciones que han experimentado, con el ánimo de mostrar su evolución histórica: Lobo, Sawistowski, Leva, Eckert, Takahashi y Miyahara, en cuanto a inundación; y Eckert, Prahl, Leva y Strigle, sobre caída de presión. También se incorporan las nuevas propuestas para inundación: Kister-Gill, Kuzniewska-Lach, Billet-Schultes, Stichlmair *et al*, y Piché *et al*; y para caída de presión: Robbins, Billet, Stichlmair *et al*, y Piché *et al*. Se consideran, además, diversas expresiones para evaluar la retención de líquido, la capacidad máxima de operación, el punto de carga y la velocidad mínima de humedecimiento.

En cuanto a los lechos con empaques estructurados se incluyen las propuestas de Bravo *et al*, Kister-Gill, Billet-Schultes, Stichlmair *et al*, y el modelo de Iliuta-Larachi para determinar la caída de presión, así como los métodos de Kister-Gill, Billet-Schultes y Stichlmair *et al* que permiten calcular la velocidad de inundación.

La base de datos de **un**_HydrauliPack incorpora la información disponible en la literatura abierta y la suministrada por los fabricantes y proveedores de empaques. Se recopilan parámetros de caracterización de 539 empaques, 423 al azar y 116 estructurados, que corresponden a 92 geometrías diferentes y son ofrecidos por 18 fabricantes en todo el mundo. Esta recopilación es una valiosa y completa fuente de consulta, si se le compara con las bases de datos incluidas en los simuladores comerciales. (Hysys[®] contiene la información de 137 empaques, 21 estructurados y 116 al azar, y Aspen Plus[®] la de 159, 119 al azar y 40 estructurados).

La funcionalidad de **un**_HydrauliPack se incrementa dada la opción de estimar las propiedades físicas involucradas en la evaluación hidráulica de lechos empacados, a lo cual se suma la posibilidad de estimar coeficientes de difusión, paso importante en la perspectiva de ampliar, a futuro, la capacidad de cálculo del módulo y orientarlo hacia el diseño integral de torres empacadas.

La confiabilidad del módulo **un**_HydrauliPack se probó frente a los simuladores comerciales Hysys® y Aspen Plus®, por medio de tres casos de estudio y diferentes modalidades de comparación. Al evaluar, por ejemplo, los resultados obtenidos para la caída de presión con una misma correlación y con todos los empaques comunes entre Hysys® y **un**_HydrauliPack (128 empaques, al azar y estructurados), se obtiene un coeficiente de correlación de 0.9996, lo que expresa una excelente correspondencia.

Esta correspondencia entre Hysys® y **un**_HydrauliPack se confirma con las caídas de presión que se obtienen a partir de diferentes correlaciones. Sin embargo, como era de esperar, es marcada la diferencia de resultados entre correlaciones, lo cual pone de presente la importancia de su adecuada selección cuando se requiere evaluar o diseñar una torre empacada. Los errores promedio encontrados en los dos primeros casos de estudio, como porcentaje, son: Eckert, 21.3; Robbins, 28.7; Stichlmair, 28.8; Prahl, 20.1; Kister y Gill, 43.0; Strigle, 23.1; y Piché, 28.7, significativamente inferiores a los promedios reportados por Piché *et al* (2001c) al comparar sus resultados con la información de 5005 medidas experimentales: 63, 54 y 59% para Eckert, Kister y Gill, y Stichlmair, respectivamente. Cabe anotar que con base en sólo dos casos de estudio no es posible siquiera sugerir cuál es la correlación más adecuada.

Se estudian varios de los modelos formulados para empaques estructurados y se incluye uno de los modelos mecanicistas más recientes, a partir de lo cual es posible corroborar los beneficios que sobre la predicción implica el uso de modelos que interpretan con mayor aproximación la realidad física, independientemente de su complejidad. El error promedio para el método de Stichlmair, que muestra el mejor ajuste entre las correlaciones recomendadas para empaques estructurados, es de 44.7% con un máximo de 77%. Al aplicar el modelo mecanicista de Iliuta y Larachi se encuentra un error promedio de sólo 7.8 y un máximo de 22%, valores inferiores al error promedio reportado por los mismos autores del modelo luego de examinar un mayor número de empaques (11 de 5 tipos diferentes): 25.8%.

Se encuentra una gran diferencia entre las velocidades de inundación calculadas por medio de diferentes correlaciones, y se corrobora el cambio conceptual experimentado entre la correlación de Eckert y las propuestas por Kister y Gill y Piché *et al*. Mientras que con la primera expresión la inundación se prevé a una caída de presión constante, e independiente del empaque, en las dos últimas la inundación y la caída de presión se encuentran interrelacionadas de una forma más compleja.

Un análisis de sensibilidad para el diámetro en función de las cargas de gas y de líquido permite corroborar que el flujo de gas ejerce una mayor influencia. Cuando los flujos oscilan entre -20 y +20% del valor inicial, la variación en el diámetro calculado, en el caso del gas, es del 14.7%, mientras que en el caso del líquido es sólo del 4.6%. Se observa también la misma tendencia en la variación del diámetro para diferentes empaques, así como al aplicar diversas correlaciones, aunque es notoria la diferencia de resultados entre unas y otras.

Se corrobora la enorme diferencia en capacidad y en caída de presión que existe entre empaques de diferentes generaciones y entre empaques estructurados y al azar.

Por último, se resaltan las grandes posibilidades que como herramienta pedagógica tiene el módulo desarrollado, gracias a su cuidadoso diseño y a la facilidad de uso. La ayuda incluida en forma de página web posibilita el empleo de **un**_HydrauliPack como fuente de consulta y guía de estudio.

Recomendaciones


Las columnas empacadas constituyen unos de los equipos claves de la industria de procesos químicos, entre otras razones por sus aplicaciones en el campo de la protección ambiental. Dada la constante evolución de estos equipos y de las deficiencias existentes en su comprensión y modelamiento, se evidencian grandes posibilidades de estudio en esta rama del conocimiento técnico.

En el transcurso de este proyecto se identificaron diferentes aspectos que pueden catalogarse como oportunidades para que los ingenieros químicos, y las universidades colombianas, contribuyan a lograr un mayor y mejor acercamiento a las torres empacadas. Se propone que el estudio de estos aspectos, que desborda el alcance planteado para el presente proyecto, se adelante en próximos trabajos.

Una de las primeras tareas a realizar es recopilar y estudiar los diferentes modelos propuestos para empaques estructurados, en especial aquellos modelos recientes que aplican técnicas de fluidodinámica computacional y redes neuronales, los cuales prometen un potencial predictivo superior al de las correlaciones tradicionales. El desarrollo de modelos propios no se ve como una alternativa viable en el futuro inmediato y a nivel de pregrado, ya que se requiere una gran cantidad de información experimental para efectuar la validación, información no disponible en la literatura abierta y que por lo tanto tendría que ser generada.

Es conveniente también realizar una comparación extensa entre las correlaciones estudiadas, dada la significativa diferencia que se manifiesta en los resultados obtenidos con cada una de ellas, para lo cual es indispensable recopilar una gran cantidad de datos experimentales.

Una vez se aborden los diferentes aspectos relativos a la hidráulica en sistemas gas-líquido, se considera necesario continuar con el estudio de los demás temas relativos a lechos empacados. A continuación se presenta un esquema de trabajo que, a juicio del autor, debe seguirse para alcanzar la madurez requerida en la materia:

 Recopilar la información concerniente a:

- Coeficientes de transferencia de masa y área interfacial efectiva.
- Hidráulica en sistemas líquido-líquido.
- Operación en paralelo y con flujo transversal.
- Sistemas reactivos.

- ✚ Evaluar las correlaciones y modelos encontrados para cada uno de los ítems del punto anterior, e implementarlas en un programa de cálculo como el desarrollado en este proyecto.
- ✚ Desarrollar un modelo diferencial que involucre la hidráulica, las transferencias de masa y de calor y la posibilidad de que se presente reacción química, para su implementación final en único módulo de cálculo, integral.
- ✚ Implementar rutinas que permitan abordar la optimización con base en un análisis de costos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aspen Technology Inc. 2001. *Aspen Plus® Unit Operation Models*. Ver. 11.1. Cambridge, MA, USA.
2. Baldi, G. y Sicardi, S. 1974. *Effective Mass Transfer Areas in Packed Columns During Chemical Absorption*. *Chemical Engineering Science*, **30**, 769-770.
3. Beg, S.A., Hassan, M.M., y Naqvi, M.S.M. 1996. *Hydrodynamics and Mass Transfer in a Cocurrent Packed Column: A Theoretical Study*. *The Chemical Engineering Journal*, **63**, 93-103.
4. Beijing Zehua Chemical Co. 2003. *Tower Packing Catalogue version 1.3*. Beijing, PR. China.
5. Benadda, B. Kafoufi, K. Monkam, P. y Otterbein, M. 2000. *Hydrodynamics and Mass Transfer Phenomena in Counter-Current Packed Column at Elevated Pressures*. *Chemical Engineering Science*, **55**, 6251-6257.
6. Bertetti, J.W. 1942. *Theoretical Flooding Velocities in Packed Columns*. *Transactions of the American Institute of Chemical Engineers*, **38**, 1023.
7. Billet, R. 1972. *Gauze-Packed Columns for Vacuum Distillation*. *Chemical Engineering*, 202-205.
8. Billet, R. 1979. *Distillation Engineering*. Chemical Publishing Co. New York, NJ, USA.
9. Billet, R. 1995. *Packed Towers in Processing and Environmental Technologie*. Trad. por: Fullarton J.W. VCH, Weinheim, Germany.
10. Billet, R. y Schultes, M. 1999. *Prediction of Mass Transfer Columns with Dumped and Arranged Packings, Update Summary of the Calculation Method of Billet and Schultes*. *Transactions of The Institute of Chemical Engineers, Part A*, September, 498-504.
11. Branan, C.R. 1998. *Rules of Thumb for Chemical Engineers: A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Process Engineering Problems*. 2nd Ed, Gulf Publishing Co. Houston.
12. Brill, J.P. 1992. *Two-Phase Flow in Pipes: Supplemental Notes*. Bucaramanga, Colombia.

13. Brunazzi, E. y Paglianti, A. 1997. *Mechanistic Pressure Drop Model for Columns Containing Structured Packings*. AIChE Journal, **43**, No 2, 317-327.
14. Buchanan, J.E. 1967. *Holdup in Irrigated Ring-Packed Towers Below the Loading Point*. Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals, **6**, No 3, 400-407.
15. Buchanan, J.E. 1969. *Pressure Gradient and Liquid Holdup in Irrigated Packed Towers*. Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals, **8**, No 3, 502-511.
16. Cameron, G.M. y Chang, I. 2002. *Sizing of Towers in Acid Plants*. The Chemical Engineers' Resource Page. www.cheresources.com
17. Carman, P.C. 1938. Journal of Society of Chemical Industry, **57**, 225. Citado por: Strigle, R.F. 1994. *Packed Tower Design and Applications: Random and Structured Packings*. 2^{da} Edición, Gulf Publishing Co.
18. Chen, N. H. 1962. *New Equation Gives Tower Diameter*. Chemical Engineering, No 5, February 5, 109-112.
19. Chhabra, R.P. Comiti, J. y Machac, I. 2001. *Flow of Non-Newtonian Fluids in Fixed and Fluidised Beds*. Chemical Engineering Science, **56**, 1 -27.
20. Clarkson Company. *Maspac Tower Packing*. Clarkson Controls and Equipment Company. Detroit, Michigan, USA.
21. Clay, H.A., Clark, J.W. y Munro, B.L. 1966. *Which Packing for Which Job?*. Chemical Engineering Progress, **62**, No 1, January, 51-58.
22. Darakchiev, R. y Dodev, C. 2002. *Gas Flow Distribution in Packed Columns*. Chemical Engineering and Processing, **41**, 385-393.
23. Darakchiev, R., Kolev, N. y Nakov, S. 1998. *Packing for Regular Distribution of Liquid Phase Over the Cross-Section of Column-Type Apparatuses*. Chemical Engineering and Processing, **37**, 141-147.
24. Dictor, E.S. 1999. *Visual Basic Controls in a Nutshell: The Controls of the Professional and Enterprise Editions*. O'Reilly, Sebastopol, CA, USA.
25. Djebbar, Y. y Narbaitz, R.M. 1998. *Improved Onda Correlations for Mass Transfer in Packed Towers*. Water Science Technology, **38**, No 6, 295-302.
26. Eckert, J.S. 1961. *Design Techniques for Sizing Packed Towers*. Chemical Engineering Progress, **57**, No 9, September, 54-58.

27. Eckert, J.S. 1963. *A New Look at Distillation-4: Towers Packings...Comparative Performance*. Chemical Engineering Progress, **59**, No 5, May, 76-82.
28. Eckert, J.S. 1970. *Selecting the Proper Distillation Column Packing*. Chemical Engineering Progress, **66**, No 3, March, 39-44.
29. Eckert, J.S. 1975. *How Tower Packings Behave*. Chemical Engineering, April 14, 195-201.
30. Eckert, J.S. Foote, E.H., y Walter, L.F. 1966. *What Affect Packing Performance?* Chemical Engineering Progress, **62**, No 1, January, 59-67.
31. Elgin, J. C.; Weiss, F. B. 1939. *Liquid hold-up and flooding in packed towers*. Industrial and Engineering Chemistry, **31**, No 4, 435-445.
32. Ellenberger, J. y Krishna, R. 1999. *Counter-Current Operation of Structured Catalytically Packed Distillation Columns: Pressure Drop, Holdup and Mixing*. Chemical Engineering Science, **54**, 1339-1345.
33. Engel, J.S., Stichlmair, J. y Geipel, W. 1997. *A New Model to Predict Liquid Holdup in Packed Columns*. Ind. Chem. Eng. Symp. Series, **142**, 939-947. Citado por: Stichlmair, J.G. y Fair, J.R. 1998. *Distillation: Principles and Practice*. Wiley-VCH, USA.
34. Ergun, S. 1952. *Fluid Through Packed Columns*. Chemical Engineering Progress. **48**, No 2, 89-94.
35. Fair, J.R. 1970. *Comparing Trays and Packings*. Chemical Engineering Progress, **66**, March, No 3, 45-49.
36. Fair, J.R. y Bravo, J.L. 1990. *Distillation Columns Containing Structured Packing*. Chemical Engineering Progress, **86**, No 1, January, 19-29.
37. Fair, J.R., Steinmeyer, D.E., Penney, W.R. y Crocker, B.B. 1997. *Gas Absorption and Gas-Liquid System Design*. En: *Perry's Chemical Engineering Handbook*, Section 14. McGraw Hill, New York, USA.
38. Fischer, L., Bühlmann U. y Melcher R. 2002. *Characterization of High Performance Structured Packing*. Distillation and Absorption 2002 – 634th Event of the European Federation of Chemical Engineers. GVC-VDI- Society of Chemical and Process Engineering, Germany.
39. Fitz, C.W., Kunesh, J.G. y Shariat, A. 1999. *Performance of Structured Packing in a Commercial-Scale Column at Pressures of 0.02-27.6 bar*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **38**, 512-518.
40. Fractionation Research. 1996. *Report of Tests of No 2 Nutter Ring™*. Fractionation Research Inc.

41. Fractionation Research. 1996. *Report of Tests of No 2.5 Nutter Ring™ at Reduced Loadings*. Fractionation Research Inc.
42. Frank, O. 1977. *Shortcuts for Distillation Design*. Chemical Engineering, March 14, 111-128.
43. Fuller, E.N., Schettler, P.D. y Giddings, J.C. 1966. *A New Method for Prediction of Binary Gas-Phase Diffusion Coefficients*. Industrial and Engineering Chemistry, **58**, No 5, 19-27.
44. Furzer, I.A. 1984. *Liquid Dispersion in Packed Columns-I: The Dutkai-Ruckenstein Model*. Chemical Engineering Science, Vol. 39, No 7/8, 1283-1300.
45. Furzer, I.A. 1984. *Liquid Dispersion in Packed Columns-II: The Gunn Model*. Chemical Engineering Science, Vol. 39, No 7/8, 1301.
46. Glitsch Inc. 1975. *Tower Packings and Internals*. Bulletin Number 217, 2nd Edition. Dallas, TX, USA.
47. Glitsch Inc. 1986. *Cascade Minirings for High Efficiency Mass Transfer*. Bulletin 345. Dallas, TX, USA.
48. Hengstebeck, R.J. 1961. *Distillation: Principles and Design Procedures*. American Oil Company, Reinhold Publishing Corporation. New York, NJ, USA.
49. Hess, M. 1979. *Designing Packed Towers, Letter to Editor*. Chemical Engineering, **86**, April 9, 5.
50. Hoffmann, A.C. y Finkers, H.J. 1995. *A relation for the Void Fraction of Randomly Packed Particle Beds*. Powder Technology, **82**, 197-203.
51. Iliuta, I. Grandjean, B.P.A. y Larachi, F. 2002. *New Mechanistic Film Model for Pressure Drop and Liquid Holdup in Trickle Flow Reactors*. Chemical Engineering Science, **57**, 3359 – 3371.
52. Iliuta, I. Grandjean, B.P.A. Piche, S. y Larachi, F. 2003. *Two-Fluid Model for Counter-Current Dumped Packing-Containing Columns*. Chemical Engineering Science, **58**, 1373 – 1380.
53. Iliuta, I., & Larachi, F. 2001. *Mechanistic Model for Structured-Packing Containing Columns: Irrigated Pressure Drop, Liquid Hold-up and Packing Fractional Wetted Area*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **40**, 5140-5146.
54. Jaeger Products Inc. 2000a. *General Brochure*. Houston, TX. USA.
55. Jaeger Products Inc. 2000b. *Metal Max-Pak®. Product Bulletin 500*. Houston, TX. USA.
56. Jaeger Products Inc. 2000c. *Jaeger Tri-Packs®. Product Bulletin 600*. Houston, TX. USA.

57. Jaeger Products Inc. 2000d. *Plastic Jaeger Rings and Saddles. Product Bulletin 700*. Houston, TX. USA.
58. Jaeger Products Inc. 2000e. *Cascade Mini-Rings®. Product Bulletin 800*. Houston, TX. USA.
59. Jaeger Products Inc. 2000f. *Ceramic Novalox® Saddles. Product Bulletin 1000*. Houston, TX. USA.
60. Jaeger Products Inc. 2001. *VSP® and Top-Pak® Metal Random Packing. Product Bulletin 200*. Houston, TX. USA.
61. Jamialahmadi, M. y Müller-Steinhagen H. 1992. *Computer Program Designs Packed Columns*. Oil and Gas Journal, August 31, 33-38.
62. Kaiser, V. 1994. *Correlate the Flooding of Packed Columns: A New Way*. Chemical Engineering Progress, June, 55-59.
63. Katmar Software. 1998. *Packed Column Calculator Ver. 1.01 Handbook*. Katmar Software. South Africa.
64. Kister, H.Z. 1990. *Distillation Operation*. McGraw Hill. México.
65. Kister, H.Z. 1992. *Distillation Design*. McGraw Hill, USA.
66. Kister, H.Z. y Gill, D.R. 1991. *Predict Flood Point and Pressure Drop for Modern Random Packings*. Chemical Engineering Progress, **87**, February, 32-42.
67. Koch Engineering Company Inc. 1966. *Flexirings From Koch*. Bulletin KF-3. USA.
68. Koch-Glitsch Inc. 2001. *Cascade MiniRing, Random Packing*. Bulletin CMR-2 2M0801B. Wichita, KS, USA.
69. Koch-Glitsch Inc. 2001. *Flexigrind, Structured Packing*. Bulletin KGFG-4 2M0601B. Wichita, KS, USA.
70. Koch-Glitsch Inc. 2000. *Fleximax, Random Packing*. Bulletin KMFT-5 3M1100B. Wichita, KS, USA.
71. Koch-Glitsch Inc. 2000. *Flexipac, High Capacity Structured Packing*. Bulletin FPHC-3M0600B. Wichita, KS, USA.
72. Koch-Glitsch Inc. 2000. *Koch-Glitsch, Gauze Structured Packing*. Bulletin KGP-6. Wichita, KS, USA.

73. Kohl, A.L., y Nielsen, R.B. 1997. *Gas Purification*. 5^{ta} Edición, Gulf Publishing Co., Houston, TX, USA.
74. Kolev, N. y Razkazova-Velkova, E. 2001. *A New Column Packing for Operation at Extremely Low Liquid Loads*. Chemical Engineering and Processing, **40**, 471–476.
75. Kolodziej, A., Jaroszynski, M., Hoffmann, A. y Górak, A. 2001. *Determination of Catalytic Packing Characteristics for Reactive Distillation*. Catalysis Today, **69**, 75–85.
76. Koshy, T.D. y Rukovena, F. 2003. *Distillation Pilot Plant Design, Operating Parameters, and Scale-up Considerations*. Chemical Engineering Resource Page (www.cheresources.com).
77. Kozeny, G.J.S. 1927. Akad. Wiss. Wein, Math-naturw, K1, Abt., IIa, **136**, 271. Citado por: Strigle, R.F. 1994. *Packed Tower Design and Applications: Random and Structured Packings*. 2^{da} Edición, Gulf Publishing Co.
78. Krebs, C. 1985. *Gas-Side Mass Transfer in Irrigated Packed Columns Part I: Gas-Side Mass Transfer Data Evaluated from a Mass Transfer Controlled Separation Effect Appearing during the Evaporation of Binary Mixtures*. Chemical Engineering and Processing, **19**, 95-102.
79. Krebs, C. 1985. *Gas-Side Mass Transfer in Irrigated Packed Columns Part II: The Effect of Diffusion and Gas Flow Non-uniformities on the Mass Transfer*. Chemical Engineering and Processing, **19**, 129-142.
80. Kunesh, J.G., Kister, H.Z., Lockett, M.J. y Fair, J.R. 1995. *Distillation: Still Towering Over Other Options*. Chemical Engineering Progress, October, 43-54.
81. Kushalkar, K.B. y Pangarkar, V.G. 1990. *Liquid Holdup and Dispersion in Packed Column*. Chemical Engineering Science, **45**, No 3, 759-763.
82. Kuzniewska-Lach, I. 1999. *Estimation of Phase Velocities at Flooding Point in Packed Columns for Any Gas/Liquid System*. Canadian Journal of Chemical Engineering, **77**, 439. Citado por: Piché, S., Larachi, F., y Grandjean, B.P.A. 2001. *Flooding Capacity in Packed Towers: Database, Correlations, and Analysis*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **40**, 476–487.
83. Larachi, F. 2003. *Comunicación Personal*. Department of Chemical Engineering, Laval University, Quebec, Canada.
84. Larachi, F. Grandjean, B.P.A. y Chaouki, J. 2003. *Mixing and Circulation of Solids in Spouted Beds: Particle Tracking and Monte Carlo Emulation of the Gross Flow Pattern*. Chemical Engineering Science, **58**, 1497 – 1507.
85. Larachi, F. Petre, C.F. Iliuta, I. y Grandjean, B. 2003. *Tailoring the Pressure Drop of Structured Packings through CFD Simulations*. Chemical Engineering and Processing, **42**, 535-541.

86. Laso, M., Henriques de Brito, M., Bomio, P. y Von Stockar, U. 1995. *Liquid-Side Mass Transfer Characteristics of a Structured Packing*. The Chemical Engineering Journal, **58**, 251-258.
87. Leva, M. 1947a. *Pressure Drop through Packed Tubes. Part 1: A General Correlation*. Chemical Engineering Progress, **43**, No 10, 549-554.
88. Leva, M. 1992. *Reconsiderer Packed Tower Pressure Drop Correlations*. Chemical Engineering Progress, January, 65-72.
89. Leva, M. y Grummer, M. 1947. *Pressure Drop through Packed Tubes. Part 2: Effect of Surface Roughness*. Chemical Engineering Progress, **43**, No 11, 633-638.
90. Leva, M. 1947b. *Pressure Drop through Packed Tubes. Part 3: Prediction of Voids in Packed Tubes*. Chemical Engineering Progress, **43**, No 12, 713-718.
91. Lhuillier, D. 2003. *A Mean-Field Description of Two-Phase Flows with Phase Changes*. International Journal of Multiphase Flow. **29**, 511-525.
92. Linek, V. Krivsky, Z. y Hudec, P. 1977. *Effective Interfacial Area in Plastic-Packed Absorption Columns*. Chemical Engineering Science, **32**, 323-326
93. Linek, V., Sinkule, J. y Janda, V. 1998. *Design of Packed Aeration Towers to Strip Volatile Organic Contaminants from Water*. Water Research, **32**, No 4, 1264-1270.
94. Lobo, W.E., Friend, L., Hashmall, F. y Zenz, F. 1945. Transactions of the American Institute of Chemical Engineers, **41**, 698. Citado por: Sawistowski, H. 1957. *Flooding Velocities in Packed Columns Operating at Reduced Pressures*. Chemical Engineering Science, **6**, 138-140.
95. Lockhart, R.W. y Martinelli, R.C. 1949. *Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two-Component Flow in Pipes*. Chemical Engineering Progress, **45**, No 1, 39-48.
96. Lopes Cardozo, R. 1962. *Gas-phase Controlled Mass Transfer of Packed Columns Correlated to the Loading Point*. Chemical Engineering Science, **17**, 783-795.
97. Lorie, R.A. y Daudenarde, J.J. 1991. *SQL and Its Applications*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
98. Macias-Salinas, R. y Fair, J.R. 2000. *Axial Mixing in Modern Packings, Gas and Liquids Phases II: Two-Phase Flow*. AIChE Journal, **46**, No 1, 79-91.
99. Mahajani, V.V. 1985. *Figuring Packed Tower Diameter*. En: Calculation and Shortcut Deskbook. McGraw Hill, Chemical Engineering, 30.
100. Mersmann, A. y Deixler, A. 1986. Chemical Ing. Tech, **58**, No 1, 19. Citado por Kister, H.Z. 1992. *Distillation Design*. McGraw Hill.

101. Miyahara, T. Ogawa, K. Nagano, Y. Hirade, A. y Takahashi, T. 1992. *Flow Dynamics in Low Height Packed Column Having Large Fractional Void Space*. Chemical Engineering Science, **47**, No 13-14, 3323-3330.
102. Narbaitz, R.M. y Djebbar, Y. 1996. *Nonparametric Modeling of Mass Transfer Coefficients for Air Stripping Packed Towers*. Canadian Journal of Civil Engineering **23**, 549-559.
103. Niven, R.K. 2002. *Physical Insight into the Ergun and Wen & Yu Equations for Fluid Flow in Packed and Fluidised Beds*. Chemical Engineering Science, **57**, 527 – 534.
104. Nguyen, H.X. 1978. *Computer Program Expedites Packed Tower Design*. Chemical Engineering, **85**, November 20, 181-184.
105. Norman, W.S. 1961. *Absorption, Distillation and Cooling Towers*. John Wiley & Sons, New York, USA.
106. Norman, W. S. 1974. *Effective Interfacial Area and Liquid Side Mass Transfer Coefficients in a Packed Column*. Chemical Engineering Science, **29**, 1844.
107. Norton Chemical Process Product Corporation. 1996. *IMTP® High-Performance Random Packing*. IHPRP-1. Saint Gobain, Akron, OH, USA.
108. Norton Chemical Process Product Corporation. 2000a. *Intalox® High-Performance Structured Packing*. ISP-4. Saint Gobain, Akron, OH, USA.
109. Norton Chemical Process Product Corporation. 2000b. *Ceramics Products*. CPT-2. Saint Gobain, Akron, OH, USA.
110. Norton Chemical Process Product Corporation. 2001a. *Packed Towers Internals Guide*. TIG-2. Saint Gobain, Akron, OH, USA.
111. Norton Chemical Process Product Corporation. 2001b. *Plastic Tower Packing, Internals and Trays*. PTP-2. Saint Gobain, Akron, OH, USA.
112. Nutter, D.E., Silvey, F.C. y Stober, B.K. 1996. *Random Packing Performance in Light Ends Distillation*. Nutter Engineering Catalogue.
113. Nutter Engineering. *Nutter Ring® Random Packing*. Bulletin NR-2. Sulzer Chemtech Inc, Tulsa, OK, USA.
114. Oliver, E.A. 1966. *Diffusional Separation Process: Theory, Design and Evaluation*. John Wiley and Sons, New York, USA.
115. Olujic, Z. Kamerbeek, A.B. y de Graauw, J. 1999. *A Corrugation Geometry Based Model for Efficiency of Structured Distillation Packing*. Chemical Engineering and Processing, **38**, 683–695.

116. Olujié, Z., Seibert, A.F., Kaibel, B., Jansen, H., Rietfort, T. y Zich E. 2003. *Performance Characteristics of a New High Capacity Structured Packing*. Chemical Engineering and Processing, **42**, 55-60.
117. Olujic, Z. Stoter, F. y de Graauw, J. 1991. *Gas Distribution in Large-Diameter Packed Columns*. Gas Separation and Purification, **5**, 59-66.
118. Pancuska, V.I. 1980. *Calculator Program for Designing Packed Towers*. Chemical Engineering, **87**, May 5, 113-114.
119. Pelkonen, S. Górak, A. Ohligschläger, A. y Kaesemann, R. 2001. *Experimental Study on Multicomponent Distillation in Packed Columns*. Chemical Engineering and Processing, **40**, 235–243.
120. Petre, C.F., Larachi, F., Iliuta, I. y Grandjean, B.P.A. 2003. *Pressure Drop Through Structured Packings: Breakdown into the Contributing Mechanisms by CFD Modeling*. Chemical Engineering Science, **58**, 163-177.
121. Piché, S., Iliuta, I., Grandjean, B. P.A. y Larachi, F. 2001a. *A Unified Approach to the Hydraulics and Mass Transfer in Randomly Packed Towers*. Chemical Engineering Science, **56**, 6003–6013.
122. Piché, S., Larachi, F., & Grandjean, B. P. A. 2001b. *Flooding Capacity in Packed Towers: Database, Correlations, and Analysis*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **40**, 476–487.
123. Piché, S., Larachi, F., & Grandjean, B. P. A. 2001c. *Improving the Prediction of Irrigated Pressure Drop in Packed Towers*. The Canadian Journal of Chemical Engineering, **79**, August, 584-594.
124. Prahl, W. 1969. *Pressure Drop in Packed Columns*. Chemical Engineering, **76**, August 11, p. 89-96.
125. Raschig GmbH. 1999. *Betriebszahlen FK-Kunststoff-E (Process Data)*. Ludwigshafen, Alemania.
126. Raschig GmbH. 1999. *Betriebszahlen FK-Metall-E (Process Data)*. Ludwigshafen, Alemania.
127. Reid, R.C., Prausnitz, J. M. y Poling, B.E. 1987. *The Properties of Gases and Liquids*. 4th Ed. McGraw Hill, New York, USA.
128. Reid, R.C., Prausnitz, J.M. y Sherwood, T.K. 1977. *The Properties of Gases and Liquids*. 3rd Ed. McGraw Hill, New York, USA.

129. Reid, R.C., y Sherwood, T.K. 1966. *The Properties of Gases and Liquids: Their Estimation and Correlation*. 2nd Ed. McGraw Hill, New York, USA.
130. Rocha, J. A., Bravo, J. L., & Fair, J. R. 1996. *Distillation Columns Containing Structured Packings: A Comprehensive Model for their Performance. 2. Mass Transfer Model*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **35**, 1660.
131. Sahay, B. N. y Sharma, M. M. 1972. *Effective Interfacial Area and Liquid and Gas Side Mass Transfer Coefficients in a Packed Column*. Chemical Engineering Science, **28**, 41-47.
132. Sawistowski, H. 1957. *Flooding Velocities in Packed Columns Operating at Reduced Pressures*. Chemical Engineering Science, **6**, 138-140.
133. Schmidt, R. 1979. Institution of Chemical Engineers Symposium Series. **56**, 3. Citado por: Kister, H.Z. 1992. *Distillation Design*. McGraw Hill.
134. Schultes, M. 2001. *Raschig Super-Ring: A New Fourth Generation Random Packing*. Raschig GmbH, 2001 Spring AIChE Meeting & Petrochemical & Refining, Houston, Texas, April 22-26.
135. Senol, A. 2001. *Mass Transfer Efficiency of Randomly-Packed Column: Modelling Considerations*. Chemical Engineering and Processing, **40**, 41-48.
136. Sherwood, T.K., Pigford, R.L. y Wilke, C.R. 1975. *Mass Transfer*. McGraw Hill, Chemical Engineering Series. New York, USA.
137. Sherwood, T.K., Shipley, G.H., y Holloway, F.A.L. 1938. *Flooding Velocities in Packed Columns*. Industrial and Engineering Chemistry, **30**, No 7, July, 765-769.
138. Shulman, H.L., Ullrich, C.F. y Wells, N. 1955. Journal of the American Institute of Chemical Engineers, **1**, 247. Citado por: Buchanan, J.E. 1967. *Holdup in Irrigated Ring-Packed Towers Below the Loading Point*. Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals, **6**, No 3, 400-407.
139. Silvey, F.C. y Keller, G.J. 1966. *Packed Towers: Testing on a Commercial Scale*. Chemical Engineering Progress, **62**, No 1, 68-74.
140. Skrbic, B. y Cvejanov, J. 1994. *Liquid Holdup Determination in Packed Columns for Sulfur Dioxide Absorption*. Gas Separation & Purification, 1994, **8**, 1.
141. Spedding, P.L. y Spencer, R.M. 1995. *Simulation of Packing Density and Liquid Flow in Fixed Beds*. Computer and Chemical Engineering, **19**, No 1, 43-73.
142. Spiegel, L., Bomio, P. y Hunkeler, R. 1996. *Direct Heat and Mass Transfer in Structured Packings*. Chemical Engineering and Processing, **35**, 479-485.

143. Stichlmair, J. Bravo, J.L. y Fair, J.R. 1989. *General Model for Prediction of Pressure Drop and Capacity of Countercurrent Gas/Liquid Packed Columns*. Gas Separation and Purification, **3**, 19-28.
144. Stichlmair, J.G. y Fair, J.R. 1998. *Distillation: Principles and Practice*. Wiley-VCH, USA.
145. Strigle, R.F. 1994. *Packed Tower Design and Applications: Random and Structured Packings*. 2^{da} Edición, Gulf Publishing Co. Houston, TX, USA.
146. Sulzer Brothers Ltd. 1983. *Separation with Packed Columns*. Winterthur, Switzerland.
147. Sulzer Chemtech. 1989. *Separation Columns for Distillation and Absorption: Packings, Columns, Plants*. Winterthur, Switzerland.
148. Takahashi, T. Akagi, Y. Fujita, K. y Kishimoto, T. 1974. *Flooding Velocities of Gas-Liquid and Liquid-Liquid Contactors Column Type*. Journal of Chemical Engineering of Japan, **19**, 339-341.
149. Taylor, R. y Krishna, R. 1993. *Multicomponent Mass Transfer*. Wiley Chemical Engineering Series, New York.
150. US Stoneware Co. 1963. *Packed Tower Internals: Design Manual TA-50*. Akron, OH, USA.
151. Vogelpohl, A. 1974. *Effective Interfacial Area in irrigated Packed Columns*. Chemical Engineering Science, **30**, 452.
152. Wagner, W. 2000. *The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam*. ASME Journal of Eng. Gas Turbines and Power, **122**, 150-182.
153. Weber, J.H. 1982. *Predict Gas-Phase Diffusion Coefficients*. Chemical Engineering, May 3, 87-92.
154. Whaley, A.K., Bode, C.A. Ghosh, J. y Eldridge, R.B. 1999. *HETP and Pressure Drop Prediction for Structured Packings Distillation Column Using a Neural Network Model*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **38**, 1736-1739.
155. Wilke, C.R. y Lee, C.Y. 1955. *Estimation of Diffusion Coefficients for Gases and Vapor*. Industrial and Engineering Chemistry, **47**, No 6, 1253-1257.
156. Woerlee, G.F. Berends, J. Olujic, Z. y de Graauw, J. 2001. *A Comprehensive Model for the Pressure Drop in Vertical Pipes and Packed Columns*. Chemical Engineering Journal, **84**, 367-379.
157. Yin, F. H., Sun, C. G., Afacan, A., Nandakumar, K., & Chuang, K. T. 2000. *CFD Modeling of Mass-Transfer Processes in Randomly Packed Distillation Columns*. Industrial and Engineering Chemistry Research, **39**, 1369-1380.

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

158. York, J.L., Barberio, J.T., Samyn, M., Zenz, F.A. y Zenz, J.A. 1992. *Solve All Column Flows with One Equation*. Chemical Engineering Progress, October, 93-98.
159. Zenz, F.A. 1953. *What Every Engineer Should Know About Packed Towers Operation*. Chemical Engineering, August, 176-184.
160. Zenz, F.A. y Eckert, R.A. 1961. *New Chart for Packed Tower Flooding*. Petroleum Refiner, **40**, No 2, 130-132.

SOFTWARE

Los siguientes programas se tomaron como guía para el desarrollo del módulo:

1. *Randomly Packed Bed Simulator Hydrodynamics & Mass transfer*. Simon Piché, Faiçal Larachi & Bernard Grandjean. Department of Chemical Engineering, Laval University, Québec, Canada G1K 7P4.
2. *KG-TOWER™ Equipment Rating Program*. Koch-Glitsch.
3. *Packed Column Calculator Version 1.1*. Katmar Software.
4. *F.R.I. SIEVE TRAY RATING PROGRAM REVISION 7.2*. Fractionation Research Inc.
5. *SULPAK for Windows Version 2.1 June 23, 2000*. Sulzer Chemtech.
6. *NORTON PACKED TOWER DESIGN PROGRAM*. Norton Chemical Process Products.
7. *Valve Tray Design System*. Norton Chemical Process Products.

SITIOS DE INTERNET

Los sitios de internet que se presentan a continuación corresponden a las páginas de algunos de los proveedores de empaques existentes, en donde pueden conseguirse catálogos electrónicos de empaques. Sin embargo, las direcciones presentadas sólo sirven como referencia para futuras búsquedas, ya que permanentemente tales direcciones cambian.

1. Lantec Products. *Ceramic Saddles - mass transfer, scrubbers, strippers, degasifiers* – <http://lantecp.com/>
2. Lantec Products. *HD Q-PAC packing for scrubber, oil water separator, stripper, cooling tower, mass transfer* <http://lantecp.com/>

3. Kühni. *Distillation / Absorption*. <http://www.kuhni.ch/pages/uope.html>
4. Lantec Products. *LANPAC random dumped packing for scrubber, stripper, cooling tower, mass transfer, trickling filter*. <http://lantecp.com/>
5. Ming Wu. *Trickling Biofilters for Hydrogen Sulfide Odor Control Simple Biological Process Cuts Chemical use*. Lantec Products, Inc. <http://lantecp.com/>
6. Lantec Products. *Metal Q-PAC random dumped packing*. <http://lantecp.com/>
7. Lantec Products. *NUPAC random dumped packing*. <http://lantecp.com/>
8. Lantec Products. *Q-PAC random dumped packing*. <http://lantecp.com/>
9. Ceilcote. *Tellerette® Packing*. Ceilcote air pollution control. <http://www.ceilcoteapc.com>
10. Lantec Products. *Tower packings*. <http://lantecp.com/>
11. Rauschert (USA). <http://www.rauschertus.com/process-technologies>
12. Zehua (China). <http://www.zehua-chem.com/>
13. Lantec (USA). <http://lantecp.com>
14. Koch y Glitsch (USA). <http://www.koch-glitsch.com>
15. Kühni (Suiza). <http://www.kuhni.ch>
16. Norton (USA). <http://www.nortoncppc.thomasregister.com/olc/nortoncppc/home.htm>
17. Nutter (división de Sulzer). <http://www.nutter1.com>
18. Ceilcote (USA). <http://www.ceilcoteapc.com>
19. Envicon (UK). <http://www.envicon.net/uk/engineering>
20. Montz (Alemania). <http://www.montz.de>
21. Jaeger (USA). <http://www.jaeger.com>
22. Sulzer (Suiza). <http://www.sulzer.com>
23. Raschig (Alemania). <http://www.raschig.de>
24. Saint-Gobain (Norton – Rusia). <http://www.saint-gobain.ru>

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

25. Rauschert (Alemania). <http://www.rauschert.de>
26. Vereinigte Füllkörper-Fabriken GmbH Co. (Alemania). <http://www.vff.com>
27. TowerFlow Technologies (Sudáfrica). <http://www.ptfe.co.za/towerflow/products.htm>

APÉNDICES

A. PROPIEDADES DE EMPAQUES

En las tablas siguientes se presenta la compilación de propiedades y parámetros de los diversos empaques incluidos en la base de datos del módulo desarrollado.

En primer lugar se incluyen los datos de empaques al azar (Tabla A-1) y posteriormente se presenta la información de empaques estructurados (Tabla A-2). Para una consulta más ágil de las propiedades de un empaque determinado puede acudir al explorador de empaques en el módulo de cálculo, en el cual adicionalmente se tiene acceso a la galería de imágenes.

Convenciones:

Tamaño	Diámetro nominal del empaque (mm)
Area	Área superficial específica del empaque (m^2/m^3)
ϵ	Fracción vacía o porosidad del empaque
F_P	Factor de empaque
F_{Pd}	Factor de empaque seco
C_{Lo}	Constante de Billet y Schultes para evaluar el punto de carga
C_{FI}	Constante de Billet y Schultes para evaluar la inundación
C_P	Constante de Billet y Schultes para evaluar la caída de presión
C_H	Constante de Billet y Schultes para evaluar la retención de líquido
C_L	Constante de Billet y Schultes para evaluar la transferencia de masa en el líquido
C_V	Constante de Billet y Schultes para evaluar la transferencia de masa en el gas
C_1, C_2, C_3	Constantes de Stichlmair para evaluar el factor de fricción
ϕ	Esfericidad del empaque
Peso	Peso del empaque seco (kg/m^3)
#	Número de piezas del empaque por m^3
MWR	Velocidad mínima de humedecimiento del empaque (m/s)
θ	Angulo de corrugación del empaque
Hc	Altura de corrugación (m)
S	Lado característico de corrugación (m)
Bc	Base de corrugación (m)
d_{eq}	Diámetro equivalente del empaque reportado por Bravo (pulgadas)
C_o	Constante para el modelo de Bravo <i>et al</i>
Fmin	Velocidad de inundación mínima para el modelo de Bravo <i>et al</i> (ft/s)
Fmáx	Velocidad de inundación máxima para el modelo de Bravo <i>et al</i> (ft/s)
Cmin	Velocidad de carga mínima para el modelo de Bravo <i>et al</i> (ft/s)
Cmáx	Velocidad de carga máxima para el modelo de Bravo <i>et al</i> (ft/s)

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ε	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
1	Ball 1/8	Cerámica	3	720	0.44												1.0000	1400	10517510	
2	Ball 1/4	Cerámica	6	520	0.44												1.0000	1300	3964068	
3	Ball 3/8	Cerámica	10	360	0.44												1.0000	1300	1314689	
4	Ball 1/2	Cerámica	12	275	0.45												1.0000	1300	607693	
5	Ball 5/8	Cerámica	15	225	0.45												1.0000	1300	332962	
6	Ball 3/4	Cerámica	20	190	0.45												1.0000	1300	200799	
7	Ball 1	Cerámica	25	144	0.45												1.0000	1300	87293	
8	Ball 1 1/4	Cerámica	32	120	0.45												1.0000	1300	50526	
9	Ball 1 1/2	Cerámica	38	100	0.45												1.0000	1300	29267	
10	Ball 2	Cerámica	50	72	0.45												1.0000	1300	10918	
11	Ballast Ring Metal 1	Metal	25.4	206.7	0.94	48	37										0.1317	480	49600	
12	Ballast Ring Metal 1 1/2	Metal	38.1	128	0.95	28	30										0.1206	415	13000	
13	Ballast Ring Metal 2	Metal	50.8	101.7	0.96	20	19										0.1013	385	6040	
14	Ballast Ring Metal 3 1/2	Metal	88.9	88.6	0.97	15	14										0.0555	270	1170	
15	Ballast Ring Plastic 5/8	Plástico	15.88	341.2	0.87	97												119		
16	Ballast Ring Plastic 1	Plástico	25.4	213.25	0.9	52	42										0.1801	88	50100	
17	Ballast Ring Plastic 1 1/2	Plástico	38.1	131.2	0.91	32	34										0.1767	76	13600	
18	Ballast Ring Plastic 2	Plástico	50.8	105	0.92	25	20										0.1584	72	6360	
19	Ballast Ring Plastic 3 1/2	Plástico	88.9	85.3	0.93	16	13										0.1015	68	1170	
20	Ballast Plus 2 1/2	Metal	60			14	14													
21	Ballast Saddle 1	Plástico	25.4	213.25	0.92	30	49										0.1609	76	55800	
22	Ballast Saddle 2	Plástico	50.8	111.55	0.94	20	23										0.1315	64	7760	
23	Ballast Saddle 3	Plástico	76.2	91.9	0.95	15	14										0.0821	60	1520	
24	Berl Saddle 4	Cerámica	4	2000	0.58													1000		
25	Berl Saddle 6	Cerámica	6.35	1150	0.63	900	900										0.3376	900	3780000	0.0000018
26	Berl Saddle 8	Cerámica	8	980	0.65													850		
27	Berl Saddle 10	Cerámica	10	660	0.65													850		
28	Berl Saddle 12	Cerámica	12.7	510	0.67	240	274				0.833	1.364	0.232				0.4400	820	590000	0.000002
29	Berl Saddle 15	Cerámica	15	430	0.66									32	6	0.9	0.4433	780	529720	
30	Berl Saddle 20	Cerámica	19.05	280	0.68	170	142										0.4200	770	175000	0.0000022
31	Berl Saddle 25	Cerámica	25.4	205.4	0.695	110	94				0.62	1.246	0.387				0.4100	720	63920	0.0000027
32	Berl Saddle 35	Cerámica	38.1	178	0.73	65	47							33	14	1	0.4050	641	22778	0.0000034
33	Berl Saddle 50	Cerámica	50	120	0.75	45	31										0.3900	625	8800	0.0000045
34	Berl Saddle 76	Cerámica	76	58	0.78													490		
35	Bialecki Ring 1/2	Metal	12.7	340	0.932	76.2											0.0720			
36	Bialecki Ring 1	Metal	25.4	210	0.956	65.5		2.521	1.856	0.891	0.692	1.461	0.331	50	7	25	0.1100		48533	
37	Bialecki Ring 1 3/8	Metal	35	155	0.967	61		2.753	1.885	1.011	0.787	1.412	0.39				0.0990		18177	
38	Bialecki Ring 2	Metal	50.8	121	0.966	53		2.916	1.896	0.719	0.798	1.721	0.302				0.0830		6278	
39	Bialecki Ring Plastic 2	Plástico	50.8	100	0.972	49		1.54	1.366	2.558	3.221						0.0700		3849	
40	Bioflow 9	Plástico	9	855	0.85													170		
41	Bioflow 30	Plástico	30	320	0.9													100		
42	Biolox 10	Plástico	10	640	0.82													180		
43	Biolox 38	Plástico	38	310	0.85													110		
44	Bio-Ring	Plástico	88.9	105	0.95													45		
45	Cascade Bio-Ring	Plástico	177.8	98.5	0.95													35.2		
46	Cascade Mini-Ring 1/2	Metal	12.7	356	0.952	91	55	2.644	2.178	0.882	1.338	2.038	0.495				0.1500		560811	
47	Cascade Mini-Ring 5/8	Metal	15.24	357	0.955	87											0.1410		554	
48	Cascade Mini-Ring 1	Metal	25.4	232.5	0.971	39	31	2.703	1.996	0.641	1.04			-2	-2	2	0.1100		158467	0.0000043
49	Cascade Mini-Ring 1 1/4	Metal	31.75	208		36														
50	Cascade Mini-Ring 1 1/2	Metal	34.925	174.9	0.974	33		2.697	1.841	0.632	0.935			-2	-2	2	0.0950		60744	
51	Cascade Mini-Ring 2	Metal	42.8498	157	0.969	26	24							-2	-2	2	0.0930		80000	0.000005
52	Cascade Mini-Ring 2 1/2	Metal	63.5	130	0.987	23											0.0900		82399	
53	Cascade Mini-Ring 3	Metal	66.675	102	0.97	18	13										0.0880		22000	0.0000062

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ϵ	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
54	Cascade Mini-Ring 4	Metal	88.9	79	0.96	14	9.8										0.1543		10000	0.0000076
55	Cascade Mini-Ring 5	Metal	136.525	46		11														
56	Cascade Mini-Ring Plastic 1A	Plástico	25.4	248	0.92	44	25										0.2200	64.1	140000	0.0000065
57	Cascade Mini-Ring Plastic 2A	Plástico	50.8	161	0.93	33	15										0.2040	56.1	25000	
58	Cascade Mini-Ring Plastic 2	Plástico	63.5	106	0.93	20											0.2266	56	25000	0.0000092
59	Cascade Mini-Ring Plastic 3A	Plástico	76.2	81	0.94	17	12										0.1790	51	7000	0.0000103
60	Cascade Mini-Ring Plastic 3 1/2	Plástico	88.9	124.7	0.94	12												51.3		
61	Cascade Mini-Ring Ceramic 50 x 36	Cerámica	50	105.6	0.774	84.7	38										0.3573	483	9300	
62	Cascade Mini-Ring Ceramic 50 x 30	Cerámica	50	108.8	0.787	68	24										0.3309	516	9091	
63	Cascade Mini-Ring Ceramic 76 x 45	Cerámica	76	63.4	0.795	38.4	18										0.3607	423	2517	
64	Chempak 1	Metal	25.4			29	29													
65	Chempak 2	Metal	50.8			17	17													
66	Cerapac 1 1/2	Cerámica	38.1	167	0.76	40											0.3500	657	30511	
67	Cerapac 2	Cerámica	50.8	118	0.787	30											0.3400	633	12561	
68	Cerapac 3	Cerámica	76.2	79	0.795	18											0.3200	601	3389	
69	Cross Partition Ring 50	Cerámica	50	118	0.71												0.3226	769	5800	
70	Cross Partition Ring 80	Cerámica	80	85	0.67													765		
71	Cross Partition Ring 100	Cerámica	100	67	0.67													769		
72	Cylindrical Ring 1/4 x 1/48	Metal	6	700	0.72													1466		
73	Cylindrical Ring 1/4 x 1/32	Metal	6	707	0.68	700												2114		
74	Cylindrical Ring 5/16 x 1/64	Metal	8	629	0.91													977		
75	Cylindrical Ring 3/8 x 1/64	Metal	10	499	0.89													817		
76	Cylindrical Ring 3/8 x 1/32	Metal	10	505	0.81	390												1522		
77	Cylindrical Ring 1/2 x 1/32	Metal	12	429	0.85	300												1201		
78	Cylindrical Ring 1/2 x 1/16	Metal	12	433	0.84	410												2179		
79	Cylindrical Ring 5/8 x 1/16	Metal	15	350	0.87	290												2066		
80	Cylindrical Ring 3/4 x 1/32	Metal	18	300	0.89	155												833		
81	Cylindrical Ring 3/4 x 1/16	Metal	18	404	0.83	220												1506		
82	Cylindrical Ring 1 x 1/32	Metal	25	220	0.92	115												625		
83	Cylindrical Ring 1 x 1/16	Metal	25	224	0.86	133												1137		
84	Cylindrical Ring 1 1/4 x 1/16	Metal	32	174	0.87	110												993		
85	Cylindrical Ring 1 1/2 x 1/32	Metal	38	150	0.89													401		
86	Cylindrical Ring 2 x 1/16	Metal	50	130	0.9	57												785		
87	Cylindrical Ring 2 1/2 x 1/16	Metal	64	110	0.92													593		
88	Cylindrical Ring 3 x 1/16	Metal	75	75	0.95	32												320		
89	Cylindrical Ring 15	Plástico	15	350	0.86	115												164		
90	Cylindrical Ring 20	Plástico	20	290	0.87													134		
91	Cylindrical Ring 25	Plástico	25	220	0.87													138		
92	Cylindrical Ring 35	Plástico	35	150	0.9													82		
93	Cylindrical Ring 50	Plástico	50	110	0.91													71		
94	Cylindrical Ring 60	Plástico	60	90	0.91													52		
95	Cylindrical Ring 80	Plástico	80	65	0.91													66		
96	Cylindrical Ring Carbon 12-19	Carbón	12	393	0.6	412												496		
97	Cylindrical Ring Carbon 20-20	Carbón	20	246	0.67													640		
98	Cylindrical Ring Carbon 25-20	Carbón	25	173	0.74	159												496		
99	Cylindrical Ring Carbon 38-21	Carbón	38	105	0.67													608		
100	Cylindrical Ring Carbon 50-21	Carbón	50	82	0.74	79												432		
101	Cylindrical Ring Carbon 75-22	Carbón	75	52	0.78	40												384		
102	Cylindrical Ring Ceramic 5	Cerámica	5	1000	0.63													900		
103	Cylindrical Ring Ceramic 6	Cerámica	6	940	0.64													880		
104	Cylindrical Ring Ceramic 8	Cerámica	8	550	0.65													850		
105	Cylindrical Ring Ceramic 10	Cerámica	10	445	0.65	1000												820		
106	Cylindrical Ring Ceramic 12	Cerámica	12	360	0.67													800		

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ε	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
107	Cylindrical Ring Ceramic 15	Cerámica	15	320	0.72	381												700		
108	Cylindrical Ring Ceramic 20	Cerámica	20	240	0.74													650		
109	Cylindrical Ring Ceramic 25	Cerámica	25	193	0.74	160												620		
110	Cylindrical Ring Ceramic 30	Cerámica	30	165	0.77													570		
111	Cylindrical Ring Ceramic 35	Cerámica	35	138	0.77	95												560		
112	Cylindrical Ring Ceramic 40	Cerámica	40	120	0.78													540		
113	Cylindrical Ring Ceramic 50	Cerámica	50	98	0.78	66												550		
114	Cylindrical Ring Ceramic 60	Cerámica	60	78	0.79													520		
115	Cylindrical Ring Ceramic 70	Cerámica	70	72	0.78													510		
116	Cylindrical Ring Ceramic 80	Cerámica	80	60	0.78													490		
117	Cylindrical Ring Ceramic 100	Cerámica	100	44	0.81													450		
118	Cylindrical Ring Ceramic 120	Cerámica	120	35	0.83													420		
119	Envipac Ring 32	Plástico	31.8	138.9	0.936	24		2.944	2.012	0.549	1.039	1.517	0.459				0.2090		52681	
120	Envipac Ring 60	Plástico	60	98.4	0.961	12		2.987	1.864	0.338	0.794	1.522	0.296				0.1080		6773	
121	Envipac Ring 80	Plástico	80	60	0.955	11		2.846	1.522	0.358	0.641	1.603	0.257				0.1280		1962	
122	Fleximax 200	Metal	28.956	173.88	0.973															
123	Fleximax 300	Metal	36.83	137.8	0.979															
124	Fleximax 400	Metal	60.198	85.3	0.987															
125	Fleximax 700	Metal	119.634	42.65	0.982															
126	Flexiring 5/8	Metal	15.875	340	0.93	70	96										0.1440	593	210000	0.0000027
127	Flexiring 1	Metal	25.4	208	0.94	48	37										0.1310	480	49400	0.000004
128	Flexiring 1 1/2	Metal	38.1	128	0.95	28	28										0.1210	385	13200	0.0000051
129	Flexiring 2	Metal	50.8	102	0.96	20	15										0.1010	352	6040	0.0000068
130	Flexiring 3 1/2	Metal	88.9	65	0.97	16	11										0.1630	273	1160	0.0000092
131	Flexiring Plastic 5/8	Plástico	15.875	341	0.889	97	82										0.2170	112	214000	0.0000054
132	Flexiring Plastic 1	Plástico	25.4	207	0.895	52	49										0.1860	88	50800	0.000008
133	Flexiring Plastic 1 1/2	Plástico	38.1	128	0.914	40	32										0.1820	76	13800	0.00001
134	Flexiring Plastic 2	Plástico	50.8	102	0.923	25	21										0.1630	68	6360	0.000013
135	Flexiring Plastic 3 1/2	Plástico	88.9	85	0.928	16	10										0.1110	64	1170	0.000018
136	Flexisaddle 1	Cerámica	25.4	240	0.73	92											0.3750		88334	
137	Flexisaddle 1 1/2	Cerámica	38.1	167	0.77	52											0.2870		18245	
138	Flexisaddle 2	Cerámica	50.8	118	0.78	40											0.3000		8058	
139	Flexisaddle 3	Cerámica	76.2	85	0.78	22											0.2650		2075	
140	Glitsch 30P Ring	Metal	30	164	0.959	47		2.564	1.76	1.056	0.851	1.577	0.398				0.1100		31100	
141	Glitsch 30Pmk Ring	Metal	30	180.5	0.975	38		2.694	1.9	0.851	0.93	1.92	0.45				0.0700		29200	
142	Hiflow Ring Ceramic 20	Cerámica	20	286.2	0.758	61		2.875	2.41	0.628	1.167	1.744	0.465	10	5	1.1	0.3250		121314	
143	Hiflow Ring Ceramic 38	Cerámica	38.1	128	0.76	37		2.84	1.93	0.621		1.659	0.464				0.3550		14350	
144	Hiflow Ring Ceramic 50	Cerámica	50.8	89.7	0.809	26		2.819	1.694	0.538		1.377	0.379				0.3080		5120	
145	Hiflow Ring Ceramic 75	Cerámica	76.2	54.1	0.868	15		2.903	1.565	0.435							0.2880		1904	
146	Hiflow Ring Plastic 15-7	Plástico	15	313	0.91	54											0.1720	80	170198	
147	Hiflow Ring Plastic 25-7	Plástico	25	194.5	0.918	38		2.841	1.989	0.741		1.577	0.39				0.1650	79	46100	
148	Hiflow Ring Plastic 38-1	Plástico	38	125	0.94	23											0.1440	58	14273	
149	Hiflow Ring Plastic 50-0	Plástico	50	82	0.942			2.866	1.702	0.414	0.881	1.219	0.342				0.1410	54	6050	
150	Hiflow Ring Plastic 50-6	Plástico	50	117.1	0.925	15		2.894	1.871	0.327	1.038	1.478	0.345				0.1392	49	6815	
151	Hiflow Ring Plastic 90-6	Plástico	90	69.7	0.968	9		2.853	1.597	0.276							0.0860	41	1340	
152	Hiflow Ring Metal 25	Metal	25.4	202.9	0.962	51		2.918	2.177	0.689	0.799	1.641	0.402				0.0930		40790	
153	Hiflow Ring Metal 50	Metal	50.8	92.3	0.977	16		2.702	1.626	0.421	0.876	1.168	0.408				0.0710		5000	
154	Hy-Pak Ring # 1	Metal	25.4	183	0.961	48	40										0.0940	312	29900	0.0000041
155	Hy-Pak Ring # 1.5	Metal	38.1	122	0.965	28	26										0.0900	280	9390	0.000006
156	Hy-Pak Ring # 2	Metal	50.8	88	0.971	18	17										0.0800	224	3670	0.0000068
157	Hy-Pak Ring # 3	Metal	76.2	60	0.973	16	13										0.0750	208	1090	0.000008
158	Impac 3 5/16	Plástico	83.8	213	0.914	15											0.0560		2017	
159	Impac 5 1/2	Plástico	139.7	108	0.95	6											0.0380		231	

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ϵ	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
160	IMTP Ring 5/8	Metal	15.875			51	51													
161	IMTP Ring 1	Metal	25.4	207	0.962	41	43							1	1.6	2.1	0.1010		168425	0.0000041
162	IMTP Ring 1 1/2	Metal	38.1	151	0.971	24	26										0.0870		50140	0.0000051
163	IMTP Ring 2	Metal	50.8	98	0.977	18	17										0.0780		14685	0.0000068
164	IMTP Ring 2 1/2	Metal	60			16	15													
165	IMTP Ring 3	Metal	76.2	70	0.982	12	11										0.0700		4625	0.000008
166	Intalox Saddle 1/4	Cerámica	6.35	984.25	0.64	725	830										0.3995	875	4149470	
167	Intalox Saddle 3/8	Cerámica	9.525		0.67	330	330											810	1760000	
168	Intalox Saddle 1/2	Cerámica	12.7	550	0.69	200	187										0.2540	745	730000	
169	Intalox Saddle 3/4	Cerámica	19.05	334.65	0.71	145	132							30	6	1.4	0.3690	710	199175	0.0000022
170	Intalox Saddle 1	Cerámica	25.4	256	0.733	98	94							32	7	1	0.3340	680	84000	0.0000027
171	Intalox Saddle 1 1/2	Cerámica	38.1	195	0.76	52	50							30	6	1.2	0.3370	630	23310	0.0000034
172	Intalox Saddle 2	Cerámica	50.8	114.6	0.761	41	37			0.747							0.3420	600	8882	0.0000045
173	Intalox Saddle 3	Cerámica	76.2	91.86	0.77	22	20											600	1836	0.0000053
174	Intalox Saddle Plastic 1	Plástico	25.4	222	0.907	32											0.1800		64852	
175	Intalox Saddle Plastic 1 1/2	Plástico	38.1	170	0.91	25		2.317	1.6								0.1690		25827	
176	Intalox Saddle Plastic 2	Plástico	50.8	122.1	0.908	21		2.382	1.548	0.758							0.1600		8656	
177	Intalox Saddle Plastic 3	Plástico	76.2	88	0.94	14											0.0970		1482	
178	Intalox Snowflake	Plástico	50	92	0.95	13	10										0.1214	45	4925	0.000016
179	Interpak 3/8	Metal	10	620	0.92	246												625		
180	Interpak 5/8	Metal	15	360	0.94	122												345		
181	Interpak 3/4	Metal	20	260	0.96	73												350		
182	Jaeger Ring 5/8	Plástico	15.875	354.3	0.86	97												124.9		
183	Jaeger Ring 1	Plástico	25.4	210	0.9	52												94.5		
184	Jaeger Ring 1 1/2	Plástico	38.1	144.4	0.91	32												76.9		
185	Jaeger Ring 2	Plástico	50.8	108.3	0.92	25												68.9		
186	Jaeger Ring 3 1/2	Plástico	88.9	85.3	0.93	16												60.9		
187	Jaeger Saddle 1	Plástico	25.4	196.85	0.91	33												75.3		
188	Jaeger Saddle 2	Plástico	50.8	98.4	0.94	21												52.9		
189	Jaeger Saddle 3	Plástico	76.2	65.6	0.95	16												44.9		
190	Lanpac 2 5/16	Plástico	58.4	223	0.89	21											0.0960	99.3	7063	
191	Lanpac 3 1/2	Plástico	88.9	144	0.925	14											0.0720	67.3	1766	
192	Lactec Saddle 1/2	Cerámica	12.7	623.4	0.717	200												720.8		
193	Lactec Saddle 3/4	Cerámica	19.05	334.65	0.73	130												688.8		
194	Lactec Saddle 1	Cerámica	25.4	253	0.73	85											0.3160	688.8	61679	
195	Lactec Saddle 1 1/2	Cerámica	38.1	164	0.75	50											0.3080	640.7	18080	
196	Lactec Saddle 2	Cerámica	50.8	115	0.774	37											0.2980	576.7	6945	
197	Lactec Saddle 3	Cerámica	76.2	92	0.755	24											0.3360	624.7	4320	
198	Lessing Experimental	Metal	38.1			30	30													
199	Lessing Ring 25	Cerámica	25	226	0.66													801		
200	Lessing Ring 32	Cerámica	32	174	0.62													897		
201	Lessing Ring 38	Cerámica	38	131	0.6													929		
202	Lessing Ring 50	Cerámica	50	105	0.68													785		
203	Lessing Ring 75	Cerámica	75	118	0.59													929		
204	Levapak 2	Plástico	50.8	143	0.94	16	16							1	1	2.3	0.1135	210	10500	
205	Maspac FN-200	Plástico	50.8	82	0.91	32	32											68.9		
206	Maspac FN-90	Plástico	88.9	141	0.91	20	20											72.1		
207	Munipak Ring 25	Plástico	25	163	0.93													56		
208	Munipak Ring 38	Plástico	38	144	0.93													64		
209	Munipak Ring 50	Plástico	50	85	0.95													41		
210	Munipak Ring 90	Plástico	90	59	0.94													56		
211	Nor-Pak o NSW Ring 5/8	Plástico	15.9	311.4	0.918	84		2.911	2.406	0.365							0.2160		399395	
212	Nor-Pak o NSW Ring 1	Plástico	25.4	202	0.927	38		3.277	2.472	0.397	0.601	0.883	0.366	1	1	1.35	0.1150		20464	

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ϵ	F_p	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{FI}	C_p	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
213	Nor-Pak o NSW Ring 1 3/8	Plástico	35	141.8	0.944	26		3.179	2.242	0.371	0.587	0.756	0.425				0.1290		17450	
214	Nor-Pak o NSW Ring 1 1/2	Plástico	38.1	122	0.94	21											0.1590		17785	
215	Nor-Pak o NSW Ring 2	Plástico	50.8	86.8	0.947	14		2.959	1.786	0.35	0.651	1.08	0.322				0.1380		7330	
216	Nor-Pak o NSW Ring Metal 1	Metal	25.4	203	0.962	44											0.0930		40565	
217	Nor-Pak o NSW Ring Metal 2	Metal	50.8	92	0.977	19											0.0730		4991	
218	Novalox Plastic Saddle 1	Plástico	25.4	225	0.91													84		
219	Novalox Plastic Saddle 1 1/2	Plástico	38.1	170	0.91													80		
220	Novalox Plastic Saddle 2	Plástico	50.8	120	0.92													75		
221	Novalox Saddle 1/2	Cerámica	12.7	623	0.73	201												685		
222	Novalox Saddle 3/4	Cerámica	19.05	335	0.74	131												660		
223	Novalox Saddle 1	Cerámica	25.4	256	0.74	97												640		
224	Novalox Saddle 1 1/2	Cerámica	38.1	183	0.75	52												620		
225	Novalox Saddle 2	Cerámica	50.8	121	0.77	40												580		
226	Novalox Saddle 3	Cerámica	76.2	92	0.77	22												570		
227	Nupac # 2	Plástico	63.5	180	0.909	16											0.0890	82	4414	
228	Nupac # 4	Plástico	114.3	125	0.942	8											0.0530	50	777	
229	Nutter Ring 3/4	Metal	19.05	226.4	0.978	39	39										0.0895	176	151853	0.0000043
230	Nutter Ring 1	Metal	25.4	167.3	0.978	27	27										0.0924	178	67380	0.0000064
231	Nutter Ring 1 1/2	Metal	38.1	125	0.978	20	20										0.0895	181	25603	0.0000082
232	Nutter Ring 2	Metal	50.8	95.2	0.979	17	17							1	1	2.65	0.0925	173	13702	0.000011
233	Nutter Ring 2 1/2	Metal	63.5	82	0.982	15	15										0.0789	144	7400	0.000013
234	Nutter Ring 3	Metal	76.2	65.6	0.984	11	11										0.0755	133	4202	0.000015
235	Pall Ring Metal 10	Metal	10	515	0.93													520		
236	Pall Ring Metal 15	Metal	15.875	368.4	0.931	81	80	2.55	2.081	0.99	0.59						0.1390	385	229225	0.0000027
237	Pall Ring Metal 25	Metal	25.4	221	0.943	56	53	2.627	2.083	0.957	0.719	1.44	0.336	0.05	1	3	0.1260	385	47502	
238	Pall Ring Metal 25S	Metal	25.4	209	0.943	48												460		0.000004
239	Pall Ring Metal 35	Metal	35	139.4	0.946	40		2.629	1.679	0.967	0.644	1.012	0.341	0.1	0.1	2.1	0.1080		19517	
240	Pall Ring Metal 38	Metal	38.1	149.6	0.952	40	28			1.003				0.1	0.1	2.1	0.1150	310	15772	0.0000051
241	Pall Ring Metal 50	Metal	50.8	112.6	0.956	27	24	2.725	1.58	0.763	0.784	1.192	0.41	0.1	0.1	2.1	0.1040	320	6242	0.0000068
242	Pall Ring Metal 76	Metal	76.2	71	0.965	20											0.0800		1300	
243	Pall Ring Metal 80	Metal	80	80	0.965													300		
244	Pall Ring Metal 90	Metal	88.9	66	0.97	18	16										0.0750	270	1170	0.0000092
245	Pall Ring Plastic 5/8	Plástico	15.875	350	0.897	97	106										0.2180	116	214000	0.0000054
246	Pall Ring Plastic 1	Plástico	25.4	225	0.887	52	55	2.696	2.064	0.865	0.528	0.905	0.446				0.1870	88	52300	0.000008
247	Pall Ring Plastic 1 3/8	Plástico	35	151.1	0.906	50		2.654	1.742	0.927	0.718	0.856	0.38				0.1700		17000	
248	Pall Ring Plastic 1 1/2	Plástico	38.1	137	0.92	36	40										0.1820	76	13600	0.00001
249	Pall Ring Plastic 2	Plástico	50.8	111.1	0.919	26	25	2.816	1.757	0.698	0.593	1.239	0.368				0.1590	72	6765	0.000013
250	Pall Ring Plastic 3 1/2	Plástico	88.9	90	0.945	16	13							-5	-4	2.3	0.1110	68	1171	0.000018
251	Pall Ring Ceramic 15	Cerámica	15															690		
252	Pall Ring Ceramic 25 - 3	Cerámica	25	220	0.741	107	150							1	4	1	0.3060	620	40194	0.0000027
253	Pall Ring Ceramic 25 - 3.3	Cerámica	25	195	0.73									10	3	1.2	0.3670	630	44500	
254	Pall Ring Ceramic 35	Cerámica	35	140	0.773	50								33	7	1.4	0.2710	540	9282	
255	Pall Ring Ceramic 35 - 4.5	Cerámica	35	165	0.76									1	6	1.1	0.2880	600	16400	
256	Pall Ring Ceramic 38	Cerámica	38.1	154	0.776	56	81										0.3210		21272	0.0000034
257	Pall Ring Ceramic 50 - 5	Cerámica	50	116.5	0.783	43	45	2.846	1.913	0.662	1.335						0.2730	550	6215	0.0000045
258	Pall Ring Ceramic 50 - 5.5	Cerámica	50	98	0.77												0.3230	583	5300	
259	Pall Ring Ceramic 75	Cerámica	75	82	0.78													540		
260	Pall Ring Ceramic 80 - 8	Cerámica	80	80	0.79													520		
261	Pall Ring Ceramic 80 - 8.8	Cerámica	80	60	0.77												0.3390	567	1410	
262	Pall Ring Ceramic 100 - 10	Cerámica	100	55	0.82													450		
263	Pall Ring Ceramic 100 - 11	Cerámica	100	44	0.81												0.3260	525	725	
264	Pall Ring - High Strength	Metal	50.8			24														
265	Perforated Ring 2	Cerámica	50.8	105	0.74	28												561		

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ϵ	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR	
266	Perforated Ring 3	Plástico	76.2	65.6	0.92	26												69			
267	Protruded Ring	Metal	4			700	700														
268	Q-Pac Metal	Metal	30	196.9	0.972	24											0.0649	272	23484		
269	Q-Pac Plastic #4	Plástico	101.6	98.4	0.963	7											0.0574	35	1165		
270	Q-Pac Plastic #7	Plástico	177.8	98.4	0.961	7											0.0317	34	177		
271	Quartz Rock	Cerámica	50.8			160															
272	Raflux Ring 15-3	Metal	15	360	0.95	74												380			
273	Raflux Ring 25-5	Metal	25	215	0.94	51												380			
274	Raflux Ring 38-5	Metal	38	145	0.97	34												250			
275	Raflux Ring 50-5	Metal	50	112	0.97	23												195			
276	Raflux Ring 70-8	Metal	70	78	0.97	20												204			
277	Raflux Ring 90-8	Metal	90	65	0.97	18												182			
278	Raflux Ring 15	Plástico	15	307.9	0.894	97		2.825	2.4	0.595	0.491	1.913	0.37				0.2035	123.3	193522		
279	Raflux Ring 25	Plástico	25	210	0.9	54												88.1			
280	Raflux Ring 38	Plástico	38	144	0.91	40												75.3			
281	Raflux Ring 50	Plástico	50	108	0.92	26												67.3			
282	Raflux Ring 90	Plástico	90	72	0.93	17												59.3			
283	Raflux Ring 25-3	Cerámica	25	220	0.73	107												620			
284	Raflux Ring 35-4	Cerámica	35	165	0.76	56												540			
285	Raflux Ring 50-5	Cerámica	50	120	0.78	43								75	15	1.6		550			
286	Raflux Ring 75-8	Cerámica	75	98	0.8													540			
287	Raflux Ring 80-8	Cerámica	80	75	0.8													520			
288	Raflux Ring 90-9	Cerámica	90	65	0.81													490			
289	Raflux Ring 100-10	Cerámica	100	55	0.81													450			
290	Ralu Flow # 1	Plástico	25.4	165	0.94			3.612	2.401	0.485	0.64	1.486	0.36				0.1441	55	33000		
291	Ralu Flow # 2	Plástico	50.8	100	0.945			3.412	2.174	0.35	0.64	1.27	0.32				0.1163	54	4600		
292	Ralu Ring 25 x 0.4	Metal	25	215	0.96	49		2.627	2.083	0.957	0.714	1.44	0.336				0.0980	310	51000		
293	Ralu Ring 38 x 0.4	Metal	38	135	0.965			2.629	1.679	1.003	0.644	1.277	0.341				0.0935	210	14500		
294	Ralu Ring 38 x 0.5	Metal	38	135	0.97	28	41										0.0930	260	14500	0.0000081	
295	Ralu Ring 50 x 0.4	Metal	50	105	0.975			2.725	1.58	0.763	0.784	1.192	0.345				0.0727	160	6300		
296	Ralu Ring 50 x 0.5	Metal	50	105	0.98	20	22										0.0730	200	6300	0.000011	
297	Ralu Ring 15	Plástico	15	320	0.94												0.1283	80	170000		
298	Ralu Ring 25	Plástico	25	190	0.94	41	43	2.841	1.989	0.8	0.719	1.32	0.333				0.1290	56	36000	0.000008	
299	Ralu Ring 38	Plástico	38	150	0.95	24	23	2.843	1.812	0.672	0.64	1.32	0.333				0.1100	65	13500	0.00001	
300	Ralu Ring 50	Plástico	50	95.2	0.983	17	17	2.843	1.812	0.468	0.64	1.52	0.303				0.1280	60	5770	0.000013	
301	Ralu Ring 90	Plástico	90	75	0.96	12	8										0.0750	40	1000	0.000018	
302	Ralu Ring 125	Plástico	125	60	0.97												0.0722	30	800		
303	Raschig Ring Ceramic 1/4	Cerámica	6.35	711.94	0.62	1600	1600							48	8	2	0.5151	960	3020000	0.000001	
304	Raschig Ring Ceramic 3/8	Cerámica	9.525	475	0.624	1000	1000							48	8	2	0.4670	977	872272	0.0000014	
305	Raschig Ring Ceramic 1/2	Cerámica	12.7	368	0.64	580	520							48	8	2	0.4880	880	378000	0.0000016	
306	Raschig Ring Ceramic 15	Cerámica	15	330	0.7	305	293							48	10	2.3	0.4137	690	250000		
307	Raschig Ring Ceramic 5/8	Cerámica	15.875	310	0.675	380	380							48	10	2.3	0.4340		203432		
308	Raschig Ring Ceramic 3/4	Cerámica	19.1	266	0.733	255	255							48	8	2	0.3740	800	109000		
309	Raschig Ring Ceramic 25	Cerámica	25	200	0.78	137	122							48	8	2	0.2577	580	25000		
310	Raschig Ring Ceramic 1	Cerámica	25.4	188	0.74	179	150	2.454	1.899	1.329	0.577	1.361	0.412	48	8	2	0.4000	670	47700	0.0000027	
311	Raschig Ring Ceramic 1 1/4	Cerámica	31.75	138.18	0.735	125	125							48	8	2	0.4145	737	23661		
312	Raschig Ring Ceramic 1 1/2	Cerámica	38.1	119	0.75	93	80							48	8	2.15	0.4380	641	13500	0.0000034	
313	Raschig Ring Ceramic 40	Cerámica	40	140	0.75	107	93							48	8	2.15	0.3198	570	12700		
314	Raschig Ring Ceramic 50	Cerámica	50	105	0.81	67	54							48	8	2.15	0.2826	540	6400		
315	Raschig Ring Ceramic 2	Cerámica	50.8	92	0.755	65	68	2.482	1.547			1.416	0.21	48	8	2.15	0.3340	625	5990	0.0000045	
316	Raschig Ring Ceramic 3	Cerámica	76.2	62.34	0.765	37	37							48	8	2.15	0.3690	561	1766		
317	Raschig Ring Ceramic 80	Cerámica	80	90	0.68	85	74							48	8	2.15	0.3119	670	1910		
318	Raschig Ring Ceramic 100	Cerámica	100	70	0.7		52							48	8	2.15	0.3096	680	1000		

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ε	F _P	F _{Pd}	C _{Lo}	C _{Fl}	C _P	C _H	C _L	C _V	C ₁	C ₂	C ₃	φ	Peso	#	MWR
319	Raschig Ring Ceramic 120	Cerámica	120											48	8	2.15		636	579	
320	Raschig Ring Ceramic 150	Cerámica	150	50	0.68		43							48	8	2.15	0.3089	625	318	
321	Raschig Ring 5 x 0.3	Metal	5	1000	0.87												0.2122	1000	5000000	
322	Raschig Ring 6 x 0.3	Metal	6	900	0.89												0.1958	900	4000000	
323	Raschig Ring 8 x 0.3	Metal	8	630	0.91												0.1765	700	1500000	
324	Raschig Ring 10 x 0.3	Metal	10	500	0.92												0.1646	600	770000	
325	Raschig Ring 10 x 0.5	Metal	10	500	0.89												0.2035	920	770000	
326	Raschig Ring 12 x 0.3	Metal	12	430	0.94									60	1	7.5	0.1321	500	450000	
327	Raschig Ring 12 x 0.5	Metal	12	430	0.9												0.1857	820	450000	
328	Raschig Ring 15 x 0.3	Metal	15	350	0.95												0.1149	380	230000	
329	Raschig Ring 15 x 0.5	Metal	15	350	0.92									40	1	6	0.1572	600	230000	
330	Raschig Ring 25 x 0.5	Metal	25	220	0.95												0.1099	400	50000	
331	Raschig Ring 25 x 0.8	Metal	25	220	0.92												0.1504	600	50000	
332	Raschig Ring 35 x 0.8	Metal	35	150	0.93												0.1461	430	19000	
333	Raschig Ring 50 x 0.8	Metal	50	110	0.95												0.1114	320	6500	
334	Raschig Ring 80 x 1.2	Metal	80	65	0.96												0.1018	300	1600	
335	Raschig Ring 100 x 1.5	Metal	100	65	0.94												0.1291	300	1450	
336	Raschig Ring 1/32 - 1/4	Metal	6.35	717	0.721	700	700										0.4220	2130	3110000	0.0000015
337	Raschig Ring 1/32 - 3/8	Metal	9.525	505	0.81	390											0.3115	1506	953496	
338	Raschig Ring 1/32 - 1/2	Metal	12.7	420	0.85	300	300										0.2000	1201	402587	0.0000024
339	Raschig Ring 1/32 - 5/8	Metal	15.875	337.93	0.86	170											0.2801		382740	
340	Raschig Ring 1/32 - 3/4	Metal	19.05	300	0.89	155											0.1815	833	117951	
341	Raschig Ring 1/32 - 1	Metal	25.4	220	0.92	115											0.1509	625	50500	
342	Raschig Ring 1/16 - 1/2	Metal	12.7	433	0.84	410								60	1	7.5	0.2431	1201	402587	
343	Raschig Ring 1/16 - 5/8	Metal	15.875	332	0.87	300											0.1990		207700	
344	Raschig Ring 1/16 - 3/4	Metal	19.05	246.06	0.83	220											0.2899	1500	111000	
345	Raschig Ring 1/16 - 1	Metal	25.4	197	0.86	144	150										0.2270	1140	46300	0.0000041
346	Raschig Ring 1/16 - 1 1/4	Metal	31.75	174	0.88	110											0.1993	993	25603	
347	Raschig Ring 1/16 - 1 1/2	Metal	38.1	131	0.9	83	80										0.1930	785	14100	0.0000051
348	Raschig Ring 1/16 - 2	Metal	50.8	102	0.929	57	70										0.1570	590	5900	0.0000068
349	Raschig Ring 1/16 - 3	Metal	76.2	69	0.95	32											0.1160	400	1800	
350	Raschig Ring Carbon 1/4	Carbón	6.35	695.53	0.55	1600											0.5889	737	3000000	
351	Raschig Ring Carbon 1/2	Carbón	12.7	351	0.705	540	396										0.4340	432	374336	
352	Raschig Ring Carbon 3/4	Carbón	19.05	246.06	0.67	270											0.4514	545	111241	
353	Raschig Ring Carbon 1	Carbón	25.4	194	0.726	179	145										0.3830	432	46967	
354	Raschig Ring Carbon 1 1/4	Carbón	31.75			125												497	23943	
355	Raschig Ring Carbon 1 1/2	Carbón	38.1	124.67	0.67	100	88										0.4440	545	13773	
356	Raschig Ring Carbon 2	Carbón	50.8	94	0.737	69	51										0.3820	432	5827	
357	Raschig Ring Carbon 3	Carbón	76.2	62	0.78	35											0.3380	368	1766	
358	Raschig Ring Plastic 3/8	Plástico	9.5	550	0.88	191											0.2070		903044	
359	Raschig Ring Plastic 5/8	Plástico	15.9	336	0.87	115											0.2180		205160	
360	Raschig Ring Plastic 1	Plástico	25	220	0.92	52											0.2200	100	51000	
361	Raschig Ring Plastic 1 1/2	Plástico	38	190	0.93												0.1042	85	14000	
362	Raschig Ring Plastic 2	Plástico	50	110	0.95												0.1125	70	6700	
363	Raschig Ring Glass 3/8	Vidrio	9.5	481	0.71	476											0.4600		1138604	
364	Raschig Ring Glass 5/8	Vidrio	15.9	261	0.72	237											0.4700		207699	
365	Raschig Super-Ring # 0.3	Metal	6.35	315	0.96			3.56	2.34	0.76	0.75	1.5	0.45				0.1014	340	180000	
366	Raschig Super-Ring # 0.5	Metal	12.7	250	0.975	72		3.35	2.2	0.78	0.62	1.45	0.43				0.0870	275	145000	
367	Raschig Super-Ring # 0.7	Metal	19.05	180	0.975												0.0820	185	45500	
368	Raschig Super-Ring # 1.0	Metal	25.4	160	0.98	32		3.491	2.2	0.5	0.75	1.29	0.44				0.0710	165	32000	
369	Raschig Super-Ring # 1.5	Metal	38.1	120	0.98												0.0700	170	13100	
370	Raschig Super-Ring # 2.0	Metal	50.8	97.6	0.985	26		3.326	2.096	0.464	0.72	1.323	0.4				0.0640	165	9500	
371	Raschig Super-Ring # 3.0	Metal	76.2	80	0.982	16		3.26	2.1	0.43	0.62	0.85	0.3				0.0680	150	4300	

Tabla A1 Empaques al Azar

	Empaque	Material	Tamaño	Area	ε	F_P	F_{Pd}	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H	C_L	C_V	C_1	C_2	C_3	ϕ	Peso	#	MWR
372	Raschig Super-Ring Plastic # 2	Plástico	50.8	100	0.96	20		3.326	2.096	0.377	0.72	1.25	0.337				0.1180	55	9000	
373	Rauschert Saddle 50	Plástico	50	98.4	0.94													56.1		
374	Rauschert Saddle 76	Plástico	76	65.6	0.95													43.2		
375	Rauschert Saddle 12-19	Cerámica	12	622	0.72													685		
376	Rauschert Saddle 20-19	Cerámica	20	450	0.72													660		
377	Rauschert Saddle 25-19	Cerámica	25	225	0.74													640		
378	Rauschert Saddle 38-19	Cerámica	38	166	0.76													620		
379	Rauschert Saddle 50-19	Cerámica	50	120	0.79													580		
380	Rauschert Saddle 75-19	Cerámica	75	92	0.8													580		
381	Rauschert Saddle Ring 25	Metal	25	223	0.97													252		
382	Rauschert Saddle Ring 40	Metal	40	175	0.98													170		
383	Rauschert Saddle Ring 50	Metal	50	128	0.98													150		
384	Rauschert Saddle Ring 60	Metal	60	95	0.98													130		
385	Rauschert Saddle Ring 70	Metal	70	58	0.99													100		
386	Snowflake Vertically Packed	Plástico	93.98	92	0.951	13	10										0.1200	45	4925	0.000016
387	Snowflake Horintally Packed	Plástico	93.98	92	0.951	14.5											0.1200	45	4925	0.000016
388	Snowflake Teflon	Plástico	93.98	92	0.951	16											0.1200	45	4925	
389	Super Intalox Saddle # 1 Plastic	Plástico	25.4	202	0.9	33	40										0.1990	83	57500	0.0000079
390	Super Intalox Saddle # 2 Plastic	Plástico	50.8	108	0.93	21	26										0.1430	61	6400	0.000013
391	Super Intalox Saddle # 3 Plastic	Plástico	76.2	89	0.94	16	14										0.0950	50	1483	0.000017
392	Super Intalox Saddle # 1	Cerámica	25.4	249	0.79	60	62										0.2570	625	45203	0.000003
393	Super Intalox Saddle # 2	Cerámica	50.8	105	0.81	30	31										0.2820	593	6886	0.0000047
394	Super Torus Saddle # 1	Plástico	25.4	240	0.9	50	50										0.1480	70	36600	0.000006
395	Super Torus Saddle # 2	Plástico	50.8	110	0.94	32	31										0.1200	62	5600	0.0000079
396	Super Torus Saddle # 3	Plástico	76.2	90	0.955	15	13										0.0730	41	1245	0.000017
397	Tellerette #1	Plástico	45.974	180.5	0.87	36	40	2.913	2.132	0.538	0.588	0.899					0.1833	88.1	35315	
398	Tellerette #2	Plástico	69.85	124.7	0.93	18	20										0.1420		37037	
399	Tellerette #3	Plástico	95.25	98.4	0.92	16											0.1710		6561	
400	Tellerette #2K	Plástico	82.55	91.9	0.95	11											0.1285	48.1	5827	
401	Tellerette #3K	Plástico	104.775	72.2	0.96	9											0.0971	49.7	1907	
402	Torus Helial Ring	Plástico	25	295	0.92	26												112.1		
403	Transferlox 1	Plástico	25.4		0.9													95	57500	
404	Transferlox 2	Plástico	50.8		0.93													60	6400	
405	Transferlox 3	Plástico	76.2		0.94													48	1400	
406	Transferpack 5/8	Plástico	16		0.87													95	214000	
407	Transferpack 1	Plástico	25		0.9													70	50500	
408	Transferpack 1 1/2	Plástico	38		0.91													70	14700	
409	Transferpack 2	Plástico	50		0.92													62	6200	
410	Transferpack 3 1/2	Plástico	90		0.92													55	1200	
411	Tri-Pak or Top-Pak Ring 30	Metal	30	200	0.972	37											0.0719		33287	
412	Tri-Pak or Top-Pak Ring 50	Metal	50	105.5	0.9715	26		2.528	1.579	0.604	0.881	1.326	0.389				0.0814		6871	
413	Tri-Pak or Top-Pak Ring 75	Metal	75	80	0.98	16												160.2		
414	Tri-Pak o Hackettes 1	Plástico	25.4	279	0.9	28	29										0.1617	99.3	81224	0.000008
415	Tri-Pak o Hackettes 1 1/4	Plástico	31.75	230	0.92	25	26										0.1498	89.7	56503	0.000009
416	Tri-Pak o Hackettes 2	Plástico	50	158	0.935	16	13	2.832	1.966	0.399	0.643						0.1170	67.3	13208	0.000013
417	Tri-Pak o Hackettes 3 1/2	Plástico	90	125	0.95	12	10										0.0626	52.9	1695	0.000018
418	VSP Ring 1	Metal	25	199.6	0.975	32	26	2.755	1.97	0.782	1.369	1.376	0.405				0.0667	180	33434	
419	VSP Ring 1 1/2	Metal	40	132	0.98	21	17										0.0703	170	17657	
420	VSP Ring 2	Metal	50	104.6	0.98	20		2.806	1.689	0.773	1.135	1.222	0.42				0.0677	160	7841	
421	VSP Ring Plastic 1	Plástico	25	185	0.93													60		
422	VSP Ring Plastic 2	Plástico	50	100	0.95													45		
423	VSP Ring Plastic 3 1/2	Plástico	90	78	0.97													30		

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Tabla A2 Empaques Estructurados

	Nombre	Material	Area	ϵ	F_P	F_{Pd}	θ	Hc	S	Bc	C_{Lo}	C_{Fl}	C_P	C_H
1	Cross Partition Ring 75-40	Cerámica	121	0.55										
2	Cross Partition Ring 75-41	Cerámica	141	0.48										
3	Cross Partition Ring 100-40	Cerámica	92	0.61										
4	Cross Partition Ring 100-41	Cerámica	92	0.61										
5	Cross Partition Ring 100-42	Cerámica	105	0.56										
6	Cross Partition Ring 150-40	Cerámica	62	0.56										
7	Cross Partition Ring 150-41	Cerámica	66	0.5										
8	Cross Partition Ring 80	Cerámica	114	0.56										
9	Cross Partition Ring 100	Cerámica	94	0.55										
10	Cross Partition Ring 120	Cerámica	78	0.54										
11	Cross Partition Ring 150	Cerámica	64	0.53										
12	Cross Partition Ring 200	Cerámica	48	0.65										
13	Durapack 280R	Vidrio	290	0.82										
14	Durapack 400R	Vidrio	400	0.72										
15	EuroForm PN-110	Plástico	110	0.936							3.075	1.975	0.25	0.511
16	Flexigrid Style 2	Metal												
17	Flexigrid Style 3	Metal												
18	Flexipac 1 Y	Metal	558	0.91	33	32	45	0.0064	0.009	0.0127				
19	Flexipac 2 Y	Metal	223	0.95	22	11	45	0.0125	0.0177	0.025				
20	Flexipac 3 Y	Metal	134	0.96	16	4.5	45	0.0255	0.036	0.0509				
21	Flexipac 4 Y	Metal	69	0.98		3.2	45							
22	Flexipac HC 1Y	Metal												
23	Flexipac HC 2Y	Metal												
24	Flexipac HC 700Y	Metal												
25	Flexipac Plastic 2X	Plástico	206.69	0.844			60							
26	Flexipac Plastic 2Y	Plástico	206.69	0.844			45							
27	Flexiramic 28	Cerámica	272.31	0.648	40		45							
28	Flexiramic 48	Cerámica	167.32	0.765	24		45							
29	Flexiramic 88	Cerámica	101.71	0.855	15		45							
30	Gempac 0.75A	Metal				4	45							
31	Gempac 1A	Metal	114.83	0.96	9	7	45	0.0255	0.036	0.0509				
32	Gempac 1.5A	Metal	160.76	0.945	12	10	45							
33	Gempac 2A	Metal	202	0.977	16	13	45	0.0122	0.018	0.0268	2.986	2.099	0.344	0.678
34	Gempac 2AT	Metal	223.1	0.93			45							
35	Gempac 2.5A	Metal				17	45							
36	Gempac 3A	Metal	298.56	0.92	21	21	45							
37	Gempac 4A	Metal	452.76	0.91	32	53	45	0.0064	0.009	0.0127				
38	Glitsch Grid EF25A	Metal				5								
39	Goodloe	Metal				50								
40	HD-Qpac	Plástico	430	0.878										
41	HeliPak A	Metal			6000	6000								
42	HeliPak B	Metal			2500	2500								
43	HeliPak C	Metal			1000	1000								
44	Hyperfil	Metal				140								
45	Impulse Packing 250	Metal	250	0.975							2.61	1.996	0.262	0.431
46	Impulse Packing 100	Cerámica	96.7	0.838							2.664	1.655	0.417	1.9
47	Intalox 1T	Metal	315	0.95	28		45							
48	Intalox 1.5T	Metal			22									
49	Intalox 2T	Metal	213	0.97	17		45	0.0104	0.0223	0.039				
50	Intalox 3T	Metal	177	0.97	15		45							
51	Intalox 4T	Metal			13.5									
52	Intalox 5S	Metal			9.5									
53	Intalox 5T	Metal			12									
54	Intalox Grid Packing	Metal			8									
55	Intalox HS-20	Metal			87									
56	Intalox HS-10	Metal			42									
57	Intalox Wire Gauze Packing	Metal			30									
58	Kerapak BX	Cerámica	450	0.75										
59	Koch-Glitsch Wire Gauze BX	Metal	492	0.9										
60	Koch-Glitsch Wire Gauze CY	Metal	700	0.85										
61	Koch-Glitsch Wire Gauze DX	Metal												
62	Koch-Glitsch Wire Gauze EX	Metal												
63	Max-Pak	Metal	252.62	0.975	13	9	45							
64	Mellapak 125X	Metal	125	0.97			60							

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Tabla A2 Empaques Estructurados

	Nombre	C _L	C _V	d _{eq}	C _o	F _{min}	F _{max}	C _{min}	C _{máx}	C ₁	C ₂	C ₃	Peso
1	Cross Partition Ring 75-40												1009
2	Cross Partition Ring 75-41												1169
3	Cross Partition Ring 100-40												993
4	Cross Partition Ring 100-41												864
5	Cross Partition Ring 100-42												993
6	Cross Partition Ring 150-40												993
7	Cross Partition Ring 150-41												1121
8	Cross Partition Ring 80												1086
9	Cross Partition Ring 100												1113
10	Cross Partition Ring 120												1118
11	Cross Partition Ring 150												1145
12	Cross Partition Ring 200												866
13	Durapack 280R												
14	Durapack 400R												
15	EuroForm PN-110	0.973	0.167										
16	Flexigrid Style 2												
17	Flexigrid Style 3												
18	Flexipac 1 Y			0.353	3.38	0	70	0.05	0.3				
19	Flexipac 2 Y			0.707	3.08	0	70	0.1	0.6				
20	Flexipac 3 Y			1.414	4.5	0	70	0.12	0.6				
21	Flexipac 4 Y			2.828	7.26	0	80	0.14	0.6				
22	Flexipac HC 1Y												
23	Flexipac HC 2Y												
24	Flexipac HC 700Y												
25	Flexipac Plastic 2X												
26	Flexipac Plastic 2Y												
27	Flexiramic 28												
28	Flexiramic 48												
29	Flexiramic 88												
30	Gempac 0.75A												64
31	Gempac 1A			1.414	4.5	0	70	0.07	0.5				96
32	Gempac 1.5A												96
33	Gempac 2A			0.707	3.08	0	70	0.06	0.45	3	2.4	0.31	96
34	Gempac 2AT												
35	Gempac 2.5A												
36	Gempac 3A			0.53	3.87	0	70	0.05	0.45	3	2.3	0.28	160
37	Gempac 4A			0.353	3.38	0	60	0.05	0.35				272
38	Glitsch Grid EF25A												
39	Goodloe												
40	HD-Qpac												120
41	HeliPak A												
42	HeliPak B												
43	HeliPak C												
44	Hyperfil												
45	Impulse Packing 250	0.983	0.27										
46	Impulse Packing 100	1.317	0.327										
47	Intalox 1T												
48	Intalox 1.5T												
49	Intalox 2T			0.707	3.08	0	70	0.06	0.45				
50	Intalox 3T												
51	Intalox 4T												
52	Intalox 5S												
53	Intalox 5T												
54	Intalox Grid Packing												
55	Intalox HS-20												
56	Intalox HS-10												
57	Intalox Wire Gauze Packing												
58	Kerapak BX												
59	Koch-Glitsch Wire Gauze BX												
60	Koch-Glitsch Wire Gauze CY												
61	Koch-Glitsch Wire Gauze DX												
62	Koch-Glitsch Wire Gauze EX												
63	Max-Pak					3							205
64	Mellapak 125X												

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Tabla A2 Empaques Estructurados

	Nombre	Material	Area	ϵ	F_p	F_{pd}	θ	Hc	S	Bc	C_{Lo}	C_{Fi}	C_p	C_H
65	Mellapak 125Y	Metal	125	0.97	10		45	0.023	0.0171	0.0241				
66	Mellapak 250X	Metal	250	0.95	2.5		60							
67	Mellapak 250Y	Metal	250	0.975	20		45	0.0119	0.0171	0.0241	3.157	2.464	0.292	0.554
68	Mellapak 350Y	Metal	350	0.93	23		45							
69	Mellapak 500X	Metal	500	0.91	7.6		60	0.0058	0.0171	0.0241				
70	Mellapak 500Y	Metal	500	0.95	34		45							
71	Mellapak 750Y	Metal	750	0.95			45							
72	Montz-Pak B1-100	Metal	100	0.987			45				3.089	1.911		0.626
73	Montz-Pak B1-125	Metal	125	0.97			45							
74	Montz-Pak B1-150	Metal	150				45							
75	Montz-Pak B1-200	Metal	200	0.979			45	0.0149	0.025	0.0399	3.116	2.339	0.355	0.547
76	Montz-Pak B1-250	Metal	247	0.98	22		45	0.012	0.0165	0.022				
77	Montz-Pak B1-300	Metal	300	0.93			45				3.098	2.464	0.295	0.482
78	Montz-Pak B1-350	Metal	346	0.97			45	0.008		0.0167				
79	Montz-Pak B1-250 M	Metal	250	0.98				0.0116		0.02				
80	Montz-Pak B1-350 M	Metal	350	0.97				0.008		0.0147				
81	Montz-Pak A2	Metal			23	23								
82	Montz-Pak A3-500	Metal	500	0.91			45							
83	Montz-Pak A3-750	Metal	750				45							
84	Montz-Pak BSH-250	Metal	250	0.95			45							
85	Montz-Pak BSH-300	Metal	300											
86	Montz-Pak BSH-350	Metal	350											
87	Montz-Pak BSH-400	Metal	400											
88	Montz-Pak BSH-500	Metal	500	0.91			45							
89	Montz-Pak BSH-750	Metal	750											
90	Montz-Pak C1-200	Plástico	200	0.954										0.453
91	Montz-Pak C2-200	Plástico	200	0.9							2.653	1.973		0.481
92	Montz-Pak C2-300	Plástico	300	0.9										0.252
93	MS Pack 500M	Metal	500	0.97										
94	MS Pack 500S	Metal	500	0.97										
95	Multipak	Metal	320	0.65										
96	Neo-Kloss	Metal			6	6								
97	Ralupak 250YC	Metal	250	0.945			60				3.178	2.558	0.191	
98	Rombopak 4M	Metal	170	0.9745										
99	Rombopak 6M	Metal	230	0.9655										
100	Rombopak 9M	Metal	330	0.9505										
101	Rombopak 12M	Metal	450	0.9325										
102	Rombopak S4M	Metal	200	0.97										
103	Rombopak S6M	Metal	250	0.9625										
104	Sulzer AX	Metal	250	0.95			60							
105	Sulzer BX	Metal	492	0.9	21	16	60	0.0064	0.0088	0.0128				
106	Sulzer CY	Metal	700	0.85	70		45							
107	Sulzer BX Plástico	Plástico	450	0.85	21		60							
108	Technopack G500B	Metal	500	0.97										
109	Zehua 100Y	Cerámica	100	0.875				0.03		0.011				
110	Zehua 125X	Cerámica	125	0.85			60	0.023		0.015				
111	Zehua 160Y	Cerámica	160	0.84				0.017		0.022				
112	Zehua 250Y	Cerámica	250	0.82				0.013		0.03				
113	Zehua 350Y	Cerámica	350	0.8				0.009		0.042				
114	Zehua 400Y	Cerámica	400	0.78			45							
115	Zehua 450X	Cerámica	450	0.76			60	0.006		0.05				
116	Zehua 470X	Cerámica	470	0.715			60							

Diseño de un Módulo para el Dimensionamiento Hidráulico de Torres Empacadas

Tabla A2 Empaques Estructurados

	Nombre	C _L	C _V	d _{eq}	C _o	F _{min}	F _{max}	C _{min}	C _{máx}	C ₁	C ₂	C ₃	Peso
65	Mellapak 125Y												
66	Mellapak 250X												
67	Mellapak 250Y									5	3	0.45	
68	Mellapak 350Y												
69	Mellapak 500X												
70	Mellapak 500Y												
71	Mellapak 750Y												
72	Montz-Pak B1-100									3	7	1	
73	Montz-Pak B1-125												
74	Montz-Pak B1-150												
75	Montz-Pak B1-200	0.971	0.39							2	4	1	
76	Montz-Pak B1-250												
77	Montz-Pak B1-300	1.165	0.422							2	3	0.9	
78	Montz-Pak B1-350												
79	Montz-Pak B1-250 M												
80	Montz-Pak B1-350 M												
81	Montz-Pak A2												
82	Montz-Pak A3-500												
83	Montz-Pak A3-750												
84	Montz-Pak BSH-250												
85	Montz-Pak BSH-300												
86	Montz-Pak BSH-350												
87	Montz-Pak BSH-400												
88	Montz-Pak BSH-500												
89	Montz-Pak BSH-750												
90	Montz-Pak C1-200	1.006	0.412										
91	Montz-Pak C2-200	0.739											
92	Montz-Pak C2-300												
93	MS Pack 500M												
94	MS Pack 500S												
95	Multipak												
96	Neo-Kloss												
97	Ralupak 250YC	1.334	0.385										
98	Rombopak 4M												
99	Rombopak 6M												
100	Rombopak 9M												
101	Rombopak 12M												
102	Rombopak S4M												
103	Rombopak S6M												
104	Sulzer AX												
105	Sulzer BX			0.353	3.38	0.3	5	0.03	0.33	15	2	0.35	
106	Sulzer CY												
107	Sulzer BX Plástico												
108	Technopack G500B												
109	Zehua 100Y												
110	Zehua 125X												
111	Zehua 160Y												
112	Zehua 250Y												
113	Zehua 350Y												
114	Zehua 400Y												
115	Zehua 450X												
116	Zehua 470X												

B. PARÁMETROS Y PROPIEDADES FÍSICAS

La información correspondiente a las propiedades y parámetros físicos de las 469 sustancias que constituyen la base de datos del módulo un se presenta en las tablas siguientes. Esta información es tomada de Reid *et al*, 1987. Las sustancias se encuentran ordenadas por fórmula química, primero las inorgánicas y luego las orgánicas.

Convenciones:

CAS	Número de registro del <i>Chemical Abstracts Service</i> para la sustancia.
PM	Peso molecular
TF	Temperatura de fusión (K)
Teb	Temperatura normal de ebullición (K)
Tc	Temperatura crítica (K)
Pc	Presión crítica (atm)
Vc	Volumen crítico (cm ³ /mol)
Zc	Compresibilidad en el punto crítico
AcF	Factor acéntrico de Pitzer
LiqDen	Densidad como líquido a la temperatura de referencia (g/cm ³)
Tref	Temperatura de referencia para la densidad (K)
DPM	Momento dipolar (debyes)
StdHF	Entalpía estándar de formación (kcal/mol)
StdEF	Energía estándar de formación (kcal/mol)
HVBPN	Entalpía de vaporización en el punto normal de ebullición (cal/mol)
VHA	Constante <i>a</i> en la ecuación de calor específico de gas ideal
VHB	Constante <i>b</i> en la ecuación de calor específico de gas ideal
VHC	Constante <i>c</i> en la ecuación de calor específico de gas ideal
VHD	Constante <i>d</i> en la ecuación de calor específico de gas ideal
LVB	Constante <i>b</i> en la ecuación de viscosidad
LBC	Constante <i>c</i> en la ecuación de viscosidad
AntA	Coefficiente <i>a</i> en la ecuación de Antoine
AntB	Coefficiente <i>b</i> en la ecuación de Antoine
AntC	Coefficiente <i>c</i> en la ecuación de Antoine
TMX	Temperatura máxima de validez de la ecuación de Antoine (K)
TMN	Temperatura mínima de validez de la ecuación de Antoine (K)
HarlA	Coefficiente <i>a</i> en la ecuación de Harlacher
HarlB	Coefficiente <i>b</i> en la ecuación de Harlacher
HarlC	Coefficiente <i>c</i> en la ecuación de Harlacher
HarlD	Coefficiente <i>d</i> en la ecuación de Harlacher

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA	
1	Ar	Argón	7440-37-1	39.948	83.8	87.3	150.8	48.1	74.9	0.291	-0.004	1.373	90	0	0	0	1560	4.969	
2	BCl3	Tricloruro de Boro	10294-34-5	117.169	165.9	285.7	452	38.2			0.15	1.35	284	0					
3	BF3	Trifluoruro de Boro	7637-07-2	67.805	146.5	173.3	260.8	49.2			0.42			0					
4	Br2	Bromo	7726-95-6	159.808	266	331.9	584	102	127	0.27	0.132	3.119	293	0.2	0	0	7210	8.087	
5	NOCl	Cloruro de Nitrosilo	2696-92-6	65.459	213.5	267.7	440	90	139	0.35	0.318	1.42	261	1.8	12.57	16	6140	8.144	
6	Cl2	Cloro	7782-50-5	70.906	172.2	238.7	417	76	124	0.275	0.073	1.563	239.1	0.2	0	0	4880	6.432	
7	PCl3	Tricloruro de Fosforo	7719-12-2	137.333	161	349	563		260			1.574	294	0.9					
8	SiCl4	Tetracloruro de Silicio	10026-04-7	169.898	204.3	330.4	507	37	326	0.29	0.264	1.48	293	0			6580		
9	D2	Deuterio	7782-39-0	4.032	18.7	23.7	38.4	16.4	60.3	0.314	-0.13	0.165	22.7	0	0	0	292	7.225	
10	D2O	Oxido de Deuterio	7789-20-0	20.031	277	374.6	644	213.8	55.6	0.225		1.105	293	1.9	-59.57	-56.08	9880		
11	F2	Fluor	7782-41-4	37.997	53.5	85	144.3	51.5	66.2	0.288	0.048	1.51	85		0	0	1560	5.545	
12	NF3	Trifluoruro de Nitrógeno	7783-54-2	71.002	66.4	144.1	234	44.7			0.132	1.537	144	0.2	-29.78	-30.38			
13	SiF4	Tetrafluoruro de Silicio	7783-61-1	104.08	183	187	259	36.7				1.66	178	0					
14	SF6	Hexafluoruro de Azufre	2551-62-4	146.05	222.5	209.3	318.7	37.1	198	0.281	0.286	1.83	223	0	-291.8	-267			
15	HBr	Bromuro de Hidrógeno	10035-10-6	80.912	187.1	206.1	363.2	84.4	100	0.283	0.063	2.16	216	0.8	-8.66	-12.73	4220	7.32	
16	HCl	Cloruro de Hidrógeno	7647-01-0	36.461	159	188.1	324.6	82	81	0.249	0.12	1.193	188.1	1.1	-22.06	-22.77	3860	7.235	
17	HF	Fluoruro de Hidrógeno	7664-39-3	20.006	190	292.7	461	64	69	0.12	0.372	0.967	293		-64.8	-65.3	1600	6.941	
18	HI	Yoduro de Hidrógeno	10034-85-2	127.912	222.4	237.6	424	82	131	0.309	0.05	2.803	237	0.5	6.3	0.38	4724	7.442	
19	H2	Hidrógeno	1333-74-0	2.016	14	20.4	33.2	12.8	65	0.305	-0.22	0.071	20	0	0	0	216	6.483	
20	H2O	Agua	7732-18-5	18.015	273.2	373.2	647.3	217.6	56	0.229	0.344	0.998	293	1.8	-57.8	-54.64	9717	7.701	
21	H2S	Acido Sulhídrico	7783-06-04	34.08	187.6	212.8	373.2	88.2	98.5	0.284	0.1	0.993	213.6	0.9	-4.82	-7.9	4460	7.629	
22	NH3	Amoníaco	7664-41-7	17.031	195.4	239.7	405.6	111.3	72.5	0.242	0.25	0.639	273.2	1.5	-10.92	-3.86	5580	6.524	
23	N2H4	Hidrazina	302-01-2	32.045	274.7	386.7	653	145	96.1	0.26	0.328	1.008	293	3	22.75	37.89	10700	2.333	
24	He	Helio	7440-59-7	4.003		4.21	5.19	2.24	57.3	0.301	-0.387	0.123	4.3	0	0	0	22		
25	I2	Yodo	7553-56-2	253.808	386.8	457.5	819	115	155	0.265	0.299	3.74	453.2	1.3	0	0	10000	8.501	
26	Kr	Kriptón	7439-90-9	83.8	115.8	119.8	209.4	54.3	91.2	0.288	-0.002	2.42	120	0	0	0	2309		
27	NO	Oxido Nítrico	10102-43-9	30.006	109.5	121.4	180	64	58	0.25	0.607	1.28	121	0.2	21.6	20.72	3300	7.009	
28	NO2	Dióxido de Nitrógeno	10102-44-0	46.006	261.9	294.3	431.4	100	170	0.48	0.86	1.447	292.9	0.4	8.09	12.42	4555	5.788	
29	N2	Nitrógeno	7727-37-9	28.013	63.3	77.4	126.2	33.5	89.5	0.29	0.04	0.804	78.1	0	0	0	1333	7.44	
30	N2O	Oxido Nitroso	10024-97-2	44.013	182.3	184.7	309.6	71.5	97.4	0.274	0.16	1.226	183.6	0.2	19.49	24.77	3955	5.164	
31	Ne	Neón	7440-01-09	20.183	24.5	27	44.4	27.2	41.7	0.311	0	1.204	27	0	0	0	440		
32	O2	Oxígeno	7782-44-7	31.999	54.4	90.2	154.6	49.8	73.4	0.288	0.021	1.149	90	0	0	0	1630	6.713	
33	SO2	Dióxido de Azufre	7446-09-05	64.063	197.7	263	430.8	77.8	122	0.268	0.251	1.455	263	1.6	-70.95	-71.74	5955	5.697	
34	O3	Ozono	10028-15-6	47.998	80.5	161.3	261	55	88.9	0.228	0.215	1.356	161.3	0.6	34.1	38.91	2670	4.907	
35	SO3	Trióxido de Azufre	7446-11-09	80.058	290	318	491	81	130	0.26	0.41	1.78	318	0	-94.47	-88.52	9716		
36	Xe	Xenón	7440-63-3	131.3	161.3	165	289.7	57.6	118	0.286	0.002	3.06	165	0	0	0	3108		
37	CBrF3	Trifluorobromometano	75-63-8	148.91		214	340.2	39.2	200	0.28				0.7	-155.1	-148.8			
38	CBrCl3	Clorotrifluorometano	75-62-7	104.459	92	191.7	302	38.7	180	0.282	0.18			0.5	-166	-156.3	3706	5.449	
39	CCl2F2	Diclorodifluorometano	75-71-8	120.914	115.4	243.4	385	40.7	217	0.28	0.176	1.75	158	0.5	-115	-105.7	4772	7.547	
40	CCl2O	Fosgeno	75-44-5	98.916	145	280.8	455	56	190	0.28	0.204	1.381	293	1.1	-52.8	-49.42	5830	6.709	
41	CCl3F	Triclorofluorometano	75-69-4	137.368	162	297	471.2	43.5	248	0.279	0.188			0.5	-68	-58.64	5920	9.789	
42	CCl4	Tetracloruro de Carbono	56-23-5	153.823	250	349.7	556.4	45	276	0.272	0.194	1.584	298	0	-24	-13.92	7170	9.725	
43	CF4	Tetrafluoruro de Carbono	75-73-0	88.005	86.4	145.2	227.6	36.9	140	0.277	0.191			0	-223	-212.34	2860	3.339	
44	CO	Monóxido de Carbono	630-08-0	28.01	68.1	81.7	132.9	34.5	93.1	0.295	0.049	0.803	81	0.1	-26.42	-32.81	1444	7.373	
45	COS	Sulfuro de Carbonilo	463-58-1	60.07	134.3	222.9	375	58	140	0.26	0.099	1.274	173.7	0.7	-33.08	-39.59		5.629	
46	CO2	Dióxido de Carbono	124-38-9	44.01	216.6	194.7	304.2	72.8	94	0.274	0.225	0.777	293	0	94.05	-94.26	4100	4.728	
47	CS2	Disulfuro de Carbono	75-15-0	76.131	161.3	319.4	552	78	170	0.293	0.115	1.293	273	0	27.98	15.99	6390	6.555	
48	CHClF2	Clorodifluorometano	75-45-6	86.469	113	232.4	369.2	49.1	165	0.267	0.215	1.23	289	1.4	-119.9	-112.47	4826	4.132	
49	CHCl2F	Dicloromonofluorometano	75-43-4	102.923	138	282	451.6	51	197	0.272	0.202	1.38	282	1.3	-71.4	-64.1	5960	5.652	
50	CHCl3	Cloroformo	67-66-3	119.378	209.6	334.3	536.4	54	239	0.293	0.216	1.489	293	1.1	-24.2	-16.38	7100	5.733	
51	HCN	Acido Cianhídrico	74-90-8	27.026	259.9	298.9	456.8	53.2	139	0.197	0.407	0.688	293	3	31.2	28.71	6027	5.222	
52	CH2Br2	Dibromometano	74-95-3	173.835	220.6	370	583	71				2.5	293	1.9	-1	-1.34			
53	CH2Cl2	Diclorometano	75-09-2	84.933	178.1	313	510	60	193	0.277	0.193	1.317	298	1.8	-22.8	-16.46	6690	3.094	
54	CH2O	Formaldehído	50-00-0	30.026	156	254	408	65				0.253	0.815	253	2.3	-27.7	-26.27	5500	5.607

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarIA	HarIB	HarIC	HarID
1	Ar	Argón	-7.67E-06	1.23E-08	0.00E+00	107.57	58.76	15.233	700.51	-5.84	94	81	31.173	-1039.64	-2.382	0.264
2	BCl3	Tricloruro de Boro											52.723	-4443.16	-5.404	2.97
3	BF3	Trifluoruro de Boro											67.758	-3481.19	-7.963	0.768
4	Br2	Bromo	2.69E-03	-2.85E-06	1.08E-09	387.82	292.79	15.8441	2582.32	-51.56	354	259				
5	NOCl	Cloruro de Nitrosilo	1.07E-02	-7.98E-06	2.42E-09			166.951	2520.7	-23.46	285	210	36.38	-3748.59	-2.819	1.2
6	Cl2	Cloro	8.08E-03	-9.24E-06	3.70E-09	191.96	172.35	15.961	1978.32	-27.01	264	172	42.217	-3412.28	-3.894	1.27
7	PCl3	Tricloruro de Fosforo														
8	SiCl4	Tetracloruro de Silicio						15.8019	2634.16	-43.15	364	238				
9	D2	Deuterio	-1.58E-03	2.79E-06	-8.80E-10	19.67	8.38	13.2954	157.89	0	25	19				
10	D2O	Oxido de Deuterio				757.92	304.58									
11	F2	Fluor	8.73E-03	-8.27E-06	2.88E-09	84.2	52.52	15.67	714.1	-6	91	59	30.772	-1040.27	-2.683	0.21
12	NF3	Trifloruro de Nitrógeno						15.6107	1155.69	-15.37	155	103	39.219	-1971.37	-3.81	0.679
13	SiF4	Tetrafluoruro de Silicio														
14	SF6	Hexafluoruro de Azufre				251.29	180.75	19.3785	2524.78	-11.16	220	159				
15	HBr	Bromuro de Hidrógeno	-2.26E-03	4.11E-06	-1.49E-09	88.08	166.32	14.4687	1242.53	-47.86	221	184	28.102	-2394.35	-1.843	0.871
16	HCl	Cloruro de Hidrógeno	-1.72E-03	2.98E-06	-9.31E-10	372.78	277.74	16.504	1714.25	-14.45	200	137	38.614	-2626.67	-3.443	0.717
17	HF	Fluoruro de Hidrógeno	1.58E-04	-4.85E-07	5.98E-10	438.74	199.62	17.6958	3404.49	15.06	313	206	26.16	-3496.52	-1.338	1.84
18	HI	Yoduro de Hidrógeno	-3.41E-03	7.10E-06	-3.23E-09	155.15	285.43	12.9149	957.96	-85.06	256	215	33.884	-3013.08	-2.673	1.23
19	H2	Hidrógeno	2.22E-03	-3.30E-06	1.83E-09	13.82	5.39	13.6333	164.9	3.19	25	14	12.05	-114.95	0.048	0.048
20	H2O	Agua	4.60E-04	2.52E-06	-8.59E-10	658.25	283.16	18.3036	3816.44	-46.13	441	284	55.336	-6869.5	-5.115	1.05
21	H2S	Acido Sulhídrico	3.43E-04	5.81E-06	-2.81E-09	342.79	165.54	16.104	1768.69	-26.06	230	190	42.687	-3132.31	-3.985	0.871
22	NH3	Amoníaco	5.69E-03	4.08E-06	-2.83E-09	349.04	169.63	16.9481	2132.5	-32.98	261	179	51.947	-4104.67	-5.146	0.82
23	N2H4	Hidrazina	4.53E-02	-3.96E-05	1.44E-08	524.98	290.88	17.9899	3877.65	-45.15	343	288	56.096	-6951.84	-5.286	1.63
24	He	Helio						12.2514	33.7329	1.79	4.3	3.7	8.622	-12.23	0.433	0.007
25	I2	Yodo	1.56E-03	-1.67E-06	6.77E-10	559.62	520.55	16.1597	3709.23	-68.16	487	383				
26	Kr	Kriptón						15.2677	958.75	-8.71	129	113	30.717	-1408.77	-2.579	0.448
27	NO	Oxido Nítrico	-2.24E-04	2.33E-06	-1.00E-09			20.1314	1572.52	-4.88	140	95	61.514	-2465.78	-7.211	0.279
28	NO2	Dióxido de Nitrógeno	1.16E-02	-4.97E-06	7.00E-11	406.2	230.21	20.5324	4141.29	3.65	320	230	61.862	-6073.34	-6.094	1.04
29	N2	Nitrógeno	-3.24E-03	6.40E-06	-2.79E-09	90.3	46.14	14.9542	588.72	-6.6	90	54	31.927	-924.86	-3.075	0.264
30	N2O	Oxido Nitroso	1.74E-02	-1.38E-05	4.37E-09			16.1271	1506.49	-25.99	200	144	46.444	-2867.98	-4.655	0.743
31	Ne	Neón						14.0099	180.47	-2.61	29	24	26.181	-295.44	-2.645	0.041
32	O2	Oxígeno	-8.79E-07	4.17E-06	-2.54E-09	85.68	51.5	15.4075	734.55	-6.45	100	63	31.041	-1082.52	-2.761	0.265
33	SO2	Dióxido de Azufre	1.60E-02	-1.19E-05	3.17E-09	397.85	208.42	16.768	2302.35	-35.97	280	195	55.502	-4552.5	-5.666	1.32
34	O3	Ozono	1.91E-02	-1.49E-05	4.05E-09	313.79	120.34	15.7427	1272.18	-22.16	174	109				
35	SO3	Trióxido de Azufre				1372.8	315.99	20.8403	3995.7	-36.66	332	290	139.56	-10420.1	-17.38	1.6
36	Xe	Xenón						15.2958	1303.92	-14.5	178	158	31.429	-1951.76	-2.544	0.804
37	CBrF3	Trifluorobromometano														
38	CBrCl3	Clorotrifluorometano	4.57E-02	-3.77E-05	1.07E-08								44.255	-2769.96	-4.415	1.3
39	CCl2F2	Diclorodifluorometano	4.26E-02	-3.60E-05	1.04E-08	215.09	165.55									
40	CCl2O	Fosgeno	3.25E-02	-3.28E-05	1.21E-08			15.7565	2167.31	-43.15	341	213				
41	CCl3F	Triclorofluorometano	3.89E-02	-3.38E-05	9.90E-09			15.8516	2401.61	-36.3	300	240	48.709	-4464.14	-4.753	2.85
42	CCl4	Tetracloruro de Carbono	4.89E-02	-5.42E-05	2.11E-08	540.15	290.84	15.8742	2808.19	-45.99	374	253	51.009	-5386.51	-4.953	3.82
43	CF4	Tetrafluoruro de Carbono	4.84E-02	-3.88E-05	1.08E-08			16.0543	1244.55	-13.06	148	93				
44	CO	Monóxido de Carbono	-3.07E-03	6.66E-06	-3.04E-09	94.06	48.9	14.3686	530.22	-13.15	108	63	32.981	-997.18	-3.216	0.284
45	COS	Sulfuro de Carbonilo	1.91E-02	-1.68E-05	5.86E-09								41.853	-3137.78	-3.914	1.3
46	CO2	Dióxido de Carbono	1.75E-02	-1.34E-05	4.10E-09	578.08	185.24	22.5898	3103.39	-0.16	204	154	52.703	-3146.64	-5.572	0.705
47	CS2	Disulfuro de Carbono	1.94E-02	-1.83E-05	6.38E-09	274.08	200.22	15.9844	2690.85	-31.62	342	228	37.401	-4255.99	-3.027	2.21
48	CHClF2	Clorodifluorometano	3.87E-02	-2.79E-05	7.31E-09			15.5602	1704.8	-41.3	240	225	52.663	-3768.03	-5.474	1.55
49	CHCl2F	Dicloromonofluorometano	3.78E-02	-2.87E-05	7.80E-09								54.563	-4629.02	-5.59	2.22
50	CHCl3	Cloroformo	4.52E-02	-4.40E-05	1.59E-08	394.81	246.5	15.9732	2696.79	-46.16	370	260	52.872	-5359.56	-5.2	2.96
51	HCN	Acido Cianhídrico	1.45E-02	-1.19E-05	4.34E-09	194.7	145.31	16.5138	2585.8	-37.15	330	234	37.742	-4183.37	-3.004	2.18
52	CH2Br2	Dibromometano				428.91	294.57									
53	CH2Cl2	Diclorometano	3.88E-02	-3.11E-05	1.01E-09	359.55	225.13	16.3029	2622.44	-41.7	332	229	53.767	-5110.2	-5.364	2.41
54	CH2O	Formaldehído	7.54E-03	7.13E-06	-5.49E-09	319.83	171.35	16.4775	2204.13	-30.15	271	185	45.118	-3873.26	-4.2	3.41

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
55	CH2O2	Acido Fórmico	64-18-6	46.025	281.5	373.8	580					1.226	288	1.5	-90.49	-83.89	5240	2.798
56	CH3Br	Bromuro de Metilo	74-83-9	94.939	179.5	276.7	464	85			0.273	1.737	268	1.8	-9	-6.73	5715	3.446
57	CH3Cl	Cloruro de Metilo	74-87-3	50.488	175.4	248.9	416.3	65.9	139	0.268	0.156	0.915	293	1.9	-20.63	-15.03	5120	3.314
58	CH3F	Fluoruro de Metilo	593-53-3	34.033	131.4	194.8	317.8	58	124	0.275	0.19	0.843	213	1.8	-55.9	-50.19		3.302
59	CH3I	Yoduro de Metilo	74-88-4	141.939	206.7	315.6	528	65	190	0.285	0.172	2.279	293	1.6	3.34	3.74	6500	2.581
60	CH3NO2	Nitrometano	75-52-5	61.041	244.6	374.4	588	62.3	173	0.224	0.346	1.138	293	3.1	-17.86	-1.66	8225	1.773
61	CH4	Metano	74-82-8	16.043	90.7	111.7	190.6	45.4	99	0.288	0.008	0.425	111.7	0	-17.89	-12.15	1955	4.598
62	CH3OH	Metanol	67-56-1	32.042	175.5	337.8	512.6	79.9	118	0.224	0.559	0.791	293	1.7	-48.08	-38.84	8426	5.052
63	CH4S	Metil Mercaptano	74-93-1	48.107	150	279.1	470	71.4	145	0.268	0.155	0.866	293	1.3	-5.49	-2.37	5870	3.169
64	CH5N	Metil Amina	74-89-5	31.058	179.7	266.8	430	73.6	140	0.292	0.275	0.703	259.6	1.3	-5.5	7.71	6210	2.741
65	CH6N2	Metil Hidrazina	60-34-4	46.072		364	567	79.3	271	0.462				1.7	20.4	42.51		
66	C2ClF5	Cloropentafluoroetano	76-15-3	154.467	167	234	353.2	31.2	252	0.271	0.253			0.3			4650	6.648
67	C2Cl2F4	1,1-Dicloro-1,2,2,2-Tetrafluoroetano	374-07-2	170.922	179	277	418.6	32.6	294	0.279		1.455	298					9.662
68	C2Cl2F4	1,2-Dicloro-1,1,2,2-Tetrafluoroetano	76-14-2	170.922	179.3	276.9	418.9	32.2	293	0.275	0.255	1.48	277	0.5	-214.6		5560	9.262
69	C2Cl3F3	1,2,2-Tricloro-1,1,2-Trifluoroetano	76-13-1	187.38	238.2	320.7	487.2	33.7	304	0.256	0.252	1.58	289		-178.1		6570	14.603
70	C2Cl4	Tetracloroetileno	127-18-4	165.834	251	394.3	620	44	290	0.25		1.62	293	0	-2.9	5.4	8300	10.98
71	C2Cl4F2	1,1,2,2-Tetracloro-1,2-Difluoroetano	76-12-0	203.831	298	364.7	551					1.645	298					
72	C2F4	Perfluoroetano	116-14-3	100.016	130.7	197.5	306.4	38.9	175	0.271	0.226	1.519	197		-157.4	-149.07		6.929
73	C2F6	Perfluoroetano	76-16-4	138.012	172.4	194.9	292.8		224			1.59	195	0	-321	-300.52	3860	6.405
74	C2N2	Cianógeno	460-19-5	52.035	245.3	252.5	400	59			0.24			0.2	73.84	71.03		8.583
75	C2HCl3	Tricloroetileno	79-01-6	131.389	186.8	360.4	571	48.5	256	0.265	0.213	1.462	293	0.9	-1.4	4.75	7500	7.207
76	C2HF3O2	Acido Trifluoroacético	76-05-1	114.024	257.9	345.6	491.3	32.2				1.535	273	2.3				
77	C2H2	Acetileno	74-86-2	26.038	192.4	189.2	308.3	60.6	113	0.271	0.184	0.615	189	0	54.19	50	4050	6.406
78	C2H2F2	1,1-Difluoroetileno	75-38-7	64.035			302.8	44	154	0.273				1.4	-82.5	-76.84		0.734
79	C2H2O	Ceteno	463-51-4	42.038	138	232	380	64	145	0.3	0.207			1.4	-14.6	-14.41	4930	1.525
80	C2H3Cl	Cloruro de Vinilo	75-01-4	62.499	119.4	259.8	429.7	55.3	169	0.265	0.122	0.969	259	1.5	8.4	12.31	5321	1.421
81	C2H3ClF2	1-Cloro-1,1-Difluoroetano	75-68-3	100.496	142	263.4	410.2	40.7	231	0.279		1.1	303	2.1				4.017
82	C2H3ClO	Cloruro de Acetilo	75-36-5	78.498	160.2	323.9	508	58	204	0.28	0.344	1.104	293	2.4	-58.3	-49.29	6850	5.976
83	C2H3Cl3	1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	133.405	236.5	386.9	602	41	294	0.24	0.22	1.441	293	1.7	-33.1	-18.52	7960	1.51
84	C2H3F	Fluoruro de Vinilo	*	46.044	130	235.5	327.8	51.7	144	0.277				1.4				
85	C2H3F3	1,1,1-Trifluoroetano	420-46-2	84.041	161.9	225.5	346.2	37.1	221	0.289	0.257			2.3	-178.2	-162.23	4580	1.372
86	C2H3N	Acetonitrilo	75-05-8	41.053	229.3	354.8	548	47.7	173	0.184	0.321	0.782	293	3.5	21	25.24	7500	4.892
87	C2H3NO	Metil Isocianato	624-83-9	57.052		312	491	55			0.278	0.958	293		-21.5		7070	8.542
88	C2H4	Etileno	74-85-1	28.054	104	169.4	282.4	49.7	129	0.276	0.085	0.577	163	0	12.5	16.28	3237	0.909
89	C2H4Cl2	1,1-Dicloroetano	75-34-3	98.96	176.2	330.4	523	50	240	0.28	0.248	1.168	298	2	-31.05	-17.47	6860	2.979
90	C2H4Cl2	1,2-Dicloroetano	107-06-2	98.96	237.5	356.6	561	53	220	0.25	0.286	1.25	289	1.8	-31	-17.65	7650	4.893
91	C2H4F2	1,1-Difluoroetano	75-37-6	66.051	156.2	248.4	386.6	44.4	181	0.253	0.266			2.3	-118	-104.26	5100	2.072
92	C2H4O	Acetaldehído	75-07-0	44.054	150.2	293.6	461	55	154	0.22	0.303	0.778	293	2.5	-39.76	-31.86	6150	1.843
93	C2H4O	Oxido de Etileno	75-21-8	44.054	161	283.5	469	71	140	0.258	0.2	0.899	273	1.9	-12.58	-3.13	6120	-1.796
94	C2H4O2	Acido Acético	64-19-7	60.052	289.8	391.1	594.4	57.1	171	0.2	0.454	1.049	293	1.3	-103.93	-90.03	5660	1.156
95	C2H4O2	Formato de Metilo	107-31-3	60.052	174.2	304.9	487.2	59.2	172	0.255	0.252	0.974	293	1.8	-83.6	-71.03	6740	0.342
96	C2H5Br	Bromuro de Etilo	74-96-4	108.966	154.6	311.5	503.8	61.5	215	0.32	0.254	1.451	298	2	-15.3	-6.29	6330	1.59
97	C2H5Cl	Cloruro de Etilo	75-00-3	64.515	136.8	285.4	460.4	52	199	0.274	0.19	0.896	293	2	-26.7	-14.34	5900	-0.132
98	C2H5F	Fluoruro de Etilo	353-36-6	48.06	129.9	235.4	375.3	49.6	169	0.272	0.238			2	-62.5	-50.08		1.038
99	C2H5N	Etilen Imina	151-56-4	43.069	195	329.8						0.833	298	1.9	29.5	42.54	7660	-4.961
100	C2H6	Etano	74-84-0	30.07	89.9	184.5	305.4	48.2	148	0.285	0.098	0.548	183	0	-20.24	-7.87	3515	1.292
101	C2H6O	Dimetil Eter	115-10-6	46.069	131.7	248.3	400	53	178	0.287	0.192	0.667	293	1.3	-43.99	-26.99	5140	4.064
102	C2H6O	Etanol	64-17-5	46.069	159.1	351.5	516.2	63	167	0.248	0.635	0.789	293	1.7	-56.12	-40.22	9260	2.153
103	C2H6O2	Etilenglicol	107-21-1	62.069	260.2	470.4	645	76	186	0.27		1.114	293	2.2	-93.05	-72.77	12550	8.526
104	C2H6S	Etil Mercaptano	75-08-1	62.134	125.3	308.2	499	54.2	207	0.274	0.19	0.839	293	1.5	-11.02	-1.12	6400	3.564
105	C2H6S	Sulfuro de Dimetilo	75-18-3	62.13	174.9	310.5	503	54.6	201	0.266	0.19	0.848	293	1.5	-8.97	1.66	6440	5.805
106	C2H7N	Etilamina	75-04-7	45.085	192	289.7	456	55.5	178	0.264	0.284	0.683	293	1.3	-11	8.91	6700	0.882
107	C2H7N	Dimetilamina	124-40-3	45.085	181	280	437.6	52.4	187	0.272	0.288	0.656	293		-4.5	16.25	6330	-0.041
108	C2H7NO	Monoetanolamina	141-43-5	61.084	283.5	443.5	614	44	196	0.17		1.016	293	2.6	-48.18		12000	2.224

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarA	HarB	HarC	HarD
55	CH2O2	Acido Fórmico	3.24E-02	-2.01E-05	4.82E-09	729.35	325.72	16.9882	3599.58	-26.09	409	271				
56	CH3Br	Bromuro de Metilo	2.61E-02	-1.29E-05	2.39E-09	298.15	211.15	16.0252	2271.71	-34.83	326	215	55.295	-4467.46	-5.788	2.35
57	CH3Cl	Cloruro de Metilo	2.42E-02	-9.29E-06	6.13E-10	426.45	193.56	16.1052	2077.97	-29.55	266	180	43.66	-3642.21	-4.064	1.46
58	CH3F	Fluoruro de Metilo	2.06E-02	-4.95E-06	-4.74E-10			16.3428	1704.41	-19.27	209	141	43.063	-2890.54	-4.102	0.906
59	CH3I	Yoduro de Metilo	3.32E-02	-2.49E-05	8.33E-09	336.19	229.95	16.0905	2639.55	-36.5	325	260	47.781	-4686.9	-4.577	2.84
60	CH3NO2	Nitrometano	4.72E-02	-2.58E-05	4.98E-09	452.5	261.21	16.2193	2972.64	-64.15	409	278	50.133	-5996.3	-4.641	3.08
61	CH4	Metano	1.25E-02	2.86E-06	-2.70E-09	114.14	57.6	15.2243	897.84	-7.16	120	93	30.175	-1300.61	-2.641	0.442
62	CH3OH	Metanol	1.69E-02	6.18E-06	-6.81E-09	555.3	260.64	18.5875	3626.55	-34.29	364	257	72.268	-7064.2	-7.68	1.86
63	CH4S	Metil Mercaptano	3.48E-02	-2.04E-05	4.96E-09			16.1909	2338.38	-34.44	300	200	46.61	-4233.88	-4.408	1.71
64	CH5N	Metil Amina	3.41E-02	-1.27E-05	1.14E-09	311.8	176.3	17.2622	2484.83	-32.92	311	212	62.306	-4954.32	-6.642	1.4
65	CH6N2	Metil Hidrazina						15.1424	2319.84	-91.7	400	270				
66	C2ClF5	Cloropentafluoroetano	8.34E-02	-6.90E-05	1.94E-08			15.7343	1848.9	-30.88	230	175	51.878	-3659.53	-5.433	2.25
67	C2Cl2F4	1,1-Dicloro-1,2,2,2-Tetrafluoroetano	7.83E-02	6.57E-05	1.87E-08											
68	C2Cl2F4	1,2-Dicloro-1,1,2,2-Tetrafluoroetano	8.22E-02	7.05E-05	2.03E-08								52.316	-4327.01	-5.35	3.02
69	C2Cl3F3	1,2,2-Tricloro-1,1,2-Trifluoroetano	6.87E-02	-5.78E-05	1.65E-08			15.8424	2532.61	-45.67	360	250	57.097	-5249.75	-5.913	3.91
70	C2Cl4	Tetracloroetileno	5.39E-02	-5.48E-05	2.00E-08	392.58	281.82	16.1642	3259.29	-52.15	460	307				
71	C2Cl4F2	1,1,2,2-Tetracloro-1,2-Difluoroetano											75.315	-7113.72	-8.344	4.95
72	C2F4	Perfluoroetano	5.44E-02	-4.86E-05	1.62E-08			15.88	1574.6	-27.22	210	140	51.903	-3165.74	-5.537	1.34
73	C2F6	Perfluoroetano	8.26E-02	-6.85E-05	1.94E-08			15.6422	1512.94	-26.94	200	170	48.373	-2969.9	-5.032	1.53
74	C2N2	Cianógeno	2.21E-02	-1.95E-05	7.05E-09								58.323	-4390.8	-6.185	1.51
75	C2HCl3	Tricloroetileno	5.46E-02	-5.32E-05	1.70E-08	145.67	196.6	16.1827	3028.13	-43.15	400	260	53.842	-5776.65	-5.295	3.7
76	C2HF3O2	Acido Trifluoroacético														
77	C2H2	Acetileno	1.81E-02	-1.20E-05	3.37E-09			16.3481	1637.14	-19.77	202	194	46.122	-2891.04	-4.612	0.863
78	C2H2F2	1,1-Difluoroetileno	5.84E-02	-5.01E-05	1.68E-08											
79	C2H2O	Ceteno	3.91E-02	-2.59E-05	6.46E-09			16.0197	1849.21	-35.15	255	170				
80	C2H3Cl	Cloruro de Vinilo	4.82E-02	-3.67E-05	1.14E-08	276.9	167.04	14.9601	1803.84	-43.15	290	185	48.672	-3955.89	-4.823	1.85
81	C2H3ClF2	1-Cloro-1,1-Difluoroetano	6.58E-02	-4.76E-05	1.27E-08											
82	C2H3ClO	Cloruro de Acetilo	4.09E-02	-2.35E-05	5.30E-09			15.7514	2447.33	-55.33	355	237				
83	C2H3Cl3	1,1,2-Tricloroetano	8.19E-02	-7.06E-05	2.34E-08	346.72	304.43	16.0381	3110.79	-56.16	428	302				
84	C2H3F	Fluoruro de Vinilo														
85	C2H3F3	1,1,1-Trifluoroetano	7.50E-02	-6.20E-05	2.01E-08			15.8965	1814.91	-29.92	300	270	50.589	-3540.17	-5.223	1.79
86	C2H3N	Acetonitrilo	2.86E-02	-1.07E-05	7.65E-10	334.91	210.05	16.2874	2945.47	-49.15	390	260	47.394	-5392.43	-4.357	3.49
87	C2H3NO	Metil Isocianato	2.48E-02	-1.39E-06	-4.58E-10	616.78	227.47	16.3258	2480.37	-56.31	340	230				
88	C2H4	Etileno	3.74E-02	-1.99E-05	4.19E-09	168.98	93.94	15.5368	1347.01	-18.15	182	120	38.961	-2282.37	-3.678	0.881
89	C2H4Cl2	1,1-Dicloroetano	6.44E-02	-4.90E-05	1.51E-08	412.27	239.1	16.0842	2697.29	-45.03	352	242	56.233	-5422.68	-5.726	3.17
90	C2H4Cl2	1,2-Dicloroetano	5.52E-02	-3.44E-05	8.09E-09	473.95	277.98	16.1764	2927.17	-50.22	373	240	51.956	-5712.66	-4.991	3.3
91	C2H4F2	1,1-Difluoroetano	5.72E-02	-3.48E-05	8.11E-09	319.27	186.56	16.1871	2095.35	-29.16	273	238	48.591	-3837.61	-4.811	1.87
92	C2H4O	Acetaldehído	4.35E-02	-2.40E-05	5.69E-09	368.7	192.82	16.2481	2465.15	-37.15	320	210				
93	C2H4O	Oxido de Etileno	5.31E-02	-3.00E-05	6.19E-09	341.88	194.22	16.74	2567.61	-29.01	310	200				
94	C2H4O2	Acido Acético	6.09E-02	-4.19E-05	1.18E-08	600.94	306.21	16.808	3405.57	-56.34	430	290	57.834	-6841.98	-5.647	3.44
95	C2H4O2	Formato de Metilo	6.45E-02	-4.66E-05	1.36E-08	363.19	212.7	16.5104	2590.87	-42.6	324	225	57.84	-5258.9	-5.939	2.23
96	C2H5Br	Bromuro de Etilo	5.61E-02	-3.52E-05	9.09E-09	369.8	220.68	15.9338	2511.68	-41.44	333	226	37.985	-4246.27	-3.09	2.29
97	C2H5Cl	Cloruro de Etilo	6.23E-02	-4.39E-05	1.33E-08	320.94	190.83	15.98	2332.01	-36.48	310	200	48.665	-4364.03	-4.733	2.26
98	C2H5F	Fluoruro de Etilo	5.21E-02	-2.78E-05	5.76E-09			16.0686	1966.89	-27	252	170				
99	C2H5N	Etilen Imina	7.22E-02	-4.93E-05	1.35E-08			16.4227	2610.44	-63.15	359	248				
100	C2H6	Etano	4.25E-02	-1.66E-05	2.08E-09	156.6	95.57	15.6637	1511.42	-17.16	199	130	38.759	-2464.42	-3.601	1.073
101	C2H6O	Dimetil Eter	4.28E-02	-1.25E-05	-4.58E-10			16.8467	2361.44	-17.1	265	179	48.857	-3840.19	-4.856	1.71
102	C2H6O	Etanol	5.11E-02	-2.00E-05	3.28E-10	686.64	300.88	18.9119	3803.98	-41.68	369	270	83.319	-7994.9	-9.201	2.35
103	C2H6O2	Etilenglicol	5.93E-02	-3.58E-05	7.19E-09	1365	402.41	20.2501	6022.18	-28.25	494	364				
104	C2H6S	Etil Mercaptano	5.62E-02	-3.24E-05	7.55E-09	419.6	206.21	16.0077	2497.23	-41.77	330	224	51.954	-4900.34	-5.139	2.55
105	C2H6S	Sulfuro de Dimetilo	4.48E-02	-1.64E-05	9.79E-10	267.34	184.24	16.0001	2511.56	-42.35	331	226				
106	C2H7N	Etilamina	6.57E-02	-3.78E-05	9.10E-09	340.54	192.44	17.0073	2618.73	-37.3	316	215	64.056	-5352.01	-6.875	2.08
107	C2H7N	Dimetilamina	6.44E-02	-3.18E-05	5.59E-09			16.2653	2358.77	-35.15	310	218	67.611	-5350.44	-7.435	2.03
108	C2H7NO	Monoetanolamina	7.19E-02	-4.34E-05	1.11E-08	1984.1	367.03	17.8174	3988.33	-86.93	477	344				

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
109	C2H8N2	Etilendiamina	107-15-3	60.099	284	390.4	593	62	206	0.26	0.51	0.896	293	1.9			10000	9.147
110	C3H3N	Acilonitrilo	107-13-1	53.064	189.5	350.5	536	45	210	0.21	0.35	0.806	293	3.5	44.2	46.68	7800	2.554
111	C3H4	Propadieno	463-49-0	40.065	136.9	238.7	393	54	162	0.271	0.313	0.658	238	0.2	45.92	48.37	4450	2.366
112	C3H4	Metilacetileno	74-99-7	40.065	170.5	250	402.4	55.5	164	0.276	0.218	0.706	223	0.7	44.32	46.47	5290	3.513
113	C3H4O	Acroleína	107-02-8	56.064	186	326	506	51			0.33	0.839	293	2.9	-16.94	-15.57	6770	2.859
114	C3H4O2	Acido Acrílico	79-10-7	72.064	285	414	615	56	210	0.23	0.56	1.051	293		-80.36	-68.37	11000	0.416
115	C3H4O2	Formato de Vinilo	*	72.064	215.5	319.6	475	57	210	0.31	0.55	0.963	293				7680	6.643
116	C3H5Cl	Cloruro de Alilo	107-05-1	76.526	138.7	318.3	514	47	234	0.26	0.13	0.937	293	2	-0.15	10.42	6475	0.604
117	C3H5Cl3	1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	147.432	258.5	429	651	39	348	0.25	0.31	1.389	293		-44.4	-23.37	9180	6.421
118	C3H5N	Propionitrilo	107-12-0	55.08	180.3	370.5	564.4	41.3	230	0.205	0.318	0.782	293	3.7	12.1	22.98	7710	3.679
119	C3H6	Ciclopropano	75-19-4	42.081	145.7	240.4	397.8	54.2	170	0.282	0.264	0.563	288	0	12.74	24.95	4790	-8.417
120	C3H6	Propileno	115-07-1	42.081	87.9	225.4	365	45.6	181	0.275	0.148	0.612	223	0.4	4.88	14.99	4400	0.886
121	C3H6Cl2	1,2-Dicloropropano	78-87-5	112.987	172.7	369.5	577	44	226	0.21	0.24	1.15	293	1.9	-39.6	-19.86	7500	2.496
122	C3H6O	Acetona	67-64-1	58.08	178.2	329.4	508.1	46.4	209	0.232	0.309	0.79	293	2.9	-52	-36.58	6960	1.505
123	C3H6O	Alcohol Alílico	107-18-6	58.08	144	370	545	56.4	203	0.256	0.63	0.855	288		-31.55	-17.03	9550	-0.264
124	C3H6O	Propionaldehído	123-38-6	58.08	193	321	496	47	223	0.26	0.313	0.797	293	2.7	-45.9	-31.18	6760	2.8
125	C3H6O	Oxido de Propileno	75-56-9	58.08	161	307.5	482.2	48.6	186	0.228	0.269	0.829	293	2	-22.17	-6.16	6450	-2.02
126	C3H6O	Vinil Metil Eter	*	58.08	151.5	278	436	47	205	0.27	0.34	0.75	293				4550	3.733
127	C3H6O2	Acido Propionico	79-09-4	74.08	252.5	414	612	53	230	0.242	0.536	0.993	293	1.5	-108.78	-88.27	7700	1.354
128	C3H6O2	Formato de Etilo	109-94-4	74.08	193.8	327.4	508.4	46.8	229	0.257	0.283	0.927	289	2	-88.74		7200	5.893
129	C3H6O2	Acetato de Metilo	79-20-9	74.08	175	330.1	506.8	46.3	228	0.254	0.324	0.934	293	1.7	-97.86		7200	3.953
130	C3H7Cl	Cloruro de n-Propilo	540-54-5	78.542	150.4	319.6	503	45.2	254	0.278	0.23	0.891	293	2	-31.1	-12.11	6510	-0.799
131	C3H7Cl	Cloruro de i-Propilo	75-29-6	78.542	156	308.9	485	46.6	230	0.269	0.232	0.862	293	2.1	-35	-14.94	6280	0.44
132	C3H8	Propano	74-98-6	44.097	85.5	231.1	369.8	41.9	203	0.281	0.152	0.582	231	0	-24.82	-5.61	4487	-1.009
133	C3H8O	n-Propanol	71-23-8	60.096	146.9	370.4	536.7	51	218.5	0.253	0.624	0.804	293	1.7	-61.28	-38.67	9980	0.59
134	C3H8O	i-Propanol	67-63-0	60.096	184.7	355.4	508.3	47	220	0.248		0.786	293	1.7	-65.11	-41.44	9520	7.745
135	C3H8O	Metil Etil Eter	540-67-0	60.096	134	280.5	437.8	43.4	221	0.267	0.236	0.7	293	1.2	-51.73	-28.12	5900	4.459
136	C3H8O2	Metilal	109-87-5	76.096	168	315	497					0.888	291	1				
137	C3H8O2	1,2-Propanediol	57-55-6	76.096	213	460.5	625	60	237	0.28		1.036	293	3.6	-101.33		12940	0.151
138	C3H8O2	1,3-Propanediol	504-63-2	76.096	246.4	487.6	658	59	241	0.26		1.053	293	3.7	-97.71		13500	1.975
139	C3H8O3	Glicerol	56-81-5	92.095	291	563	726	66	255	0.28		1.261	293	3	-139.8		14600	2.012
140	C3H8S	Metil Etil Sulfuro	624-89-5	76.157	167.2	339.8	533	42				0.837	293		-14.25	2.73	7050	4.664
141	C3H9N	n-Propil Amina	107-10-8	59.112	190	321.8	497	46.8	233	0.267	0.229	0.717	293	1.3	-17.3	9.51	7100	1.598
142	C3H9N	i-Propil Amina	75-31-0	59.112	177.9	305.6	476	50	229	0.29	0.297	0.688	293		-20.02		6500	-1.788
143	C3H9N	Trimetil Amina	75-50-3	59.112	156	276.1	433.2	40.2	254	0.287	0.195	0.633	293	0.6	-5.7	23.64	5760	-1.96
144	C4H2O3	Anhidrido Maléico	108-31-6	98.058	326	472.8						1.31	333	4				-3.123
145	C4H4	Vinil Acetileno	689-97-4	52.076	227.6	278.1	455	49	202	0.26	0.092	0.71	273		72.8	73.13	5850	1.614
146	C4H4O	Furano	110-00-9	68.075	187.5	304.5	490.2	54.3	218	0.294	0.204	0.938	293	0.7	-8.29	0.21	6474	-8.486
147	C4H4S	Tiofeno	110-02-1	84.136	234.9	357.3	579.4	56.2	219	0.259	0.2	1.071	289	0.5	27.66	30.3	7520	-7.31
148	C4H5N	Alil Cianuro	109-75-1	67.091	186.7	392	585	39	265	0.22	0.39	0.835	293	3.4			8200	5.183
149	C4H5N	Pirrol	109-97-7	67.091	403	640						0.967	294	1.8	25.88			
150	C4H6	1-Butino	107-00-6	54.092	147.4	281.2	463.7	46.5	220	0.27	0.05	0.65	289	0.8	39.48	48.3	5970	2.997
151	C4H6	2-Butino	503-17-3	54.092	240.9	300.2	488.6	50.2	221	0.277	0.124	0.691	293	0.8	34.97	44.32	6370	3.804
152	C4H6	1,2-Butadieno	590-19-2	54.092	137	284	443.7	44.4	219	0.267	0.255	0.652	293	0.4	38.77	47.43	5800	2.675
153	C4H6	1,3-Butadieno	106-99-0	54.092	164.3	268.7	425	42.7	221	0.27	0.195	0.621	293	0	26.33	36.01	5370	-0.403
154	C4H6O2	Acetato de Vinilo	108-05-4	86.091	173	346	525	43	265	0.26	0.34	0.932	293	1.7	-75.5			3.621
155	C4H6O3	Anhidrido Acético	108-24-7	102.089	199	412	569	46.2	290	0.287		1.087	293	3	-137.6	-113.93	9850	-5.524
156	C4H6O4	Oxalato de Dimetilo	553-90-2	118.09	327	436.6	628	39.3				1.15	288					
157	C4H6O4	Acido Succínico	110-15-6	118.09	456	508								2.2				3.6
158	C4H7N	Butironitrilo	109-74-0	69.107	161	391	582.2	37.4	285	0.223	0.371	0.792	293	3.8	8.14	25.97	8220	3.633
159	C4H6O2	Acrilato de Metilo	96-33-3	86.091	196.7	353.5	536	42	265	0.25	0.35	0.956	293				7650	3.622
160	C4H8	1-Buteno	106-98-9	56.108	87.8	266.9	419.6	39.7	240	0.277	0.187	0.595	293	0.3	-0.03	17.04	5238	-0.715
161	C4H8	cis-2-Buteno	590-18-1	56.108	134.3	276.9	435.6	41.5	234	0.272	0.202	0.621	293	0.3	-1.67	15.74	5580	0.105
162	C4H8	trans-2-Buteno	624-64-6	56.108	167.6	274	428.6	40.5	238	0.274	0.214	0.604	293	0	-2.67	15.05	5439	4.375

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarlA	HarlB	HarlC	HarlD
109	C2H8N2	Etilendiamina	5.75E-02	-1.04E-05	-9.43E-09	839.76	316.41	16.4082	3108.49	-72.15	425	292				
110	C3H3N	Acrlonitrilo	5.27E-02	-3.74E-05	1.10E-08	343.31	210.42	15.9253	2782.21	-51.15	385	255				
111	C3H4	Propadieno	4.72E-02	-2.82E-05	6.65E-09			13.1563	1054.72	-77.08	257	174				
112	C3H4	Metilacetileno	4.45E-02	-2.80E-05	7.70E-09			15.6227	1850.66	-44.07	267	183				
113	C3H4O	Acroleina	5.03E-02	-2.56E-05	4.55E-09	388.17	217.14	15.9057	2606.53	-45.15	360	235				
114	C3H4O2	Acido Acrílico	7.62E-02	-5.62E-05	1.67E-08	733.02	307.15	16.5617	3319.18	-80.15	450	315				
115	C3H4O2	Formato de Vinilo	4.39E-02	-8.50E-06	-5.58E-08	428.4	224.83	16.6531	2569.68	-63.15	350	240				
116	C3H5Cl	Cloruro de Alilo	7.28E-02	-5.44E-05	1.74E-08	368.27	210.61	15.9772	2531.92	-47.15	350	230				
117	C3H5Cl3	1,2,3-Tricloropropano	8.65E-02	-6.66E-05	2.10E-08	818.63	342.88	16.1246	3417.27	-69.15	470	315				
118	C3H5N	Propionitrilo	5.36E-02	-2.63E-05	4.67E-09	366.77	225.86	15.9571	2940.86	-55.15	405	270	53.398	-5937.37	-5.2	4.28
119	C3H6	Ciclopropano	9.11E-02	-6.88E-05	2.16E-08			15.8599	1971.04	-26.65	245	180				
120	C3H6	Propileno	5.60E-02	-2.77E-05	5.27E-09	273.84	131.63	15.7027	1807.53	-26.15	240	160	44.794	-3260.31	-4.379	1.63
121	C3H6Cl2	1,2-Dicloropropano	8.73E-02	-6.22E-05	1.85E-08	514.36	281.03	16.0385	2985.07	-52.16	408	288				
122	C3H6O	Acetona	6.22E-02	-2.99E-05	4.87E-09	367.25	209.68	16.6513	2940.46	-35.93	350	241				
123	C3H6O	Alcohol Alílico	7.52E-02	-4.85E-05	1.27E-08	793.52	307.26	16.9066	2928.2	-85.15	400	286				
124	C3H6O	Propionaldehído	6.24E-02	-3.11E-05	5.08E-09	343.44	219.33	16.2315	2659.02	-44.15	350	235				
125	C3H6O	Oxido de Propileno	7.78E-02	-4.75E-05	1.15E-08	377.43	213.36	15.3227	2107.58	-64.87	340	225				
126	C3H6O	Vinil Metil Eter	5.59E-02	-2.32E-05	2.54E-09	318.41	180.98	14.4602	1980.22	-25.15	315	190				
127	C3H6O2	Acido Propionico	8.81E-02	-6.84E-05	2.36E-08	535.04	299.32	17.3789	3723.42	-67.48	450	315	76.49	-8619.48	-8.139	3.93
128	C3H6O2	Formato de Etilo	5.53E-02	-5.06E-06	-1.28E-08	400.91	226.23	16.1611	2603.3	-54.15	360	240	60.604	-5724.26	-6.305	3.07
129	C3H6O2	Acetato de Metilo	5.36E-02	-1.04E-05	6.96E-09	408.62	224.03	16.1295	2601.92	-56.15	360	245	61.268	-5840.56	-6.374	3.08
130	C3H7Cl	Cloruro de n-Propilo	8.66E-02	-5.99E-05	1.78E-08	374.77	215	15.9594	2581.48	-42.95	350	230				
131	C3H7Cl	Cloruro de i-Propilo	8.33E-02	-5.36E-05	1.40E-08	306.25	212.24	16.0384	2490.48	-43.15	340	225				
132	C3H8	Propano	7.32E-02	-3.79E-05	7.68E-09	222.67	133.41	15.726	1872.46	-25.16	249	164	43.492	-3266.92	-4.179	1.81
133	C3H8O	n-Propanol	7.94E-02	-4.43E-05	1.03E-08	951.04	327.83	17.5439	3166.38	-80.15	400	285	101.82	-9416.25	-11.79	3.13
134	C3H8O	i-Propanol	4.50E-02	1.53E-05	-2.21E-08	1139.7	323.44	18.6929	3640.2	-53.54	374	273				
135	C3H8O	Metil Etil Eter	6.41E-02	-2.45E-05	2.14E-09	303.82	171.66	13.5435	1161.63	-112.4	310	205	74.838	-5631.77	-8.549	2.45
136	C3H8O2	Metilal						15.8237	2415.92	-52.58	315	270				
137	C3H8O2	1,2-Propanediol	1.01E-01	-7.12E-05	2.14E-08	1404.2	426.74	20.5324	6091.95	-22.46	483	357				
138	C3H8O2	1,3-Propanediol	8.78E-02	-5.16E-05	1.21E-08	1813	406.96	17.2917	3888.84	-123.2	525	380				
139	C3H8O3	Glicerol	1.06E-01	-7.55E-05	2.24E-08	3337.1	406	17.2392	4487.04	-140.2	600	440				
140	C3H8S	Metil Etil Sulfuro	6.90E-02	-2.89E-05	3.07E-09			15.9765	2722.95	-48.37	360	250				
141	C3H9N	n-Propil Amina	8.36E-02	-4.35E-05	8.57E-09			15.9957	2551.72	-49.15	350	235				
142	C3H9N	i-Propil Amina	9.97E-02	-6.75E-05	1.99E-08	433.64	228.46	16.3637	2582.35	-40.15	337	239				
143	C3H9N	Trimetil Amina	9.49E-02	-5.30E-05	1.10E-08			16.0499	2230.51	-39.15	305	215	50.869	-4261.51	-5.127	2.59
144	C4H2O3	Anhidrido Maléico	8.32E-02	-5.22E-05	1.16E-08	952.48	365.81	16.2747	3765.65	-82.15	516	352				
145	C4H4	Vinil Acetileno	6.79E-02	-5.41E-05	1.78E-08			16.01	2203.57	-43.15	305	200				
146	C4H4O	Furano	1.03E-01	-8.25E-05	2.57E-08	389.4	222.7	16.0612	2442.7	-45.41	363	238				
147	C4H4S	Tiofeno	1.07E-01	-9.01E-05	2.99E-08	498.6	264.9	16.0243	2869.07	-51.8	380	260				
148	C4H5N	Alil Cianuro	6.14E-02	-2.85E-05	2.94E-09	521.3	252.03	16.0019	3128.75	-58.15	430	400				
149	C4H5N	Pirrol						16.7966	3457.47	-62.73	440	330				
150	C4H6	1-Butino	6.55E-02	-3.69E-05	8.24E-09			16.0605	2271.42	-40.3	300	200				
151	C4H6	2-Butino	5.69E-02	-2.56E-05	4.19E-09			16.2871	2536.78	-37.34	320	240				
152	C4H6	1,2-Butadieno	6.51E-02	-3.51E-05	7.38E-09			16.1039	2397.26	-30.88	305	245				
153	C4H6	1,3-Butadieno	8.17E-02	-5.59E-05	1.51E-08	300.59	163.12	15.7727	2142.66	-34.3	290	215				
154	C4H6O2	Acetato de Vinilo	6.68E-02	-2.10E-05	-3.97E-09	457.89	235.35	16.1003	2744.68	-56.15	379	255				
155	C4H6O3	Anhidrido Acético	1.22E-01	-8.55E-05	2.35E-08	502.33	286.04	16.3982	3287.56	-75.11	437	308				
156	C4H6O4	Oxalato de Dimetilo														
157	C4H6O4	Acido Succínico	1.12E-02	-7.51E-05	1.90E-08											
158	C4H7N	Butironitrilo	7.66E-02	-3.91E-05	7.12E-09	438.04	256.84	16.2092	3202.21	-56.16	433	307	56.605	-6476.68	-5.599	5.03
159	C4H6O2	Acrilato de Metilo	6.68E-02	-2.10E-05	-3.97E-09	451.02	245.3	16.1088	2788.43	-59.15	390	260				
160	C4H8	1-Buteno	8.44E-02	-4.75E-05	1.07E-08	256.3	151.86	15.7564	2132.42	-33.15	295	190	48.333	-3996.8	-4.788	2.46
161	C4H8	cis-2-Buteno	7.05E-02	-2.43E-05	-1.47E-10	268.94	155.34	15.8171	2210.71	-36.15	305	200	49.609	-4217.05	-4.938	2.58
162	C4H8	trans-2-Buteno	6.12E-02	-1.68E-05	-2.15E-09	259.01	153.3	15.8177	2212.32	-33.15	300	200	50.137	-4174.56	-5.041	2.66

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
163	C4H8	Ciclobutano	287-23-0	56.108	182.4	285.7	459.9	49.2	210	0.274	0.209	0.694	293		6.37	26.3	5780	-12.003
164	C4H8	iso-Butileno	115-11-7	56.108	132.8	266.3	417.9	39.5	239	0.275	0.19	0.594	293	0.5	-4.04	13.88	5286	3.834
165	C4H8O	n-Butiraldehído	123-72-8	72.107	176.8	348	524	40	278	0.26	0.352	0.802	293	2.6	-49	-27.43	7530	3.363
166	C4H8O	iso-Butiraldehído	78-84-2	72.107	208.2	337	513	41	274	0.27	0.35	0.789	293		-51.56	-29	7500	5.843
167	C4H8O	Metil Etil Cetona	78-93-3	72.107	186.5	352.8	535.6	41	267	0.249	0.329	0.805	293	3.3	-56.97	-34.91	7460	2.614
168	C4H8O	Tetrahidrofurano	109-99-9	72.107	164.7	339.1	540.2	51.2	224	0.259		0.889	293	1.7	-44.03		7070	-4.563
169	C4H8O	Vinil Etil Eter	109-92-2	72.107	157.9	308.8	475	40.2	260	0.27		0.793	293	1.3	-33.5		6330	4.127
170	C4H8O2	Acido n-Butírico	107-92-6	88.107	267.9	436.4	628	52	292	0.295	0.67	0.958	293	1.5	-113.73		10040	2.804
171	C4H8O2	1,4 Dioxano	123-91-1	88.107	285	374.5	587	51.4	238	0.254	0.288	1.033	293	0.4	-75.3	-43.21	8690	-12.796
172	C4H8O2	Acetato de Etilo	141-78-6	88.107	189.6	350.3	523.2	37.8	286	0.252	0.363	0.901	293	1.9	-105.86	-78.25	7700	1.728
173	C4H8O2	Acido iso-Butírico	79-31-2	88.107	227.2	427.9	609	40	292	0.23	0.61	0.968	293	1.3	-115.66		9830	2.344
174	C4H8O2	Propionato de Metilo	554-12-1	88.107	185.7	353	530.6	39.5	282	0.256	0.352	0.915	293	1.7			7780	4.348
175	C4H8O2	Formato de n-Propilo	110-74-7	88.107	180.3	353.7	538	40.1	285	0.259	0.315	0.911	289	1.9			7760	
176	C4H9Cl	1-Clorobutano	109-69-3	92.569	150.1	351.6	542	36.4	312	0.255	0.218	0.886	293	2	-35.2	-9.27	7170	-0.624
177	C4H9Cl	2-Clorobutano	78-86-4	92.569	141.8	341.4	520.6	39	305	0.28	0.3	0.873	293	2.1	-38.6	-12.78	6980	-0.82
178	C4H9Cl	Cloruro de tert-Butilo	507-20-0	92.569	247.8	324	507	39	295	0.28	0.19	0.842	293	2.1	-43.8	-15.32	6550	-0.939
179	C4H9N	Pirolidina	123-75-1	71.123		359.7	568.6	55.4	249	0.296		0.852	295	1.6	-0.86	27.41		-12.308
180	C4H9NO	Morfolina	110-91-8	87.122	268.4	401.4	618	54	253	0.27	0.37	1	293	1.5			9000	-10.223
181	C4H10	n-Butano	106-97-8	58.124	134.8	272.7	425.2	37.5	255	0.274	0.193	0.579	293	0	-30.15	-4.1	5352	2.266
182	C4H10	iso-Butano	75-28-5	58.124	113.6	261.3	408.1	36	263	0.283	0.176	0.557	293	0.1	-32.15	-4.99	5090	-0.332
183	C4H10O	n-Butanol	71-36-3	74.123	183.9	390.9	562.9	43.6	274	0.259	0.59	0.81	293	1.8	-65.65	-36.04	10300	0.78
184	C4H10O	2-Butanol	78-92-2	74.123	158.5	372.7	536	41.4	268	0.252	0.576	0.807	293	1.7	-69.94	-40.06	9750	1.374
185	C4H10O	iso-Butanol	78-83-1	74.123	165.2	381	547.7	42.4	273	0.257	0.588	0.802	293	1.7	-67.69	-39.99	10050	-1.841
186	C4H10O	tert-Butanol	75-65-0	74.123	298.8	355.6	506.2	39.2	275	0.259	0.618	0.787	293	1.7	-74.67	-42.46	9330	-11.611
187	C4H10O	Eter Etilico	60-29-7	74.123	156.9	307.7	466.7	35.9	280	0.262	0.281	0.713	293	1.3	-60.28	-29.24	6380	5.117
188	C4H10O2	1,2-Dimetoxi Etano	110-71-4	90.123	202	358.6	536	38.2	271	0.235	0.371	0.867	293				7510	7.699
189	C4H10O3	Dietilenglicol	111-46-6	106.122	265	519	681	46	316	0.26		1.116	293		-136.5		13670	17.45
190	C4H10S	Sulfuro de Dietilo	352-93-2	90.18	169.2	365.3	557	39.1	318	0.272	0.3	0.837	293	1.6	-19.95	4.25	7590	3.247
191	C4H10S2	Disulfuro de Dietilo	110-81-6	122.244	171.7	427.2	642					0.998	293	2	-17.84	5.32	9010	6.424
192	C4H11N	n-Butil Amina	109-73-9	73.139	224.1	350.6	524	41	288	0.27	0.396	0.739	293	1.3	-22	11.76	7670	1.213
193	C4H11N	iso-Butil Amina	78-81-9	73.139	188	340.6	516	42	284	0.28				1.2			7400	2.267
194	C4H11N	Dietil Amina	109-89-7	73.139	223.4	328.6	496.6	36.6	301	0.27	0.299	0.707	293	1.1	-17.3	17.23	6650	0.487
195	C5H5N	Piridina	110-86-1	79.102	231.5	388.5	620	55.6	254	0.277	0.24	0.983	293	2.3	33.5	45.46	8400	9.504
196	C5H8	Ciclopenteno	142-29-0	68.119	138.1	317.4	506					0.772	293	0.9	7.87	26.48	6450	-9.915
197	C5H8	1,2-Pentadieno	591-95-7	68.119	135.9	318	503	40.2	276	0.269	0.173	0.693	293		34.8	50.29	6590	2.108
198	C5H8	1-Trans-3-Pentadieno	2004-70-8	68.119	185.7	315.2	496	39.4	275	0.266	0.175	0.676	293	0.7	18.6	35.07	6460	7.33
199	C5H8	1,4-Pentadieno	591-93-5	68.119	124.9	299.1	478	37.4	276	0.263	0.104	0.661	293	0.4	25.2	40.69	6010	1.671
200	C5H8	1-Pentino	627-19-0	68.119	167.5	313.3	493.4	40	278	0.275	0.164	0.69	293	0.9	34.5	50.25		4.315
201	C5H8	2-Metil-1,3-Butadieno	78-79-5	68.119	127.2	307.2	484	38	276	0.264	0.164	0.681	293	0.3	18.1	34.86	6230	-0.815
202	C5H8	3-Metil-1,2-Butadieno	598-25-4	68.119	159.5	314	496	40.6	267	0.266	0.16	0.686	293		31	47.47	6510	3.508
203	C5H8O	Ciclopentanona	120-92-3	84.118	222.5	403.9	626	53	268	0.28	0.35	0.95	293	3	-46.04		8740	-9.707
204	C5H8O2	Acrilato de Etilo	140-88-5	100.118	201	373	552	37	320	0.261	0.4	0.921	293				7950	4.015
205	C5H10	Ciclopentano	287-92-3	70.135	179.3	322.4	511.6	44.5	260	0.276	0.192	0.745	293	0	-18.46	9.23	6524	-12.808
206	C5H10	1-Penteno	109-67-1	70.135	107.9	303.1	464.7	40	300	0.31	0.245	0.64	293	0.4	-5	18.91	6022	-0.032
207	C5H10	cis-2-Penteno	627-20-3	70.135	121.8	310.1	476	36	300	0.28	0.24	0.656	293		-6.71	17.17	6240	-3.414
208	C5H10	trans-2-Penteno	646-04-8	70.135	132.9	309.5	475	36.1	300	0.28	0.237	0.649	293		-7.59	16.71	6230	0.465
209	C5H10	2-Metil-1-Buteno	563-46-2	70.135	135.6	304.3	465	34	294	0.262	0.232	0.65	293	0.5	-8.68	15.68	6094	2.525
210	C5H10	2-Metil-2-Buteno	513-35-9	70.135	139.4	311.7	470	34	318	0.28	0.285	0.662	293		-10.17	14.26	6287	2.819
211	C5H10	3-Metil-1-Buteno	563-45-1	70.135	104.7	293.3	450	34.7	300	0.282	0.209	0.627	293		-6.92	17.87	5760	5.193
212	C5H10O	Valeraldehído	110-62-3	86.134	182	376	554	35	333	0.26	0.4	0.81	293	2.6	-54.45	-25.88	8040	3.401
213	C5H10O	Metil n-Propil Cetona	107-87-9	86.134	196	375.5	564	38.4	301	0.25	0.348	0.806	293	2.5	-61.82	-32.76	8000	0.274
214	C5H10O	Metil iso-Propil Cetona	563-80-4	86.134	181	367.4	553.4	38	310	0.259	0.349	0.803	293	2.8			7320	-0.696
215	C5H10O	Dietil Cetona	96-22-0	86.134	234.2	375.1	561	36.9	336	0.269	0.347	0.814	293	2.7	-61.82	-32.33	8060	7.168
216	C5H10O2	Acido n-Valérico	109-52-4	102.134	239	458.7	651	38	340	0.24	0.616	0.939	293		-117.2	-85.37	11900	3.198

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarA	HarB	HarC	HarD
163	C4H8	Ciclobutano	1.20E-01	-8.50E-05	2.50E-08			15.9254	2359.09	-31.78	290	200				
164	C4H8	iso-Butileno	6.70E-02	-2.61E-05	2.17E-09			15.7528	2125.75	-33.15	290	190	50.832	-4104.56	-5.157	2.46
165	C4H8O	n-Butiraldehído	8.26E-02	-4.12E-05	6.90E-09	472.31	233.42	16.1668	2839.09	-50.15	380	255				
166	C4H8O	iso-Butiraldehído	8.02E-02	-4.91E-05	1.52E-08	464.06	253.64	15.9888	2676.98	-51.15	370	247				
167	C4H8O	Metil Etil Cetona	8.50E-02	-4.54E-05	9.36E-09	423.84	231.67	16.5986	3150.42	-36.65	376	257	47.683	-5328.22	-4.426	3.88
168	C4H8O	Tetrahidrofurano	1.23E-01	-9.87E-05	3.47E-08	419.79	244.46	16.1069	2768.38	-46.9	370	270				
169	C4H8O	Vinil Etil Eter	7.73E-02	-3.51E-05	5.13E-09	349.95	189.02	15.8911	2449.26	-44.15	340	225				
170	C4H8O2	Acido n-Butírico	9.88E-02	-5.80E-05	1.32E-08	640.42	321.13	17.924	4130.93	-70.55	470	335	73.806	-9015.33	-7.651	4.22
171	C4H8O2	1,4 Dioxano	1.43E-01	-9.76E-05	2.54E-08	660.36	308.77	16.1327	2966.88	-62.15	410	275				
172	C4H8O2	Acetato de Etilo	9.73E-02	-5.00E-05	6.82E-09	427.38	235.94	16.1516	2790.5	-57.15	385	260	65.669	-6394.77	-6.965	4.01
173	C4H8O2	Acido iso-Butírico	1.12E-01	-8.88E-05	3.23E-08	583.65	311.24	16.7792	3385.49	-94.15	465	330	82.657	-9222.72	-8.986	5.15
174	C4H8O2	Propionato de Metilo	7.50E-02	-2.23E-05	-4.37E-09	442.88	238.39	16.1693	2804.06	-58.92	385	260	65.367	-6419.79	-6.915	3.98
175	C4H8O2	Formato de n-Propilo				452.97	246.09	15.7671	2593.95	-69.69	360	280	63.318	-6292.56	-6.635	4.01
176	C4H9Cl	1-Clorobutano	1.07E-01	-7.01E-05	1.93E-08	783.72	260.03	15.975	2826.26	-49.05	385	255				
177	C4H9Cl	2-Clorobutano	1.09E-01	-7.12E-05	1.97E-08	480.77	237.3	15.9907	2753.43	-47.15	375	250				
178	C4H9Cl	Cloruro de tert-Butilo	1.11E-01	-6.89E-05	1.88E-08	543.41	253.35	15.8121	2567.15	-44.15	360	235				
179	C4H9N	Pirrolidina	1.28E-01	-7.74E-05	1.80E-08			15.9444	2717.03	-67.9	400	300				
180	C4H9NO	Morfolina	1.29E-01	-6.37E-05	1.00E-08	914.14	332.75	16.2364	3171.35	-71.15	440	300				
181	C4H10	n-Butano	7.91E-02	-2.65E-05	-6.74E-10	265.84	160.2	15.6782	2154.9	-34.42	290	195	48.334	-4065.57	-4.781	2.68
182	C4H10	iso-Butano	9.19E-02	-4.41E-05	6.92E-09	302.51	170.2	15.5381	2032.73	-33.15	280	187	46.141	-3771.21	-4.509	2.57
183	C4H10O	n-Butanol	9.98E-02	-5.35E-05	1.12E-08	984.54	341.12	17.216	3137.02	-94.43	404	288				
184	C4H10O	2-Butanol	1.01E-01	-5.56E-05	1.14E-08	1441.7	331.5	17.2102	3026.03	-86.65	393	298				
185	C4H10O	iso-Butanol	1.12E-01	-6.89E-05	1.73E-08	1199.1	343.85	16.8712	2874.73	-100.3	388	293				
186	C4H10O	tert-Butanol	1.71E-01	-1.69E-04	6.97E-08	972.1	363.38	16.8548	2658.29	-95.5	376	293				
187	C4H10O	Eter Etilico	8.02E-02	-2.47E-05	-2.24E-09	353.14	190.58	16.0828	2511.29	-41.95	340	225	57.26	-5105.9	-5.945	3.4
188	C4H10O2	1,2-Dimetoxi Etano	8.52E-02	-3.19E-05	2.01E-09			16.0241	2869.79	-53.15	393	262				
189	C4H10O3	Dietilenglicol	8.27E-02	-3.51E-05	4.41E-09	1943	385.24	17.0326	4122.52	-122.5	560	402				
190	C4H10S	Sulfuro de Dietilo	9.46E-02	-4.25E-05	6.33E-09	407.59	233.32	15.9531	2896.27	-54.49	390	260				
191	C4H10S2	Disulfuro de Dietilo	1.10E-01	-6.47E-05	1.43E-08			16.0607	3421.57	-64.19	455	312				
192	C4H11N	n-Butil Amina	1.07E-01	-5.75E-05	1.82E-08	472.06	246.98	16.6085	3012.7	-48.96	373	259				
193	C4H11N	iso-Butil Amina	1.06E-01	-5.04E-05	5.57E-09			16.1419	2704.16	-56.15	373	251				
194	C4H11N	Dietil Amina	1.06E-01	-5.21E-05	8.73E-09	473.89	229.29	16.0545	2595.01	-53.15	350	242	64.89	-5912.65	-6.955	3.73
195	C5H5N	Piridina	1.18E-01	-8.50E-05	2.40E-08	618.5	291.58	16.091	3095.13	-61.15	425	285				
196	C5H8	Ciclopenteno	1.11E-01	-6.16E-05	1.30E-08	396.83	218.66	15.9356	2583.07	-39.17	378	244				
197	C5H8	1,2-Pentadieno	9.27E-02	-5.45E-05	1.25E-08			15.9297	2544.34	-44.3	340	250				
198	C5H8	1-Trans-3-Pentadieno	6.71E-02	-1.60E-05	-5.62E-09			15.9182	2541.69	-41.43	340	250				
199	C5H8	1,4-Pentadieno	9.44E-02	-5.67E-05	1.34E-08			15.7392	2344.02	-41.69	320	240				
200	C5H8	1-Pentino	8.39E-02	-4.57E-05	9.79E-09			16.0429	2515.62	-45.97	335	230				
201	C5H8	2-Metil-1,3-Butadieno	1.10E-01	-7.97E-05	2.39E-08	328.49	182.48	15.8548	2467.4	-39.64	330	250				
202	C5H8	3-Metil-1,2-Butadieno	8.59E-02	-4.72E-05	1.02E-08			15.988	2541.83	-42.26	335	250				
203	C5H8O	Ciclopentanona	1.25E-01	-7.46E-05	1.70E-08	574.71	303.44	16.0897	3193.92	-66.15	440	300				
204	C5H8O2	Acrilato de Etilo	8.81E-01	-3.30E-05	-1.37E-09	438.04	256.84	16.089	2974.94	-58.15	409	274				
205	C5H10	Ciclopentano	1.30E-01	-7.24E-05	1.55E-08	406.69	231.67	15.8574	2588.48	-41.79	345	230				
206	C5H10	1-Penteno	1.03E-01	-5.53E-05	1.12E-08	305.25	174.7	15.7646	2405.96	-39.63	325	220	51.816	-4694.26	-5.202	3.42
207	C5H10	cis-2-Penteno	1.10E-01	-6.07E-05	1.30E-08	305.31	175.72	15.8251	2459.05	-42.56	330	220	55.199	-4985.3	-5.668	3.51
208	C5H10	trans-2-Penteno	9.99E-02	-5.20E-05	1.05E-08	349.33	176.62	15.9011	2495.97	-40.18	330	220	56.42	-5028.79	-5.853	3.62
209	C5H10	2-Metil-1-Buteno	9.55E-02	-4.65E-05	7.92E-09	369.27	193.39	15.826	2426.42	-40.36	325	220	60.581	-5160.84	-6.474	3.47
210	C5H10	2-Metil-2-Buteno	8.38E-02	-2.67E-05	-1.39E-09	322.47	180.43	15.9238	2521.53	-40.31	335	226	55.255	-5010.98	-5.671	3.71
211	C5H10	3-Metil-1-Buteno	9.29E-02	-4.79E-05	9.58E-09			15.7179	2333.61	-36.33	315	210				
212	C5H10O	Valeraldehído	1.03E-01	-5.03E-05	7.55E-09	521.3	252.03	16.1623	3030.2	-58.15	412	277				
213	C5H10O	Metil n-Propil Cetona	1.15E-01	-6.73E-05	1.59E-08	437.94	243.03	16.0031	2934.87	-62.25	410	275				
214	C5H10O	Metil iso-Propil Cetona	1.19E-01	-7.01E-05	1.59E-08			14.1779	1993.12	-103.2	406	271				
215	C5H10O	Dietil Cetona	9.41E-02	-4.55E-05	8.12E-09	409.17	236.65	16.8138	3410.51	-40.15	400	275	111.2	-9773.63	-13.26	4.73
216	C5H10O2	Acido n-Valérico	1.20E-01	-7.00E-05	1.58E-08	729.09	341.13	17.6306	4092.15	-86.55	495	350				

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA	
217	C5H10O2	Formato de iso-Butilo	542-55-2	102.134	178	371.6	551	38.3	350	0.296	0.39	0.885	293	1.9			8170	4.741	
218	C5H10O2	Acetato de n-Propilo	109-60-4	102.134	178	374.8	549.4	32.9	345	0.252	0.392	0.887	293	1.8	-111.31		8170	3.683	
219	C5H10O2	Propionato de Etilo	105-37-3	102.134	199.3	372	546	33.2	345	0.256	0.395	0.895	289	1.8	-112.3	-77.32	8180	4.742	
220	C5H10O2	Butirato de Metilo	623-42-7	102.134	188.4	375.8	554.4	34.3	340	0.257	0.382	0.898	293	1.7			8145		
221	C5H10O2	iso-Butirato de Metilo	547-63-7	102.134	185.4	365.4	540.8	33.9	339	0.259	0.367	0.891	293	2			7974		
222	C5H11N	Piperidina	110-89-4	85.15	262.7	379.7	594	47	289	0.28	0.25	0.862	293	1.2	-11.71		8180	-12.675	
223	C5H12	n-Pentano	109-66-0	72.151	143.4	309.2	469.6	33.3	304	0.262	0.251	0.626	293	0	-35	-2	6160	-0.866	
224	C5H12	2-Metil Butano	78-78-4	72.151	113.3	301	460.4	33.4	306	0.271	0.227	0.62	293	0.1	-36.92	-3.54	5900	-2.275	
225	C5H12	2,2-Dimetil Propano	463-82-1	72.151	256.6	282.6	433.8	31.6	303	0.269	0.197	0.591	293	0	-39.67	-3.64	5438	-3.963	
226	C5H12O	1-Pentanol	71-41-0	88.15	195	411	586	38	326	0.26	0.58	0.815	293	1.7	-71.4	-34.9	10600	0.924	
227	C5H12O	2-Metil-1-Butanol	137-32-6	88.15	203	401.9	571	38	322	0.26	0.7	0.819	293		-72.3	-39.58	10800	-2.265	
228	C5H12O	3-Metil-1-Butanol	123-51-3	88.15	156	404.4	579.5	38	329	0.26	0.58	0.81	293	1.8	-72.2		10540	-2.279	
229	C5H12O	2-Metil-2-Butanol	75-85-4	88.15	264.4	375.2	545	39	319	0.28	0.5	0.809	293	1.9	-78.8	-39.5	9700	-2.887	
230	C5H12O	2,2-Dimetil-1-Propanol	75-84-3	88.15	327	386.3	549	39	319	0.28		0.783	327		-70	-29.98	10300	2.903	
231	C5H12O	Etil Propil Eter	628-32-0	88.15	146.4		336.8	500.6	32.1		0.331	0.733	293	1.2			7290		
232	C6F6	Perfluoro Benzeno	392-56-3	186.056		353.4	516.7	32.6			0.4					-228.64	-210.18		8.666
233	C6F12	Perfluoro Ciclohexano	355-68-0	300.047		325.7	457.2	24						0					
234	C6F14	Perfluoro n-Hexano	355-42-0	338.044	186	330.3	451.7	18.8	442	0.224	0.73								
235	C6H4Cl2	o-Dicloro Benceno	95-50-1	147.004	256.1	453.6	697.3	40.5	360	0.255	0.272	1.306	293	2.3	7.16	19.76	9480	-3.416	
236	C6H4Cl2	m-Dicloro Benceno	541-73-1	147.004	248.4	446	684	38	359	0.24	0.26	1.288	293	1.4	6.32	18.78	9230	-3.246	
237	C6H4Cl2	p-Dicloro Benceno	106-46-7	147.004	326.3	447.3	685	39	372	0.26	0.27	1.248	328	0	5.5	18.44	9270	-3.426	
238	C6H5Br	Bromobenceno	108-86-1	157.01	242.3	429.2	670	44.6	324	0.263	0.249	1.495	293	1.5	25.1	33.11		-6.88	
239	C6H5Cl	Clorobenceno	108-90-7	112.559	227.6	404.9	632.4	44.6	308	0.265	0.249	1.106	293	1.6	12.39	23.7	8735	-8.094	
240	C6H5F	Fluorobenceno	462-06-6	96.104	234	358.5	560.1	44.9	271	0.265	0.245	1.024	293	1.4	-27.86	-16.5		-9.25	
241	C6H5I	Yodobenceno	591-50-4	204.011	241.8	461.4	721	44.6	351	0.265	0.246	1.855	277	1.4	38.85	44.88	9440	-6.992	
242	C6H6	Benceno	71-43-2	78.114	278.7	353.3	562.1	48.3	259	0.271	0.212	0.885	289	0	19.82	30.99	7352	-8.101	
243	C6H6O	Fenol	108-95-2	94.113	314	455	694.2	60.5	229	0.24	0.44	1.059	313	1.6	-23.03	-7.86	10900	-8.561	
244	C6H7N	Anilina	62-53-3	93.129	267	457.5	699	52.4	270	0.247	0.382	1.022	293	1.6	20.76	39.84	10000	-9.677	
245	C6H7N	4-Metil Piridina	108-89-4	93.129	276.9	418.5	646	44	311	0.26	0.27	0.955	293		24.43		8950	-4.163	
246	C6H10	1,5 Hexadieno	592-42-7	82.146	132	332.6	507	34	328	0.26	0.16	0.692	293		20		6561		
247	C6H10	Ciclohexeno	110-83-8	82.146	169.7	356.1	560.4	42.9	292	0.27	0.21	0.816	289	0.6	-1.28	25.54	7280	-16.397	
248	C6H10O	Ciclohexanona	108-94-1	98.145	242	428.8	629	38	312	0.23	0.443	0.951	288	3.1	-55	-21.69	9500	-9.03	
249	C6H12	Ciclohexano	110-82-7	84.162	279.7	353.9	553.4	40.2	308	0.273	0.213	0.779	293	0.3	-29.43	7.59	7160	-13.027	
250	C6H12	Metil Ciclopentano	96-37-7	84.162	130.7	345	532.7	37.4	319	0.273	0.239	0.754	289	0	-25.5	8.55	6950	-11.968	
251	C6H12	1-Hexeno	592-41-6	84.162	133.3	336.6	504	31.3	350	0.26	0.285	0.673	293	0.4	-9.96	20.9	6760	-0.417	
252	C6H12	cis-2-Hexeno	7688-21-3	84.162	132	342	518	32.4	351	0.27	0.256	0.687	293		-12.51	18.22	6960	-2.343	
253	C6H12	Trans-2-Hexeno	4050-45-7	84.162	140	341	516	32.3	351	0.27	0.242	0.678	293		-12.88	18.27	6910	-7.864	
254	C6H12	cis-3-Hexeno	7642-09-03	84.162	135.3	339.6	517	32.4	350	0.27	0.225	0.68	293	0.3	-11.38	19.84	6860	-5.19	
255	C6H12	trans-3-Hexeno	13269-52-8	84.162	159.7	340.3	519.9	32.1	350	0.26	0.227	0.677	293	0	-13.01	18.55	6920	-1.036	
256	C6H12	2-Metil-2-Penteno	625-27-4	84.162	138.1	340.5	518	32.4	351	0.27	0.229	0.691	289		-14.28	17.02	6930	-3.523	
257	C6H12	3-Metil-cis-2-Penteno	922-61-2	84.162	138.3	340.9	518	32.4	351	0.27	0.269	0.694	293		-13.8	17.5	6890	-3.523	
258	C6H12	3-Metil-trans-2-Penteno	616-12-6	84.162	134.7	343.6	521	32.5	350	0.27	0.207	0.698	293		-14.02	17.04	7000	-3.523	
259	C6H12	4-Metil-cis-2-Penteno	691-38-3	84.162	139	329.6	490	30	360	0.27	0.29	0.669	293		-12.03	19.63	6590	-0.4	
260	C6H12	4-Metil-trans-2-Penteno	674-76-0	84.162	132	331.7	493	30	360	0.27	0.29	0.669	293		-12.99	19.03	6680	3.016	
261	C6H12	2,3-Dimetil-1-Buteno	563-78-0	84.162	115.9	328.8	501	32	343	0.27	0.221	0.678	293		-13.32	18.89	6550	1.678	
262	C6H12	2,3-Dimetil-2-Buteno	563-79-1	84.162	198.9	346.4	524	33.2	351	0.27	0.239	0.708	293		-14.15	18.13	7083	0.548	
263	C6H12	3,3-Dimetil-1-Buteno	558-37-2	84.162	158	314.4	490	32.1	340	0.27	0.121	0.653	293		-10.31	23.46	6130	-2.999	
264	C6H12O	Ciclohexanol	108-93-0	100.161	298	434.3	625	37	327	0.24	0.55	0.942	303	1.7	-70.4	-28.18	10870	-13.264	
265	C6H12O	Metil iso-Butil Cetona	108-10-1	100.161	189	389.6	571	32.3	371	0.26	0.4	0.801	293	2.8	-67.84		8500	0.93	
266	C6H12O2	Acetato de n-Butilo	123-86-4	116.16	199.7	399.2	579	31	400	0.26	0.417	0.898	273	1.8	-116.26		8600	3.253	
267	C6H12O2	Acetato de iso-Butilo	110-19-0	116.16	174.3	390	561	30	414	0.27	0.479	0.875	293	1.9	-118.34		8568	1.746	
268	C6H12O2	Butirato de Etilo	105-54-4	116.16	180	394	566	31	395	0.26	0.47	0.879	293	1.8			8200	5.137	
269	C6H12O2	iso-Butirato de Etilo	97-62-1	116.16	185	384.2	553	30	410	0.27	0.427	0.869	293	2.1			8365		
270	C6H12O2	Propionato de n-Propilo	106-36-5	116.16	197.3	395.7	578					0.881	293	1.8			8690		

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarA	HarB	HarC	HarD
217	C5H10O2	Formato de iso-Butilo	9.63E-02	-3.43E-05	-1.77E-09			16.2292	2980.47	-64.15	409	278	58.42	-6314.51	-5.879	4.41
218	C5H10O2	Acetato de n-Propilo	1.08E-01	-4.03E-05	-3.44E-09	489.53	255.83	16.2291	2980.47	-64.15	410	280	69.656	-7028.88	-7.475	5.1
219	C5H10O2	Propionato de Etilo	9.64E-02	-3.43E-05	-1.77E-09	463.31	248.72	16.162	2935.11	-64.16	396	276	67.631	-6869.83	-7.193	4.98
220	C5H10O2	Butirato de Metilo				479.35	254.66						65.898	-6819.11	-6.941	4.98
221	C5H10O2	iso-Butirato de Metilo				451.21	246.09						66.16	-6637.51	-7.016	4.79
222	C5H11N	Piperidina	1.50E-01	-8.02E-05	1.54E-08	772.79	313.49	16.1004	3015.46	-61.15	416	280				
223	C5H12	n-Pentano	1.16E-01	-6.16E-05	1.27E-08	313.66	182.48	15.8333	2477.07	-39.94	330	220	56.682	-4827.08	-5.313	3.68
224	C5H12	2-Metil Butano	1.21E-01	-6.52E-05	1.37E-08	367.32	191.58	15.6338	2348.67	-40.05	322	216	50.428	-4565.64	-5.021	3.55
225	C5H12	2,2-Dimetil Propano	1.33E-01	-7.90E-05	1.82E-08	355.54	196.35	15.2069	2034.15	-45.37	305	260	49.6	-4213.21	-4.977	3.31
226	C5H12O	1-Pentanol	1.21E-01	-6.30E-05	1.22E-08	1151.1	349.62	16.527	3026.89	-105	411	310				
227	C5H12O	2-Metil-1-Butanol	1.36E-01	-8.32E-05	2.06E-08	1259.4	349.85	16.2708	2752.19	-116.3	402	307				
228	C5H12O	3-Metil-1-Butanol	1.36E-01	-8.32E-05	2.07E-08	1148.8	349.51	16.7127	3026.43	-104.1	426	298				
229	C5H12O	2-Metil-2-Butanol	1.46E-01	-1.00E-04	2.93E-08	1502	336.75	15.0113	1988.08	-137.8	375	298				
230	C5H12O	2,2-Dimetil-1-Propanol	1.29E-01	-7.55E-05	1.70E-08			18.1336	3694.96	-65	406	328				
231	C5H12O	Etil Propil Eter				399.87	213.39	15.4539	2423.41	-62.28	360	246	58.911	-5663.85	-6.1	4.33
232	C6F6	Perfluoro Benzeno	1.26E-01	-1.09E-04	3.48E-08			16.194	2827.53	-57.66	390	270	74.686	-6815.04	-8.318	5.39
233	C6F12	Perfluoro Ciclohexano						13.9087	1374.07	-136.8	400	280	119.2	-8611.09	-14.89	6.04
234	C6F14	Perfluoro n-Hexano						15.8307	2488.59	-59.73	330	270	90.505	-7074.74	-10.78	7.33
235	C6H4Cl2	o-Dicloro Benceno	1.32E-01	-1.08E-04	3.41E-08	554.35	319.07	16.2799	3798.23	-59.84	483	331				
236	C6H4Cl2	m-Dicloro Benceno	1.31E-01	-1.08E-04	3.41E-08	402.2	300.89	16.8173	4104.13	-43.15	475	326				
237	C6H4Cl2	p-Dicloro Benceno	1.32E-01	-1.09E-04	3.46E-08	483.82	312.03	16.1135	3626.83	-64.64	477	327				
238	C6H5Br	Bromobenceno	1.28E-01	-9.75E-05	2.89E-08	508.18	302.42	15.7972	3313	-67.71	450	320	56.566	-7005.23	-5.548	5.59
239	C6H5Cl	Clorobenceno	1.35E-01	-1.08E-04	3.41E-08	477.76	276.22	16.0676	3295.12	-55.6	420	320	57.251	-6684.47	-5.686	4.98
240	C6H5F	Fluorobenceno	1.35E-01	-1.06E-04	3.24E-08	452.06	252.89	16.5487	3181.78	-37.59	370	250	55.141	-5819.21	-5.489	3.88
241	C6H5I	Yodobenceno	1.33E-01	-1.08E-04	3.45E-08	565.72	331.21	16.1454	3776.53	-64.38	470	290	57.691	-7589.5	-5.646	6.46
242	C6H6	Benceno	1.13E-01	-7.21E-05	1.70E-08	545.64	265.34	15.9008	2788.51	-52.36	377	280	52.1	-5557.61	-5.072	3.61
243	C6H6O	Fenol	1.43E-01	-1.15E-04	3.65E-08	1405.5	370.07	16.4279	3490.89	-98.59	481	345	72.558	-9072.6	-7.516	4.42
244	C6H7N	Anilina	1.53E-01	-1.23E-04	3.90E-08	1074.6	357.21	16.6748	3857.52	-73.15	500	340	65.881	-8442.37	-6.662	5.18
245	C6H7N	4-Metil Piridina	1.17E-01	-6.68E-05	1.30E-08	500.97	285.5	16.2143	3409.4	-62.65	460	300				
246	C6H10	1,5 Hexadieno						16.1351	2728.54	45.45	350	282				
247	C6H10	Ciclohexeno	1.73E-01	-1.29E-04	3.93E-08	506.92	264.54	15.8243	2813.53	-49.98	360	300				
248	C6H10O	Ciclohexanona	1.32E-01	-4.67E-05	-3.66E-09	787.38	336.47									
249	C6H12	Ciclohexano	1.46E-01	-6.03E-05	3.16E-09	653.62	290.84	15.7527	2766.63	-50.5	380	280	53.451	-5562.12	-5.303	4.22
250	C6H12	Metil Ciclopentano	1.52E-01	-8.70E-05	1.91E-08	440.52	243.24	15.8023	2731	-47.11	375	250				
251	C6H12	1-Hexeno	1.27E-01	-6.93E-05	1.45E-08	357.43	197.74	15.8089	2654.81	-47.3	360	240	55.909	-5423.07	-5.705	4.54
252	C6H12	cis-2-Hexeno	1.27E-01	-6.49E-05	1.15E-08	344.33	197.95	16.2057	2897.97	-39.3	370	245				
253	C6H12	Trans-2-Hexeno	1.66E-01	-1.34E-04	4.79E-08	344.33	197.95	15.8727	2701.72	-48.62	365	245	60.438	-5734.51	-6.348	4.73
254	C6H12	cis-3-Hexeno	1.39E-01	-8.03E-05	1.78E-08	344.33	197.95	15.8384	2680.52	-48.4	365	245				
255	C6H12	trans-3-Hexeno	1.32E-01	-7.84E-05	1.92E-08	344.33	197.95	15.9288	2718.68	-47.77	365	245				
256	C6H12	2-Metil-2-Penteno	1.35E-01	-7.98E-05	1.90E-08			15.9423	2725.89	-47.64	370	245				
257	C6H12	3-Metil-cis-2-Penteno	1.35E-01	-7.98E-05	1.90E-08			15.9124	2731.79	-46.47	364	248				
258	C6H12	3-Metil-trans-2-Penteno	1.35E-01	-7.98E-05	1.90E-08			15.9484	2750.5	-48.33	366	250				
259	C6H12	4-Metil-cis-2-Penteno	1.28E-01	-7.27E-05	1.61E-08			15.7527	2580.52	-46.56	352	238				
260	C6H12	4-Metil-trans-2-Penteno	1.23E-01	-7.18E-05	1.75E-08			15.8425	2631.57	-46	354	240				
261	C6H12	2,3-Dimetil-1-Buteno	1.33E-01	-8.83E-05	2.54E-08			15.8012	2612.69	-43.78	360	235				
262	C6H12	2,3-Dimetil-2-Buteno	1.15E-01	-5.25E-05	7.27E-09			16.0043	2798.63	-47.71	375	250				
263	C6H12	3,3-Dimetil-1-Buteno	1.31E-01	-6.96E-05	1.24E-08			15.3755	2326.8	-48.24	340	225				
264	C6H12O	Ciclohexanol	1.72E-01	-9.76E-05	1.97E-08								86.548	-9573.09	-9.539	5.86
265	C6H12O	Metil iso-Butil Cetona	1.35E-01	-7.93E-05	1.97E-08	473.65	259.03	15.7165	2893.66	-70.75	425	285				
266	C6H12O2	Acetato de n-Butilo	1.31E-01	-5.44E-05	-1.89E-10	537.58	272.3	16.1836	3151.09	-69.15	435	295				
267	C6H12O2	Acetato de iso-Butilo	1.37E-01	-6.15E-05	2.63E-09	533.99	270.49	16.1714	3092.83	-66.15	427	289				
268	C6H12O2	Butirato de Etilo	1.18E-01	-4.63E-05	8.50E-10	489.95	264.22	15.9987	3127.6	-60.15	432	288				
269	C6H12O2	iso-Butirato de Etilo											74.336	-7477.19	-8.108	5.66
270	C6H12O2	Propionato de n-Propilo						16.8641	3558.18	-47.86	420	292				

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
271	C6H14	n-Hexano	110-54-3	86.178	177.8	341.9	507.4	29.3	370	0.26	0.296	0.659	293	0	-39.96	-0.06	6896	-1.054
272	C6H14	2-Metil Pentano	107-83-5	86.178	119.5	333.4	497.5	29.7	367	0.267	0.279	0.653	293		-41.66	-1.2	6640	-2.524
273	C6H14	3-Metil Pentano	96-14-0	86.178	155	336.4	504.4	30.8	367	0.273	0.275	0.664	293		-41.02	-0.51	6710	-0.57
274	C6H14	2,2-Dimetil Butano	75-83-2	86.178	173.3	322.9	488.7	30.4	359	0.272	0.231	0.649	293		-44.35	-2.3	6287	-3.973
275	C6H14	2,3-Dimetil Butano	79-29-8	86.178	144.6	331.2	499.9	30.9	358	0.27	0.247	0.662	293		-42.49	-0.98	6520	-3.489
276	C6H14O	1-Hexanol	111-27-3	102.177	229.2	430.2	610	40	381	0.3	0.56	0.819	293	1.8	-75.9	-32.4	11600	1.149
277	C6H14O	Etil Butil Eter	628-81-9	102.177	170	365.4	531	30	390	0.27	0.4	0.749	293	1.2			7600	5.643
278	C6H14O	Di-iso-Propil Eter	108-20-3	102.177	187.7	341.5	500	28.4	386	0.267	0.34	0.724	293	1.2	-76.2	-29.13	7010	1.792
279	C6H15N	Dipropilamina	142-84-7	101.193	210	382.4	550	31	407	0.28	0.455	0.738	293	1			8840	1.543
280	C6H15N	Trietilamina	121-44-8	101.193	158.4	362.7	535	30	390	0.27	0.329	0.728	293	0.9	-23.8	26.36	7500	-4.402
281	C7F14	Perfluoro Metil Ciclohexano	355-02-2	350.055		349.5	486.8	23			0.482				-692.2			
282	C7F16	Perfluoro n-Heptano	335-57-9	388.051	195	355.7	474.8	16	664	0.273	0.56	1.733	293		-808.9	-737.87		
283	C7H5N	Benzonitrilo	100-47-0	103.124	260	464	699.4	41.6			0.36	1.01	288	3.5	52.3	62.35		-6.221
284	C7H6O	Benzaldehído	100-52-7	106.124	216	452	695	46			0.32	1.045	293	2.8	-8.79	5.35	10200	-2.9
285	C7H6O2	Acido Benzoico	65-85-0	122.124	395.6	523	752	45	341	0.25	0.62	1.075	403	1.7	-69.36	-50.29	12100	-12.251
286	C7H8	Tolueno	108-88-3	92.141	178	383.8	591.7	40.6	316	0.264	0.257	0.867	293	0.4	11.95	29.16	7930	-5.817
287	C7H8O	Metil Fenil Eter	100-66-3	108.14	235.7	426.8	641	41.2				0.996	293	1.2				
288	C7H8O	Alcohol Benzílico	100-51-6	108.14	257.8	478.6	677	46	334	0.28	0.71	1.041	298	1.7	-22.47		12070	-1.767
289	C7H8O	o-Cresol	95-48-7	108.14	304.1	464.2	697.6	49.4	282	0.24	0.443	1.028	313	1.6	-30.74	-8.86	10800	-7.709
290	C7H8O	m-Cresol	108-39-4	108.14	285.4	475.4	705.8	45	310	0.241	0.464	1.034	293	1.8	-31.63	-9.69	11330	-10.75
291	C7H8O	p-Cresol	106-44-5	108.14	307.9	475.1	704.6	50.8			0.515	1.019	313	1.6	-29.97	-7.38	11340	-9.705
292	C7H9N	2,3-Dimetilpiridina	583-61-9	107.156		434	655.4					0.942	298	2.2	16.31			
293	C7H9N	2,5-Dimetilpiridina	589-93-5	107.156		430.2	644.2					0.938	273	2.2	15.87			
294	C7H9N	3,4-Dimetilpiridina	583-58-4	107.156		452.3	683.8					0.954	298	1.9	16.73			
295	C7H9N	3,5-Dimetilpiridina	591-22-0	107.156		445.1	667.2					0.939	298	2.6	17.39			
296	C7H9N	Metilfenilamina	100-61-8	107.156	216	469.1	701	51.3				0.989	293	1.7	20.4	47.61		
297	C7H9N	o-Toluidina	95-53-4	107.156	258.4	473.3	694	37	343	0.26	0.435	0.998	293	1.6			10835	
298	C7H9N	m-Toluidina	108-44-1	107.156	242.8	476.5	709	41	343	0.24	0.406	0.989	293	1.5			10900	-3.819
299	C7H9N	p-Toluidina	106-49-0	107.156	316.9	473.8	667					0.964	323	1.6			10700	
300	C7H14	Cicloheptano	291-64-5	98.189	265	391.9	589	36.7	390	0.3	0.336	0.81	293		-28.52	15.06	7900	-18.197
301	C7H14	1,1-Dimetil Ciclopentano	1638-26-2	98.189	203.4	361	547	34	360	0.27	0.273	0.759	289		-33.05	9.33	7240	-13.827
302	C7H14	cis-1,2-Dimetil Ciclopentano	1192-18-3	98.189	219.3	372.7	564.8	34	368	0.27	0.269	0.777	289		-30.96	10.93	7576	-13.29
303	C7H14	trans-1,2-Dimetil Ciclopentano	*	98.189	155.6	365	553.2	34	362	0.27	0.269	0.756	289		-32.67	9.17	7375	-13.022
304	C7H14	Etil Ciclopentano	1640-89-7	98.189	134.7	376.6	569.5	33.5	375	0.269	0.283	0.771	289		-30.37	10.65	7715	-13.211
305	C7H14	Metil Ciclohexano	108-87-2	98.189	146.6	374.1	572.1	34.3	368	0.269	0.233	0.774	289	0	-36.99	6.52	7440	-14.789
306	C7H14	1-Hepteno	592-76-7	98.189	154.3	366.8	537.2	28	440	0.28	0.358	0.697	293	0.3	-14.89	22.9	7430	-0.789
307	C7H14	2,3,3-Trimetil-1-Buteno	594-56-9	98.189	163.3	351	533	28.6	400	0.26	0.192	0.705	293		-20.67		6900	
308	C7H16	n-Heptano	142-82-5	100.205	182.6	371.6	540.2	27	432	0.263	0.351	0.684	293	0	-44.88	1.91	7576	-1.229
309	C7H16	2-Metilhexano	591-76-4	100.205	154.9	363.2	530.3	27	421	0.261	0.33	0.679	293	0	-46.59	0.77	7330	-9.408
310	C7H16	3-Metilhexano	589-34-4	100.205	100	365	535.2	27.8	404	0.256	0.324	0.687	293		-45.96	1.1	7360	-1.683
311	C7H16	2,2-Dimetilpentano	590-35-2	100.205	149.4	352.4	520.4	27.4	416	0.267	0.289	0.674	293	0	-49.27	0.02	6970	-11.966
312	C7H16	2,3-Dimetilpentano	565-59-3	100.205		362.9	537.3	28.7	393	0.256	0.299	0.695	293	0	-47.62	0.16	7263	-1.683
313	C7H16	2,4-Dimetilpentano	108-08-7	100.205	154	353.7	519.7	27	418	0.265	0.306	0.673	293	0	-48.28	0.74	7050	-1.683
314	C7H16	3,3-Dimetilpentano	562-49-2	100.205	138.7	359.2	536.3	29.1	414	0.274	0.27	0.693	293	0	-48.17	0.63	7086	-1.683
315	C7H16	3-Etilpentano	617-78-7	100.205	154.6	366.6	540.6	28.5	416	0.267	0.31	0.698	293	0	-45.33	2.63	7399	-1.683
316	C7H16	2,2,3-Trimetilbutano	464-06-2	100.205	248.3	354	531.1	29.2	398	0.267	0.251	0.69	293	0	-48.95	1.02	6919	-5.48
317	C7H16O	1-Heptanol	111-70-6	116.204	239.2	449.5	633	30	435	0.25	0.56	0.822	293	1.7	-79.3	-28.9	11500	1.172
318	C8H4O3	Anhidrido Ftalico	85-44-9	148.118	404	560	810	47	368	0.26				5.3	-88.8		11850	-1.064
319	C8H8	Estireno	100-42-5	104.152	242.5	418.3	647	39.4	350.996	0.26048	0.257	0.906	293	0.1	35.22	51.1	8800	-6.747
320	C8H8O	Metil Fenil Cetona	98-86-2	120.151	292.8	474.9	701	38	376	0.25	0.42	1.032	288	3	-20.76	0.44		-7.065
321	C8H8O2	Benzoato de Metilo	93-58-3	136.151	260.8	472.2	692	36	396	0.25	0.43	1.086	293	1.9	-60.68		10300	-5.066
322	C8H10	o-Xileno	95-47-6	106.168	248	417.6	630.2	36.8	369	0.263	0.314	0.88	293	0.5	4.54	29.18	8800	-3.786
323	C8H10	m-Xileno	108-38-3	106.168	225.3	412.3	617	35	376	0.26	0.331	0.864	293	0.3	4.12	28.41	8690	-6.966
324	C8H10	p-Xileno	106-42-3	106.168	286.4	411.5	616.2	34.7	379	0.26	0.324	0.861	293	0.1	4.29	28.95	8600	-5.993

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarA	HarB	HarC	HarD
271	C6H14	n-Hexano	1.39E-01	-7.45E-05	1.55E-08	362.79	207.09	15.8366	2697.55	-48.78	370	245	57.279	-5587.42	-5.885	4.778
272	C6H14	2-Metil Pentano	1.48E-01	-8.53E-05	1.93E-08	384.13	208.27	15.7476	2614.38	-46.58	370	240	55.352	-5301.22	-5.65	4.911
273	C6H14	3-Metil Pentano	1.36E-01	-6.85E-05	1.20E-08	372.11	207.55	15.7701	2653.43	-46.02	365	240	54.479	-5323.33	-5.509	4.579
274	C6H14	2,2-Dimetil Butano	1.50E-01	-8.31E-05	1.64E-08	438.44	226.67	15.5536	2489.5	-43.81	350	230	51.47	-4910.28	-5.134	4.323
275	C6H14	2,3-Dimetil Butano	1.47E-01	-8.06E-05	1.63E-08	444.19	228.86	15.6802	2595.44	-44.25	354	235	51.7	-5061.44	-5.138	4.472
276	C6H14O	1-Hexanol	1.41E-01	-7.19E-05	1.30E-08	1179.4	354.94	18.0994	4055.45	-76.49	430	308				
277	C6H14O	Etil Butil Eter	1.28E-01	-6.04E-05	9.93E-09	443.32	234.68	16.0477	2921.52	-55.15	400	265				
278	C6H14O	Di-iso-Propil Eter	1.40E-01	-7.23E-05	1.40E-08	410.58	219.67	16.3417	2895.73	-43.15	364	249				
279	C6H15N	Dipropilamina	1.50E-01	-8.10E-05	1.69E-08	561.11	257.39	16.5939	3259.08	-55.15	422	302				
280	C6H15N	Trietilamina	1.71E-01	-1.05E-04	2.61E-08	355.52	214.48	15.8853	2882.38	-51.15	400	260				
281	C7F14	Perfluoro Metil Ciclohexano						15.713	2610.57	-61.93	385	290	51.689	-5514.04	-5.004	5.47
282	C7F16	Perfluoro n-Heptano						15.9747	2719.68	-64.5	390	270	83.896	-7348.95	-9.644	7.82
283	C7H5N	Benzonitrilo	1.37E-01	-1.06E-04	3.22E-08								59.774	-7912.31	-5.881	6.53
284	C7H6O	Benzaldehído	1.19E-01	-6.79E-05	1.23E-08	686.84	314.66	16.3501	3748.62	-66.12	460	300				
285	C7H6O2	Acido Benzóico	1.50E-01	-1.01E-04	2.54E-08	2617.6	407.88	17.1634	4190.7	-125.2	560	405				
286	C7H8	Tolueno	1.22E-01	-6.61E-05	1.17E-08	467.33	255.24	16.0137	3096.52	-53.67	410	280	56.785	-6283.5	-5.681	4.84
287	C7H8O	Metil Fenil Eter				388.84	325.85	16.2394	3430.82	-69.58	440	370				
288	C7H8O	Alcohol Benzílico	1.31E-01	-8.02E-05	1.86E-08	1088	367.21	17.4582	4384.81	-73.15	603	385				
289	C7H8O	o-Cresol	1.67E-01	-1.42E-04	5.07E-08	1533.4	365.61	15.9148	3305.37	-108	480	370	75.616	-9341.59	-7.959	5.47
290	C7H8O	m-Cresol	1.74E-01	-1.44E-04	4.96E-08	1785.6	370.75	17.2878	4274.42	-74.09	480	370	79.796	-9855.8	-8.509	6.14
291	C7H8O	p-Cresol	1.69E-01	-1.38E-04	4.70E-08	1826.9	372.68	16.1989	3479.39	-111.3	480	370	64.083	-8825.19	-6.316	5.42
292	C7H9N	2,3-Dimetilpiridina						17.1492	4219.74	-33.04	440	420				
293	C7H9N	2,5-Dimetilpiridina						16.3046	3545.14	-63.59	435	350				
294	C7H9N	3,4-Dimetilpiridina						16.9517	4237.04	-41.65	460	400				
295	C7H9N	3,5-Dimetilpiridina						16.885	4106.95	-44.45	460	400				
296	C7H9N	Metilfenilamina				915.12	332.74	16.3066	3756.28	-80.71	480	320				
297	C7H9N	o-Toluidina				1085.1	356.46	16.7834	4072.58	-72.15	500	375				
298	C7H9N	m-Toluidina	1.36E-01	-7.24E-05	1.11E-08	928.12	354.07	16.7498	4080.32	-73.15	500	355				
299	C7H9N	p-Toluidina				738.9	356.02	16.6968	4041.04	-72.15	500	350				
300	C7H14	Cicloheptano	1.88E-01	-1.00E-04	1.81E-08			15.7818	3066.05	-56.8	435	330				
301	C7H14	1,1-Dimetil Ciclopentano	1.83E-01	-1.08E-04	2.41E-08			15.6973	2807.94	-51.2	390	260				
302	C7H14	cis-1,2-Dimetil Ciclopentano	1.82E-01	-1.07E-04	2.42E-08			15.7729	2922.3	-52.94	400	270				
303	C7H14	trans-1,2-Dimetil Ciclopentano	1.81E-01	-1.07E-04	2.43E-08			15.7594	2861.53	-51.46	390	260				
304	C7H14	Etil Ciclopentano	1.79E-01	-1.05E-04	2.40E-08	433.81	249.72	15.8581	2990.13	-52.47	402	270				
305	C7H14	Metil Ciclohexano	1.87E-01	-1.06E-04	2.24E-08	528.41	271.58	15.7105	2926.04	-51.75	400	270	52.902	-5797.19	-5.199	5.23
306	C7H14	1-Hepteno	1.50E-01	-8.39E-05	1.82E-08	368.69	214.32	15.8894	2895.51	-53.97	400	265	60.035	-6147.41	-6.211	5.7
307	C7H14	2,3,3-Trimetil-1-Buteno						15.6536	2719.47	-49.56	375	253				
308	C7H16	n-Heptano	1.62E-01	-8.72E-05	1.83E-08	436.73	232.53	15.8737	2911.32	-56.51	400	270	61.276	-6303.87	-6.373	6
309	C7H16	2-Metilhexano	2.06E-01	-1.50E-04	4.39E-08	417.46	225.13	15.8261	2845.06	-53.6	390	264	60.131	-6074.01	-6.244	5.79
310	C7H16	3-Metilhexano	1.63E-01	-8.92E-05	1.87E-08			15.8133	2855.66	-53.93	390	265	59.325	-6059.25	-6.123	5.72
311	C7H16	2,2-Dimetilpentano	2.14E-01	-1.52E-04	4.15E-08	417.37	226.19	15.6917	2740.15	-49.85	378	254	55.514	-5590.61	-5.636	5.49
312	C7H16	2,3-Dimetilpentano	1.63E-01	-8.92E-05	1.87E-08			15.7815	2850.64	-51.33	388	262	57.249	-5882.73	-5.843	5.58
313	C7H16	2,4-Dimetilpentano	1.63E-01	-8.92E-05	1.87E-08			15.7179	2744.78	-51.52	378	256				
314	C7H16	3,3-Dimetilpentano	1.63E-01	-8.92E-05	1.87E-08			15.719	2829.1	-47.83	385	260	54.572	-5634.72	-5.487	5.49
315	C7H16	3-Etilpentano	1.63E-01	-8.92E-05	1.87E-08			15.8317	2882.44	-53.26	392	266				
316	C7H16	2,2,3-Trimetilbutano	1.80E-01	-1.06E-04	2.40E-08			15.6398	2764.4	-47.1	379	254	52.761	-5431.67	-5.251	5.37
317	C7H16O	1-Heptanol	1.62E-01	-8.23E-05	1.44E-08	1287	361.83	15.3068	2626.42	-146.6	449	333				
318	C8H4O3	Anhidrido Ftalico	1.56E-01	-1.02E-04	2.41E-08			15.9984	4467.01	-83.15	615	409				
319	C8H8	Estireno	1.47E-01	-9.61E-05	2.37E-08	528.64	276.71	16.0193	3328.57	-63.72	460	305				
320	C8H8O	Metil Fenil Cetona	1.53E-01	-9.72E-05	2.32E-08	1316.4	310.82	16.2384	3781.07	-81.15	520	350				
321	C8H8O2	Benzoato de Metilo	1.31E-01	-4.30E-05	1.06E-08	768.94	332.33	16.2272	3751.83	-81.15	516	350				
322	C8H10	o-Xileno	1.42E-01	-8.22E-05	1.80E-08	513.54	277.98	16.1156	3395.57	-59.46	445	305	61.763	-7149.21	-6.302	6.11
323	C8H10	m-Xileno	1.50E-01	-8.95E-05	2.03E-08	453.42	257.18	16.139	3366.99	-58.04	440	300	55.493	-6666.23	-5.436	6.08
324	C8H10	p-Xileno	1.44E-01	-8.06E-05	1.63E-08	475.16	261.4	16.0963	3346.65	-57.84	440	300	56.175	-6673.7	-5.543	6.19

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
325	C8H10	Etilbenceno	100-41-4	106.168	178.2	409.3	617.1	35.6	374	0.263	0.301	0.867	293	0.4	7.12	31.21	8500	-10.294
326	C8H10O	o-Etil Fenol	90-00-6	122.167	269.8	477.7	703					1.037	273		-34.82		11490	
327	C8H10O	m-Etil Fenol	620-17-7	122.167	269	491.6	716.4					1.025	273		-35.01		12140	
328	C8H10O	p- Etil Fenol	123-07-9	122.167	318	491	716.4								-34.55		12100	
329	C8H10O	Fenetol	103-73-1	122.167	243	443	647	33.8				0.979	277	1.2				
330	C8H10O	2,3-Xilenol	526-75-0	122.167	348	490.1	722.8								-37.58		11300	
331	C8H10O	2,4-Xilenol	105-67-9	122.167	298	484	707.6							2	-38.88		11260	
332	C8H10O	2,5-Xilenol	95-87-4	122.167	348	484.3	723							1.5	-38.58		11200	
333	C8H10O	2,6-Xilenol	576-26-1	122.167	322	474.1	701								-38.68		10600	
334	C8H10O	3,4-Xilenol	95-65-8	122.167	338	500	729.8							1.7	-37.38		11900	
335	C8H10O	3,5-Xilenol	108-68-9	122.167	337	494.8	715.6							1.8	-38.57		11800	
336	C8H11N	N,N-Dimetil Anilina	121-69-7	121.183	275.6	466.7	687	35.8				0.956	293	1.6	20.1	55.26		
337	C8H16	1,1-Dimetil Ciclohexano	590-66-9	112.216	239.7	392.7	591	29.3	416	0.25	0.238	0.785	289		-43.26	8.42	7790	-17.222
338	C8H16	cis-1,2-Dimetil Ciclohexano	2207-01-04	112.216	223.1	402.9	606	29.3			0.236	0.796	293		-41.15	9.85	8040	-16.33
339	C8H16	trans-1,2-Dimetil Ciclohexano	6876-23-9	112.216	185	396.6	596	29.3			0.242	0.776	293		-43.02	8.24	7860	-16.356
340	C8H16	cis-1,3-Dimetil Ciclohexano	638-04-0	112.216	197.6	393.3	591	29.3			0.224	0.766	293		-44.16	7.13	7840	-15.564
341	C8H16	trans-1,3-Dimetil Ciclohexano	2207-03-06	112.216	183	397.6	598	29.3			0.189	0.785	293		-42.2	8.68	8090	-15.323
342	C8H16	cis-1,4-Dimetil Ciclohexano	624-29-3	112.216	185.7	397.5	598	29.3			0.234	0.783	293		-42.22	9.07	8070	-15.323
343	C8H16	trans-1,4-Dimetil Ciclohexano	2207-04-07	112.216	236.2	392.5	590	29.3			0.242	0.763	293		-44.12	7.58	7790	-16.806
344	C8H16	Etil Ciclohexano	1678-91-7	112.216	161.8	404.9	609	29.9	450	0.27	0.243	0.788	293		-41.05	9.38	8200	-15.26
345	C8H16	1,1,2-Trimetil Ciclopentano	4259-00-1	112.216		386.9	579.5	29			0.252						7790	
346	C8H16	1,1,3-Trimetil Ciclopentano	4516-69-2	112.216		378	569.5	27.9			0.211						7570	
347	C8H16	C,C,T-1,2,4-Trimetil Ciclopentano	*	112.216		391	579	28.4			0.277						7900	
348	C8H16	C,T,C-1,2,4-Trimetil Ciclopentano	16883-48-0	112.216		382.4	571	27.7			0.246						7900	
349	C8H16	1-Metil-1-Etil Ciclopentano	16747-50-5	112.216		394.7	592	29.5			0.25						8040	
350	C8H16	n-Propil Ciclopentano	2040-96-2	112.216	155.8	404.1	603	29.6	425	0.25	0.335	0.781	289		-35.39	12.57	8152	-13.369
351	C8H16	iso-Propil Ciclopentano	3875-51-2	112.216	160.5	399.6	601	29.6			0.24	0.776	293				8150	
352	C8H16	1-Octeno	111-66-0	112.216	171.4	394.4	566.6	25.9	464	0.26	0.386	0.715	293	0.3	-19.82	24.91	8070	-0.979
353	C8H18	trans-2-Octeno	13389-42-9	112.216	185.4	398.1	580	27.3			0.35	0.72	293		-22.59	22.15	8200	-3.062
354	C8H18	n-Octano	111-65-9	114.232	216.4	398.8	568.8	24.5	492	0.259	0.394	0.703	293	0	-49.82	3.92	8225	-1.456
355	C8H18	2-Metilheptano	592-27-8	114.232	164	390.8	559.6	24.5	488	0.26	0.378	0.702	289		-51.5	3.05	8080	-21.435
356	C8H18	3-Metilheptano	589-81-1	114.232	152.7	392.1	563.6	25.1	464	0.252	0.369	0.706	293		-50.82	3.28	8100	-2.201
357	C8H18	4-Metilheptano	589-53-7	114.232	152.2	390.9	561.7	25.1	476	0.259	0.369	0.705	293		-50.69	4	8100	-2.201
358	C8H18	2,2-Dimetilhexano	590-73-8	114.232	152	382	549.8	25	478	0.264	0.338	0.695	293		-53.71	2.56	7710	-2.201
359	C8H18	2,3-Dimetilhexano	584-94-1	114.232		388.8	563.4	25.9	468	0.262	0.346	0.712	293		-51.13	4.23	7936	-2.201
360	C8H18	2,4-Dimetilhexano	589-43-5	114.232		382.6	553.5	25.2	472	0.262	0.343	0.7	293		-52.44	2.8	7790	-2.201
361	C8H18	2,5-Dimetilhexano	592-13-2	114.232	181.9	382.3	550	24.5	482	0.262	0.352	0.693	293		-53.21	2.5	7800	-2.201
362	C8H18	3,3-Dimetilhexano	563-16-6	114.232	147	385.1	562	26.2	443	0.252	0.321	0.71	293		-52.61	3.17	7760	-2.201
363	C8H18	3,4-Dimetilhexano	583-48-2	114.232		390.9	568.8	26.6	466	0.265	0.338	0.719	293		-50.91	4.14	7953	-2.201
364	C8H18	3-Etilhexano	619-99-8	114.232		391.7	565.4	25.7	455	0.252	0.361	0.718	289		-50.4	3.95	8033	-2.201
365	C8H18	2,2,3-Trimetilpentano	564-02-3	114.232	160.9	383	563.4	26.9	436	0.254	0.297	0.716	293		-52.61	4.09	7650	2.201
366	C8H18	2,2,4-Trimetilpentano	540-84-1	114.232	165.8	372.4	543.9	25.3	468	0.266	0.303	0.692	293	0	-53.57	3.27	7411	-1.782
367	C8H18	2,3,3-Trimetilpentano	560-21-4	114.232	172.5	387.9	573.5	27.8	455	0.269	0.29	0.726	293		-51.73	4.52	7730	-2.201
368	C8H18	2,3,4-Trimetilpentano	565-75-3	114.232	163.9	386.6	566.3	26.9	461	0.267	0.317	0.719	293		-51.97	4.52	7823	-2.201
369	C8H18	2-Metil-3-Etilpentano	609-26-7	114.232	158.2	388.8	567	26.7	443	0.254	0.33	0.719	293		-50.48	5.08	7879	-2.201
370	C8H18	3-Metil-3-Etilpentano	1067-08-9	114.232	182.3	391.4	576.6	27.7	455	0.267	0.304	0.727	293		-51.38	4.76	7838	-2.201
371	C8H18O	1-Octanol	111-87-5	130.231	257.7	468.4	658	34	490	0.31	0.53	0.826	293		-86	-28.7	12100	1.474
372	C8H18O	2-Octanol	123-96-6	130.231	241.2	452.9	637	27	494	0.26	0.52	0.821	293	1.6			10600	6.181
373	C8H18O	2-Etil Hexanol	104-76-7	130.231	203.2	457.8	613	27.2	494	0.267		0.833	293	1.8	-87.31		11130	-3.581
374	C8H18O	Butil Eter	142-96-1	130.231	175.3	415.6	580	25	500	0.26	0.5	0.768	293	1.2	-79.8	-21.16	8900	1.446
375	C8H19N	Dibutilamina	111-92-2	129.247	211	432.8	596	25	517	0.26	0.59	0.767	293	1.1			9500	2.332
376	C9H10	alfa-Metil Estireno	98-83-9	118.179		438.5	654	33.6	397	0.25		0.911	293				9150	-5.811
377	C9H10O2	Benzoato de Etilo	93-89-0	150.178	238.3	485.9	697	32	451	0.25	0.48	1.046	293	1.9			10700	4.937
378	C9H12	n-Propil Benceno	103-65-1	120.195	173.7	432.4	638.3	31.6	440	0.265	0.344	0.862	293	0.4	1.87	32.8	9140	-7.473

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarlA	HarlB	HarlC	HarlD
325	C8H10	Etilbenceno	1.69E-01	-1.15E-04	3.11E-08	472.82	264.22	16.0195	3279.47	-59.95	450	300	58.1	-6792.54	-5.802	5.75
326	C8H10O	o-Etil Fenol						17.961	4928.36	-45.75	500	350				
327	C8H10O	m-Etil Fenol						17.1955	4272.77	-86.08	500	370				
328	C8H10O	p- Etil Fenol						19.0905	5579.62	-44.15	500	370				
329	C8H10O	Fenetol				646.88	305.91	16.1673	3473.2	-78.66	460	385				
330	C8H10O	2,3-Xilenol						16.2424	3724.58	-102.4	500	420				
331	C8H10O	2,4-Xilenol						16.2456	3655.26	-103.8	500	410				
332	C8H10O	2,5-Xilenol						16.2368	3667.32	-102.4	490	410				
333	C8H10O	2,6-Xilenol						16.2809	3749.35	-85.55	480	400				
334	C8H10O	3,4-Xilenol						16.3004	3733.53	-113.9	520	430				
335	C8H10O	3,5-Xilenol						16.4192	3775.91	-109	500	410				
336	C8H11N	N,N-Dimetil Anilina				553.02	320.03	16.9647	4276.08	-52.8	480	345				
337	C8H16	1,1-Dimetil Ciclohexano	2.15E-01	-1.20E-04	2.46E-08			15.6535	3043.34	-55.3	420	283	52.143	-6026.09	-5.055	6.2
338	C8H16	cis-1,2-Dimetil Ciclohexano	2.14E-01	-1.23E-04	2.62E-08			15.7438	3148.35	-57.31	430	290	56.13	-6431.82	-5.595	6.56
339	C8H16	trans-1,2-Dimetil Ciclohexano	2.18E-01	-1.28E-04	2.82E-08			15.7337	3117.43	-54.02	424	286	53.523	-6162.66	-5.245	6.38
340	C8H16	cis-1,3-Dimetil Ciclohexano	2.11E-01	-1.18E-04	2.44E-08			15.747	3081.95	-55.08	420	284				
341	C8H16	trans-1,3-Dimetil Ciclohexano	2.11E-01	-1.20E-04	2.55E-08			15.7371	3093.95	-57.76	425	288	56.097	-6271.67	-5.615	6.29
342	C8H16	cis-1,4-Dimetil Ciclohexano	2.11E-01	-1.20E-04	2.55E-08			15.7333	3098.39	-57	425	287	53.571	-6219.26	-5.233	6.29
343	C8H16	trans-1,4-Dimetil Ciclohexano	2.18E-01	-1.27E-04	2.76E-08			15.6984	3063.44	-54.57	420	283	52.909	-6071.72	-5.163	6.2
344	C8H16	Etil Ciclohexano	2.12E-01	-1.22E-04	2.63E-08	506.43	280.76	15.8125	3183.25	-58.15	433	293				
345	C8H16	1,1,2-Trimetil Ciclopentano						15.7084	3015.51	-54.59	414	279				
346	C8H16	1,1,3-Trimetil Ciclopentano						15.6794	2938.09	-53.25	404	273				
347	C8H16	C,C,T-1,2,4-Trimetil Ciclopentano						15.7543	3073.95	-54.2	418	283				
348	C8H16	C,T,C-1,2,4-Trimetil Ciclopentano						15.7756	3009.7	-53.23	417	282				
349	C8H16	1-Metil-1-Etil Ciclopentano						15.8222	3120.66	-55.06	422	286				
350	C8H16	n-Propil Ciclopentano	2.02E-01	-1.18E-04	2.67E-08	454.23	264.22	15.8969	3187.67	-59.99	431	294				
351	C8H16	iso-Propil Ciclopentano						15.8561	3176.22	-55.18	427	289				
352	C8H16	1-Octeno	1.73E-01	-9.64E-05	2.07E-08	418.82	237.63	15.963	3116.52	-60.39	420	288	64.487	-6883.34	-6.765	6.98
353	C8H18	trans-2-Octeno	1.80E-01	-1.06E-04	2.51E-08	427.64	240.32	15.8554	3134.97	-58	425	289				
354	C8H18	n-Octano	1.84E-01	-1.00E-04	2.12E-08	473.7	251.71	15.9426	3120.29	-63.63	425	292	66.639	-7100.69	-7.053	7.31
355	C8H18	2-Metilheptano	2.97E-01	-2.81E-04	1.10E-07	643.61	259.51	15.9278	3079.63	-59.46	417	285	65.685	-6865.4	-6.957	7.12
356	C8H18	3-Metilheptano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.8865	3065.96	-60.74	418	286	64.371	-6817.44	-6.763	7.02
357	C8H18	4-Metilheptano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.8893	3057.05	-60.59	417	285	64.394	-6799.54	-6.769	6.98
358	C8H18	2,2-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.7431	2932.56	-58.08	405	276	61.971	-6425.9	-6.475	6.72
359	C8H18	2,3-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.8189	3029.06	-58.99	415	283	61.855	-6587.23	-6.425	6.79
360	C8H18	2,4-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.7797	2965.44	-58.36	408	278	62.103	-6487.48	-6.482	6.74
361	C8H18	2,5-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.7954	2964.06	-58.74	408	278	62.872	-6532.9	-6.59	6.84
362	C8H18	3,3-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08	446.2	244.67	15.7755	3011.51	-55.71	411	279	59.518	-6352.78	-6.118	6.69
363	C8H18	3,4-Dimetilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.8415	3062.52	-58.29	417	284	61.319	-6588.72	-6.344	6.76
364	C8H18	3-Etilhexano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08	437.6	238.33	15.8671	3057.57	-60.55	418	286				
365	C8H18	2,2,3-Trimetilpentano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08	474.57	257.61	15.7162	2981.56	-54.73	409	277	58.179	-6218.74	-5.942	6.54
366	C8H18	2,2,4-Trimetilpentano	1.86E-01	-1.02E-04	2.19E-08	467.04	246.43	15.685	2896.28	-52.41	398	269	58.265	-6039.34	-5.988	6.48
367	C8H18	2,3,3-Trimetilpentano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.7578	3057.94	-52.77	415	280	56.436	-6186.92	-5.685	6.56
368	C8H18	2,3,4-Trimetilpentano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.7818	3028.09	-55.62	413	280	58.957	-6346.9	-6.033	6.61
369	C8H18	2-Metil-3-Etilpentano	1.88E-01	-1.05E-04	2.32E-08			15.804	3035.08	-57.84	415	282				
370	C8H18	3-Metil-3-Etilpentano	1.88E-01	-1.50E-04	2.32E-08			15.8126	3102.06	-53.47	418	283				
371	C8H18O	1-Octanol	1.82E-01	-9.07E-05	1.50E-08	1312.1	369.97	15.7428	3017.81	-137.1	468	343				
372	C8H18O	2-Octanol	1.83E-01	-1.01E-04	2.17E-08			14.7108	2441.66	-150.7	453	345				
373	C8H18O	2-Etil Hexanol	2.07E-01	-1.26E-04	3.07E-08	1798	351.17	15.3614	2773.46	-140	458	348				
374	C8H18O	Butil Eter	1.85E-01	-9.76E-05	1.93E-08	473.5	266.56	16.0778	3296.15	-66.15	455	305				
375	C8H19N	Dibutilamina	1.93E-01	-1.05E-04	2.21E-08	581.42	286.54	16.7307	3721.9	-64.15	459	322				
376	C9H10	alfa-Metil Estireno	1.66E-01	-1.08E-04	2.82E-08	354.34	270.8	16.3308	3644.3	-67.15	493	348				
377	C9H10O2	Benzoato de Etilo	1.65E-01	-8.62E-05	1.21E-08	746.5	338.47	16.2065	3845.09	-84.15	531	361				
378	C9H12	n-Propil Benceno	1.79E-01	-1.10E-04	2.58E-08	527.45	282.65	16.0062	3433.84	-66.01	461	316				

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
379	C9H12	iso-Propil Benceno	98-82-8	120.195	177.1	425.6	631	31.7	428	0.26	0.335	0.862	293	0.4	0.94	32.74	8970	-9.042
380	C9H12	1-Metil-2-Etil Benceno	611-14-3	120.195	192.3	438.3	651	30	460	0.26	0.294	0.881	293		0.29	31.33	9290	-3.928
381	C9H12	1-Metil-3-Etil Benceno	620-14-4	120.195	177.6	434.5	637	28	490	0.26	0.36	0.865	293		-0.46	30.22	9210	-6.926
382	C9H12	1-Metil-4-Etil Benceno	622-96-8	120.195	210.8	435.2	640	29	470	0.26	0.322	0.861	293	0	-0.49	30.28	9180	-6.523
383	C9H12	1,2,3-Trimetil Benceno	526-73-8	120.195	247.7	449.2	664.5	34.1	430	0.27	0.39	0.894	293	0.6	-2.29	29.77	9570	-1.658
384	C9H12	1,2,4-Trimetil Benceno	95-63-6	120.195	227	442.5	649.1	31.9	430	0.258	0.39	0.88	289	0.3	-3.33	27.95	9380	-1.115
385	C9H12	1,3,5-Trimetil Benceno	108-67-8	120.195	228.4	437.9	637.3	30.9	433	0.26	0.398	0.865	293	0.1	3.84	28.19	9330	-4.679
386	C9H18	n-Propil Ciclohexano	1678-92-8	126.243	178.7	429.9	639	27.7			0.258	0.793	293		-46.2	11.31	8620	-14.932
387	C9H18	iso-Propil Ciclohexano	696-29-7	126.243	183.4	427.7	640	28			0.237	0.802	293	0				
388	C9H18	1-Noneno	124-11-8	126.243	191.8	420	592	23.1	580	0.28	0.43	0.745	273		-24.74	26.93	8680	-0.888
389	C9H20	n-Nonano	111-84-2	128.259	219.7	424	594.6	22.8	548	0.26	0.444	0.718	293		-54.74	5.93	8823	0.751
390	C9H20	2,2,3-Trimetil Hexano	16747-25-4	128.259		406.8	588	24.6			0.332				-57.65	5.86	8310	-10.899
391	C9H20	2,2,4-Trimetil Hexano	16747-26-5	128.259	153	399.7	573.7	23.4			0.321	0.72	289		-58.13	5.38	8130	-14.405
392	C9H20	2,2,5-Trimetil Hexano	3522-94-9	128.259	167.4	397.3	568	23	519	0.26	0.357	0.717	289		-60.71	3.21	8070	-12.923
393	C9H20	3,3-Dietil Pentano	1067-20-5	128.259		419.3	610	26.4			0.338	0.752	293	0	-55.44	8.38	8600	-16.067
394	C9H20	2,2,3,3-Tetrametil Pentano	7154-79-2	128.259		413.4	607.6	27			0.279				-56.7	8.2	8430	-13.037
395	C9H20	2,2,3,4-Tetrametil Pentano	1186-53-4	128.259		406.2	592.7	25.7			0.311				-56.64	7.8	8190	-13.037
396	C9H20	2,2,4,4-Tetrametil Pentano	1070-87-7	128.259	206	395.4	574.7	24.5			0.315	0.719	293		-57.83	8.13	7850	-16.099
397	C9H20	2,3,3,4-Tetrametil Pentano	16747-38-9	128.259		414.7	607.6	26.8			0.299				-56.46	8.15	8350	-13.117
398	C10H8	Naftaleno	91-20-3	128.174	353.5	491.1	748.4	40	410	0.267	0.302	0.971	363	0	36.08	53.44	10340	-16.433
399	C10H12	1,2,3,4-Tetrahidro Naftaleno	119-64-2	132.206	242	480.7	719	34.7			0.303	0.973	293		6.6	39.9	9490	
400	C10H14	n-Butil Benceno	104-51-8	134.222	185.2	456.4	660.5	28.5	497	0.261	0.392	0.86	293	0.4	-3.3	34.58	9380	-5.491
401	C10H14	iso-Butil Benceno	538-93-2	134.222	221.7	445.9	650	31	480	0.28	0.378	0.853	293	0.3	-5.15		9040	
402	C10H14	sec-Butil Benceno	135-98-8	134.222	197.7	446.5	664	29.1			0.274	0.862	293	0.4	-4.17		9070	-15.56
403	C10H14	tert-Butil Benceno	98-06-6	134.222	215.3	442.3	660	29.3			0.265	0.867	293	0.5	-5.42		8990	-20.541
404	C10H14	1-Metil-2-iso-Propil Benceno	527-84-4	134.222		451.5	670	28.6			0.277	0.876	293					
405	C10H14	1-Metil-3-iso-Propil Benceno	535-77-3	134.222		448.3	666	29			0.279	0.861	293		-7		9110	-11.646
406	C10H14	1-Metil-4-iso-Propil Benceno	99-87-6	134.222	200	450.3	653	27.9			0.371	0.857	293	0				
407	C10H14	1,4-Dietil Benceno	105-05-5	134.222	231	456.9	657.9	27.7	480	0.25	0.403	0.862	293	0.1	-5.32	32.95	9410	-8.937
408	C10H14	1,2,4,5-Tetrametil Benceno	95-93-2	134.222	352	470	675	29	480	0.25	0.426	0.838	354		-10.82	28.55	10880	3.946
409	C10H15N	n-Butilaminilina	1126-78-9	149.236	259	513.9	721	28	518	0.25		0.932	293				11690	-8.137
410	C10H18	cis-Decalina	493-01-6	138.254	230	468.9	702.2	31			0.23	0.897	293	0	-40.38	20.51	9400	-26.86
411	C10H18	trans-Decalina	493-02-7	138.254	242.8	460.4	690	31			0.27	0.87	293	0	-43.57	17.55	9200	-23.328
412	C10H19N	Capilonitrilo	*	153.269	255.3	516	622	32.1				0.82	293					
413	C10H20	n-Butil Ciclohexano	1678-93-9	140.27	198.4	454.1	667	31.1			0.362	0.799	293		-50.95	13.49	9200	-15.037
414	C10H20	iso-Butil Ciclohexano	*	140.27		444.5	659	30.8			0.319	0.795	293					
415	C10H20	sec-Butil Ciclohexano	7058-01-07	140.27		452.5	669	26.4			0.264	0.813	293					
416	C10H20	tert-Butil Ciclohexano	*	140.27	232	444.7	659	26.3			0.252	0.813	293	0				
417	C10H20	1-Deceno	872-05-9	140.27	206.9	443.7	615	21.8	650	0.28	0.491	0.741	293		-29.67	28.93	9240	-1.114
418	C10H22	n-Decano	124-18-5	142.286	243.5	447.3	617.6	20.8	603	0.247	0.49	0.73	293	0	-59.67	7.94	9388	-1.89
419	C10H22	3,3,5-Trimetil Heptano	7154-80-5	142.286		428.8	609.6	22.9			0.388				-61.8	8.02	8760	-16.808
420	C10H22	2,2,3,3-Tetrametil Heptano	13475-81-5	142.286		433.5	623.1	24.8			0.36						8690	-14.052
421	C10H22	2,2,5,5-Tetrametil Heptano	* 142.286			410.6	581.5	21.6			0.374						8430	-14.89
422	C10H22O	1-Decanol	112-30-1	158.285	280.1	503.4	700	22	600	0.23		0.83	293	1.8	-96	-24.9	12000	3.48
423	C11H10	1-Metil Naftaleno	90-12-0	142.201	242.7	517.8	772	35.2	445	0.25	0.334	1.02	293	0.5	27.93	52.03	11000	-15.482
424	C11H10	2-Metil Naftaleno	91-57-6	142.201	307.7	514.2	761	34.6	462	0.26	0.382	0.99	313	0.4	27.75	51.66	11000	-13.499
425	C11H14O2	Benzoato de Butilo	136-60-7	178.232	251	523	723	26	561	0.25	0.58	1.006	293				11700	-4.148
426	C11H22	n-Hexil Ciclopentano	4457-00-5	154.297		476.3	660.1	21.1			0.476				-50.07	18.69	9840	-13.93
427	C11H22	1-Undeceno	821-95-4	154.297	224	465.8	637	19.7			0.518	0.751	293		-34.6	30.94	9770	-1.334
428	C11H24	n-Undecano	1120-21-4	156.313	247.6	469.1	638.8	19.4	660	0.24	0.535	0.74	293	0	-64.6	9.94	9920	-2.005
429	C12H10	Difenilo	92-52-4	154.212	342.4	528.4	789	38	502	0.295	0.364	0.99	347		43.52	66.94	10900	-23.184
430	C12H10O	Difenil Eter	101-84-8	170.211	300	531.2	766	31			0.44	1.066	303	1.1	11.94		11260	-14.505
431	C12H24	n-Heptil Ciclopentano	*	168.324		497.3	679	19.2			0.515				-55	20.7	10360	-14.155
432	C12H24	1-Dodeceno	112-41-4	168.324	238	486.5	657	18.3			0.558	0.758	293		-39.52	32.96	10270	-1.563

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarIA	HarIB	HarIC	HarID
379	C9H12	iso-Propil Benceno	1.87E-01	-1.22E-04	3.08E-08	517.17	276.22	15.9722	3363.6	-63.37	454	311	46.941	-6285.25	-4.227	6.86
380	C9H12	1-Metil-2-Etil Benceno	1.67E-01	-9.84E-05	2.23E-08			16.1253	3535.33	-65.85	467	321	64.337	-7662.94	-6.617	7.18
381	C9H12	1-Metil-3-Etil Benceno	1.74E-01	-1.04E-04	2.39E-08		8	16.1545	3521.08	-64.64	463	318	65.67	-7678.11	-6.815	7.2
382	C9H12	1-Metil-4-Etil Benceno	1.71E-01	-1.01E-04	2.28E-08	463.17	266.08	16.1135	3516.31	-64.23	463	318	61.404	-7422.59	-6.212	7.23
383	C9H12	1,2,3-Trimetil Benceno	1.51E-01	-7.95E-05	1.58E-08			16.2121	3670.22	-66.07	479	329				
384	C9H12	1,2,4-Trimetil Benceno	1.49E-01	-7.79E-05	1.52E-08	872.74	297.75	16.219	3622.58	-64.59	471	324	56.241	-7256.56	-5.459	7.27
385	C9H12	1,3,5-Trimetil Benceno	1.61E-01	-8.82E-05	1.84E-08	437.52	268.27	16.2893	3614.19	-63.57	466	321	58.041	-7326.78	-5.706	7.22
386	C9H18	n-Propil Ciclohexano	2.36E-01	-1.38E-04	3.08E-08	549.08	293.93	15.8567	3363.62	-65.21	459	313				
387	C9H18	iso-Propil Ciclohexano						15.826	3346.12	-63.71	440	330				
388	C9H18	1-Noneno	1.94E-01	-1.08E-04	2.32E-08	471	258.92	16.0118	3305.03	-67.61	448	308	69.085	-7626.91	-7.339	8.38
389	C9H20	n-Nonano	1.62E-01	-4.61E-05	-7.12E-09	525.56	272.12	15.9671	3291.45	-71.33	452	312	73.133	-7969.42	-7.89	8.69
390	C9H20	2,2,3-Trimetil Hexano	2.52E-01	-1.71E-04	4.75E-08			15.8017	3164.17	-61.66	436	297				
391	C9H20	2,2,4-Trimetil Hexano	2.64E-01	-1.84E-04	5.23E-08			15.7639	3084.08	-61.94	428	291				
392	C9H20	2,2,5-Trimetil Hexano	2.62E-01	-1.85E-04	5.39E-08			15.7445	3052.17	-62.24	420	315				
393	C9H20	3,3-Dietil Pentano	2.69E-01	-1.91E-04	5.51E-08			15.8709	3341.62	-57.57	440	350				
394	C9H20	2,2,3,3-Tetrametil Pentano	2.60E-01	-1.81E-04	5.12E-08			15.728	3220.55	-59.31	440	328	64.104	-7011.38	-6.731	8.46
395	C9H20	2,2,3,4-Tetrametil Pentano	2.60E-01	-1.81E-04	5.12E-08			15.7363	3167.42	-58.21	430	318				
396	C9H20	2,2,4,4-Tetrametil Pentano	2.79E-01	-2.06E-04	6.15E-08			15.6488	3049.98	-57.13	413	313				
397	C9H20	2,3,3,4-Tetrametil Pentano	2.61E-01	-1.82E-04	5.15E-08			15.8029	3269.07	-58.19	425	325				
398	C10H8	Naftaleno	2.03E-01	-1.55E-04	4.73E-08	873.32	352.57	16.1426	3992.01	-71.29	525	360				
399	C10H12	1,2,3,4-Tetrahidro Naftaleno						16.2805	4009.49	-64.89	500	365				
400	C10H14	n-Butil Benceno	1.90E-01	-1.05E-04	2.05E-08	563.84	296.01	16.0793	3633.4	-71.77	486	335				
401	C10H14	iso-Butil Benceno						15.9524	3512.47	-69.03	476	326				
402	C10H14	sec-Butil Benceno	2.36E-01	-1.72E-04	5.14E-08	582.66	295.82	15.9999	3544.19	-68.1	476	325				
403	C10H14	tert-Butil Benceno	2.63E-01	-2.09E-04	6.75E-08			15.93	3462.28	-69.87	472	323				
404	C10H14	1-Metil-2-iso-Propil Benceno						15.9809	3564.52	-70	481	330				
405	C10H14	1-Metil-3-iso-Propil Benceno	2.17E-01	-1.45E-04	3.89E-08			15.9811	3543.79	-69.22	478	328	67.726	-8033.58	-7.076	8.39
406	C10H14	1-Metil-4-iso-Propil Benceno						15.9424	3539.21	-70.1	480	329	63.225	-7800.97	-6.432	8.41
407	C10H14	1,4-Dietil Benceno	2.07E-01	-1.33E-04	3.37E-08			16.114	3657.22	-71.18	487	335				
408	C10H14	1,2,4,5-Tetrametil Benceno	1.56E-01	-6.88E-05	7.78E-09			16.3023	3850.91	-71.72	500	361	64.139	-8300.92	-6.478	8.8
409	C10H15N	n-Butilnilina	2.18E-01	-1.33E-04	3.08E-08	1111.1	341.28	16.3994	4079.72	-96.15	560	385				
410	C10H18	cis-Decalina	2.67E-01	-1.58E-04	3.43E-08			15.8312	3671.61	-69.74	495	368				
411	C10H18	trans-Decalina	2.50E-01	-1.31E-04	2.15E-08	702.27	339.66	15.7989	3610.66	-66.49	470	363				
412	C10H19N	Caprilonitrilo														
413	C10H20	n-Butil Ciclohexano	2.58E-01	-1.51E-04	3.34E-08	598.3	311.39	15.9116	3542.57	-72.32	485	332				
414	C10H20	iso-Butil Ciclohexano						15.8141	3437.99	-69.99	455	355				
415	C10H20	sec-Butil Ciclohexano						15.867	3524.57	-70.78	470	360				
416	C10H20	tert-Butil Ciclohexano						15.7884	3457.85	-67.04	450	357				
417	C10H20	1-Deceno	2.17E-01	-1.21E-04	2.62E-08	518.37	277.8	16.0129	3448.18	-76.09	460	356	73.938	-8380.48	-7.95	9.9
418	C10H22	n-Decano	2.30E-01	-1.26E-04	2.70E-08	558.61	288.37	16.0114	3456.8	-78.67	476	330	75.475	-8563.64	-8.149	10.2
419	C10H22	3,3,5-Trimetil Heptano	2.94E-01	-2.07E-04	5.86E-08			15.7848	3305.2	-67.66	458	313				
420	C10H22	2,2,3,3-Tetrametil Heptano	2.94E-01	-2.11E-04	6.17E-08			15.7598	3371.05	-64.09	463	314				
421	C10H22	2,2,5,5-Tetrametil Heptano	2.97E-01	-2.14E-04	6.25E-08			15.8446	3172.92	-66.15	438	300				
422	C10H22O	1-Decanol	2.14E-01	-9.37E-05	8.24E-09	1481.8	380	15.9395	3389.43	-139	503	376				
423	C11H10	1-Metil Naftaleno	2.24E-01	-1.66E-04	4.81E-08	862.89	361.76	16.2008	4206.7	-78.15	551	380				
424	C11H10	2-Metil Naftaleno	2.15E-01	-1.55E-04	4.40E-08	695.42	351.79	16.2758	4237.37	-74.75	548	377				
425	C11H14O2	Benzoato de Butilo	2.07E-01	-1.10E-04	1.73E-08	882.36	350.34	16.3363	4158.47	-94.15	570	390				
426	C11H22	n-Hexil Ciclohexano	2.69E-01	-1.56E-04	3.52E-08	617.57	318.65	16.014	3702.56	-81.55	507	351				
427	C11H22	1-Undeceno	2.40E-01	-1.34E-04	2.91E-08	566.26	294.89	16.0412	3597.72	-83.41	496	345	78.295	-9105.75	-8.489	11.46
428	C11H24	n-Undecano	2.52E-01	-1.39E-04	2.95E-08	605.5	305.01	16.0541	3614.07	-85.45	498	348	80.121	-9305.8	-8.729	11.75
429	C12H10	Difenilo	2.64E-01	-2.12E-04	6.66E-08	733.87	369.58	16.6832	4602.23	-70.42	545	343				
430	C12H10O	Difenil Eter	2.22E-01	-1.40E-04	3.25E-08	1146	379.29	16.3459	4310.25	-87.31	598	418				
431	C12H24	n-Heptil Ciclopentano	2.92E-01	-1.69E-04	3.81E-08	654.77	333.12	16.0589	3850.38	-88.75	529	368				
432	C12H24	1-Dodeceno	2.62E-01	-1.47E-04	3.20E-08	615.67	310.07	16.061	3729.87	-90.88	517	361	82.968	-9846.99	-9.073	13.1

	Fórmula	Nombre	CAS	PM	TF	Teb	Tc	Pc	Vc	Zc	AcF	LiqDen	Tref	DPM	StdHF	StdEF	HVBPN	VHA
433	C12H26	n-Dodecano	112-40-3	170.34	263.6	489.5	658.3	18	713	0.24	0.562	0.748	293	0	-69.52	11.96	10430	-2.228
434	C12H26O	Dihehil Eter	112-58-3	186.339	230	499.6	657	18	720	0.24	0.7	0.794	293				10900	8.01
435	C12H26O	Dodecanol	112-53-8	186.339	297.1	533.1	679	19	718	0.24		0.835	293	1.6	-105.84	-20.81		2.203
436	C12H27N	Tributilamina	102-82-9	185.355		486.6	643	18				0.779	293	0.8			10600	1.909
437	C13H12	Difenilmetano	101-81-5	168.239	300	537.5	767	29.4			0.471	1.006	293	0.4				
438	C13H26	n-Octil Ciclopentano	*	182.351		516.9	694	17.7			0.564				-59.92	22.72	10850	-14.319
439	C13H26	1-Trideceno	2437-56-1	182.351	250.1	505.9	674	16.8			0.598	0.766	293		-44.45	34.96	10750	-1.7
440	C13H28	n-Tridecano	*	184.367	267.8	508.6	675.8	17	780	0.24	0.623	0.756	293		-74.45	13.97	10910	-2.499
441	C14H10	Antraceno	120-12-7	178.234	489.7	614.4	883							0	53.7		13500	-14.087
442	C14H10	Fenantreno	85-01-8	178.234	373.7	612.6	878							0	48.4		13300	-14.087
443	C14H28	n-Nonil Ciclopentano	*	196.378		535.3	710.5	16.3			0.61				-64.85	24.72	11290	-14.524
444	C14H28	1-Tetradeceno	1120-36-1	196.378	260.3	524.3	689	15.4			0.644	0.786	273		-49.36	36.99	11210	-1.903
445	C14H30	n-Tetradecano	629-59-4	198.394	279	526.7	694	16	830	0.23	0.679	0.763	293		-79.38	15.97	11380	-2.623
446	C15H30	n-DecilCiclopentano	1795-21-7	210.405		552.5	723.8	15			0.654				-69.78	26.73	11710	-14.79
447	C15H30	1-Pentadeceno	13360-61-7	210.405	269.4	541.5	704	14.4			0.682	0.791	273		-54.31	38.97	11630	-2.198
448	C15H32	n-Pentadecano	629-62-9	212.421	283	543.8	707	15	880	0.23	0.706	0.769	293		-84.31	17.98	11820	-2.846
449	C16H22O4	Dibutil-o-Ftalato	84-74-2	278.35	238	608						1.047	293				18900	0.449
450	C16H32	n-Decil Ciclohexano	1795-16-0	224.432		570.8	750	13.4			0.583						12040	-16.484
451	C16H32	1-Hexadeceno	629-73-2	224.432	277.3	558	717	13.2			0.721	0.788	283		-59.23	40.99	12050	-2.318
452	C16H34	n-Hexadecano	544-76-3	226.448	291	560	717	14			0.742	0.773	293		-89.23	20	12240	-3.109
453	C17H34	n-Dodecilciclopentano	*	238.459		584.1	750	12.8			0.719				-80.28	30.1	12570	-15.11
454	C17H36O	Heptadecanol	1454-85-9	256.474	327	597	736	14				0.848	327		-130.47	-10.67	14500	-1.861
455	C17H36	n-Heptadecano	629-78-7	240.475	295	575.2	733	13	1000	0.22	0.77	0.778	293		-94.15	22.01	12640	-3.336
456	C18H14	o-Terfenil	84-15-1	230.31	330	605	891	38.5	769	0.405								
457	C18H14	m-Terfenil	92-06-8	230.31	360	638	924.8	34.6	784	0.358								
458	C18H14	p-Terfenil	92-94-4	230.31	485	649	926	32.8	779	0.336				0.7				
459	C18H36	1-Octadeceno	112-88-9	252.486	290.8	588	739	11.2			0.807	0.789	293		-69.08	45.01	12970	-2.706
460	C18H36	n-Tridecil Ciclopentano	*	252.486		598.6	761	11.9			0.755				-84.55	32.74	12980	-15.336
461	C18H38	n-Octadecano	593-45-3	254.502	301.3	589.5	745	11.9			0.79	0.777	301		-99.08	24.02	13020	-3.456
462	C18H38O	1-Octadecanol	112-92-5	270.501	331	608	747	14				0.812	332	1.7	-135.39	-8.65		-2.079
463	C19H38	n-Tetradecil Ciclopentano	*	266.513		599	772	11.1			0.789				-89.48	34.77	13380	-15.508
464	C19H40	n-Nonadecano	629-92-5	268.529	305	603.1	756	11			0.827	0.789	305		-104	26.03	13390	-3.7
465	C20H40	n-Pentadecil Ciclopentano	*	280.54		625	780	10.1			0.833				-94.41	36.78	13780	-15.786
466	C20H42	n-Eicosano	112-95-8	282.556	310	617	767	11			0.907	0.775	313		-108.93	28.04	13740	-5.346
467	C20H42O	1-Eicosanol	629-96-9	298.555	339	629	770	12							-145.25	-4.64	15600	-3.005
468	C21H42	n-Hexadecil Ciclopentano	*	294.567		637	791	9.6			0.861				-99.33	38.79	14180	-15.927
469	N2/O2	Aire		28.95	3	78.67	132.45	37.2465	91.47			0		0	0	0		

	Fórmula	Nombre	VHB	VHC	VHD	LVB	LVC	AntA	AntB	AntC	TMX	TMN	HarIA	HarIB	HarIC	HarID
433	C12H26	n-Dodecano	2.74E-01	-1.52E-04	3.25E-08	631.63	318.78	16.1134	3774.56	-91.31	520	364	84.248	-10012.5	-9.236	13.37
434	C12H26O	Di-hexil Eter	2.56E-01	-1.32E-04	4.01E-08	723.43	323.35	16.3372	3982.78	-89.15	545	373				
435	C12H26O	Dodecanol	2.64E-01	-1.28E-04	1.86E-08	1417.8	398.89	15.2638	3242.04	-157.1	580	407				
436	C12H27N	Tributilamina	2.86E-01	-1.60E-04	3.46E-08	889.06	312.48	16.2878	3865.58	-86.15	531	362				
437	C13H12	Difenilmetano						14.4856	2902.44	-167.9	563	473				
438	C13H26	n-Octil Ciclopentano	3.15E-01	-1.82E-04	4.08E-08	695.83	346.19	16.0941	3983.01	-95.85	549	385				
439	C13H26	1-Trideceno	2.85E-01	-1.59E-04	3.47E-08	658.16	323.71	16.085	3856.23	-97.94	537	377	88.01	-10609.4	-9.709	15
440	C13H28	n-Tridecano	2.97E-01	-1.65E-04	3.56E-08	664.1	332.1	16.1355	3892.91	-98.93	540	380				
441	C14H10	Antraceno	2.40E-01	-1.58E-04	3.84E-08	513.28	405.81	17.6701	6492.44	-26.13	655	490				
442	C14H10	Fenantreno	2.40E-01	-1.58E-04	3.84E-08			16.7187	5477.94	-69.39	655	450				
443	C14H28	n-Nonil Ciclopentano	3.37E-01	-1.95E-04	4.37E-08	735.19	357.74	16.1089	4096.3	-103	569	400				
444	C14H28	1-Tetradeceno	3.07E-01	-1.72E-04	3.75E-08	697.49	336.13	16.1643	4018.01	-102.7	557	392	92.474	-11329.2	-10.27	17.07
445	C14H30	n-Tetradecano	3.20E-01	-1.77E-04	3.82E-08	689.85	344.21	16.148	4008.52	-105.4	560	394	91.172	-11322.9	-10.07	16.66
446	C15H30	n-DecilCiclopentano	3.60E-01	-2.08E-04	4.68E-08	771.74	368.3	16.1261	4203.94	-109.7	586	413				
447	C15H30	1-Pentadeceno	3.30E-01	-1.86E-04	4.07E-08	739.13	347.46	16.1539	4103.15	-110.6	574	406	98.92	-12205.3	-11.09	19.16
448	C15H32	n-Pentadecano	3.42E-01	-1.90E-04	4.11E-08	718.51	355.92	16.1724	4121.51	-111.8	577	408	95	-11995.6	-10.54	18.45
449	C16H22O4	Dibutil-o-Ftalato	9.95E-01	-1.46E-04	1.67E-08	2588.1	336.24	16.9539	4852.47	-138.1	657	469				
450	C16H32	n-Decil Ciclohexano	3.95E-01	-2.30E-04	5.12E-08	925.84	378.69	16.1627	4373.37	-111.8	573	463				
451	C16H32	1-Hexadeceno	3.52E-01	-1.98E-04	4.32E-08	767.48	357.85	16.2203	4245	-115.2	592	420	105.9	-13117	-11.99	21.68
452	C16H34	n-Hexadecano	3.65E-01	-2.04E-04	4.42E-08	738.3	366.11	16.1841	4214.91	-118.7	594	423	95.68	-12411.3	-10.58	20.27
453	C17H34	n-Dodecilciclopentano	4.05E-01	-2.33E-04	5.22E-08	853.9	385.53	16.1915	4395.87	-124.2	619	441				
454	C17H36O	Heptadecanol	3.95E-01	-2.23E-04	4.88E-08			15.6161	3672.62	-188.1	656	464				
455	C17H36	n-Heptadecano	3.88E-01	-2.17E-04	4.71E-08	757.88	375.9	16.151	4294.55	-124	610	434				
456	C18H14	o-Terfenil				1094.1	461.27									
457	C18H14	m-Terfenil				940.58	460.94									
458	C18H14	p-Terfenil				911.01	461.1									
459	C18H36	1-Octadeceno	3.98E-01	-2.24E-04	4.89E-08	816.19	376.93	16.2221	4416.13	-127.3	623	444				
460	C18H36	n-Tridecil Ciclopentano	4.28E-01	-2.47E-04	5.52E-08	891.8	392.78	16.227	4483.13	-131.3	634	453				
461	C18H38	n-Octadecano	4.10E-01	-2.29E-04	4.96E-08	777.4	385	16.1232	4361.79	-129.9	625	445				
462	C18H38O	1-Octadecanol	4.17E-01	-2.36E-04	5.15E-08			15.6898	3757.82	-193.1	658	474				
463	C19H38	n-Tetradecil Ciclopentano	4.50E-01	-2.59E-04	5.79E-08	924.6	399.62	16.2632	4439.38	-138.1	648	465				
464	C19H40	n-Nonadecano	4.33E-01	-2.42E-04	5.27E-08	793.62	393.54	16.1533	4450.44	-135.6	639	456				
465	C20H40	n-Pentadecil Ciclopentano	4.73E-01	-2.72E-04	6.09E-08	950.57	406.33	16.3092	4642.01	-145.1	661	476				
466	C20H42	n-Eicosano	4.63E-01	-2.67E-04	6.04E-08	811.29	401.67	16.4685	4680.46	-141.1	652	471				
467	C20H42O	1-Eicosanol	4.66E-01	-2.67E-04	6.01E-08			15.8233	3912.1	-203.1	679	492				
468	C21H42	n-Hexadecil Ciclopentano	4.95E-01	-2.85E-04	6.37E-08	977.42	412.29	16.3553	4715.69	-152.1	674	488				
469	N2/O2	Aire														

C. MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS¹

Este apéndice recoge los métodos y correlaciones para estimar la densidad, viscosidad y difusividad de gases y líquidos, así como la tensión superficial. Los métodos presentados son tomados del texto de Propiedades de Gases y Líquidos (Reid y Sherwood, 1966; Reid *et al*, 1977; y Reid *et al*, 1987), de manera que el alcance de su aplicación corresponde a lo establecido allí. Las propiedades correspondientes al agua se determinan por medio de la Formulación de las Tablas IAPWS (Wagner, 2000). La nomenclatura se presenta al final.

1. DENSIDAD

La densidad, tanto del gas o vapor como del líquido, es una de las propiedades físicas determinantes en la hidráulica de lechos empacados. Su presencia en casi todas las correlaciones y modelos pertinentes así lo corrobora. A continuación se presentan las ecuaciones de estado empleadas para gases², y luego se aborda la estimación del volumen molar en el punto normal de ebullición y la densidad de líquidos. Para algunas expresiones se indica en qué casos resulta conveniente su aplicación, de acuerdo con la fuente.

1.1 GASES

La estimación de la densidad de gases puede realizarse por medio de diversas ecuaciones de estado. En los métodos iterativos se emplea como primera aproximación el valor de la compresibilidad hallado por medio de la ecuación de gas ideal:

$$PV = ZRT \quad \text{Ec. C1}$$

Las ecuaciones de estado presentadas se emplean para determinar la compresibilidad, la cual luego se utiliza para hallar la densidad (o el volumen molar) del gas.

¹ No sobra advertir que la literatura recomienda dar prelación a la información experimental disponible, siempre y cuando sea confiable.

² El usuario debe elegir la ecuación de estado a utilizar con base de un análisis cuidadoso de su aplicabilidad y conveniencia, de acuerdo con el sistema.

1.1.1 Van der Waals

La ecuación de estado de Van der Waals es la de uso más común, aunque no la más exacta. Su forma general es:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT, \quad \text{Ec. C2}$$

en la cual las constantes a y b vienen dadas por:

$$a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}, \quad \text{Ec. C3}$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} \quad \text{Ec. C4}$$

1.1.2 Redlich Kwong

La ecuación de Redlich-Kwong es considerada como la ecuación de dos constantes más precisa:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V + b)} \quad \text{Ec. C5}$$

Los valores de las constantes se determinan a partir de los criterios de estabilidad termodinámica en el punto de equilibrio:

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_{T_c} = 0 \quad \text{y} \quad \left(\frac{d^2P}{dV^2}\right)_{T_c} = 0,$$

así:

$$a = \frac{\Omega_a R^2 T_c^{2.5}}{P_c} \quad \text{Ec. C6}$$

$$b = \frac{\Omega_b RT_c}{P_c}, \quad \text{Ec. C7}$$

donde Ω_a y Ω_b son números puros:

$$\Omega_a = \left[9(2^{1/3} - 1)\right]^{-1} \quad \text{y} \quad \Omega_b = \frac{2^{1/3} - 1}{3}$$

Una de las modificaciones más empleadas de esta ecuación es la de Redlich Kwong Soave, recomendada para sistemas de hidrocarburos. Ésta varía respecto a la expresión original en la función de la temperatura, así:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)}, \quad \text{Ec. C8}$$

con a , b y α definidos como:

$$a = \frac{0.42747R^2T_c^2}{P_c}, \quad \text{Ec. C9}$$

$$b = \frac{0.08664RT_c}{P_c}, \quad \text{Ec. C10}$$

y

$$\alpha = \left[1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)(1 - T_r^{0.5}) \right]^2 \quad \text{Ec. C11}$$

1.1.3 Peng Robinson

La ecuación de Peng-Robinson es particularmente adecuada para hidrocarburos y series homólogas. Su formulación original es:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 + 2bV - b^2}, \text{ con} \quad \text{Ec. C12}$$

$$a = \frac{0.45724R^2T_c^2}{P_c}, \quad \text{Ec. C13}$$

$$b = \frac{0.07780RT_c}{P_c} \text{ y} \quad \text{Ec. C14}$$

$$\alpha = \left[1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2)(1 - T_r^{0.5}) \right]^2 \quad \text{Ec. C15}$$

Las diferentes modificaciones propuestas para esta ecuación son menos generales.

1.1.4 Joffe - Barner - Adler

La ecuación de estado de Joffe, modificada por Barner y Adler, se encuentra entre las más precisas para la región de gas saturado o ligeramente sobrecalentado ($T_r < 1.5$ y $V_r > 0.6$):

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{af_a}{V(V-b)} + \frac{cf_c}{V(V-b)^2} - \frac{df_d}{V(V-b)^3} + \frac{ef_e}{V(V-b)^4} \quad \text{Ec. C16}$$

$$a = \frac{R^2 T_c^2}{4 P_c} (5h - 1) + \frac{5}{2} (1 - h)^2 \quad \text{Ec. C17} \quad b = \frac{R T_c}{4 P_c} (5h - 1) \quad \text{Ec. C18}$$

$$c = \frac{5 R^3 T_c^3}{32 P_c^2} (1 - h)^3 \quad \text{Ec. C19} \quad d = \frac{5 R^4 T_c^4}{256 P_c^3} (1 - h)^4 \quad \text{Ec. C20}$$

$$e = \frac{R^5 T_c^5}{1024 P_c^4} (1 - h)^5 \quad \text{Ec. C21} \quad h = 1 - \left[\frac{8}{5} (0.3361 + 0.0713 \omega) \right]^{1/2} \quad \text{Ec. C22}$$

$$f_a = 1 - A \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \quad \text{Ec. C23} \quad f_c = 1 - C \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \quad \text{Ec. C24}$$

$$f_d = D_1 + \frac{D_2}{T_r} - \frac{D_3}{T_r^2} \quad \text{Ec. C25} \quad f_e = E_1 + \frac{E_2}{T_r^2} - \frac{E_3}{T_r^4} \quad \text{Ec. C26}$$

$$A = \frac{0.904 + 3.716 \omega}{(5h - 1) + \frac{5}{2} (1 - h)^2} \quad \text{Ec. C27} \quad C = \frac{32(0.043 + 0.17 \omega)}{5(1 - h)^3} \quad \text{Ec. C28}$$

$$D_1 = -0.30 - 6.28 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C29} \quad D_2 = 1.89 + 13.59 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C30}$$

$$D_3 = 0.59 + 7.31 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C31} \quad E_1 = 0.23 - 2.58 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C32}$$

$$E_2 = 1.25 + 8.99 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C33} \quad E_3 = 0.48 + 6.41 \omega^{2/3} \quad \text{Ec. C34}$$

La ecuación de Joffe-Barner-Adler se recomienda para sistemas no constituidos por hidrocarburos.

1.2 LÍQUIDOS

Antes de presentar los métodos de estimación de la densidad en líquidos es necesario referirse a la estimación del volumen molar en el punto normal de ebullición, parámetro requerido para muchos métodos de estimación de propiedades tales como la difusividad y la viscosidad.

Para estimar el volumen molar del líquido en el punto normal de ebullición se han propuesto varios métodos, pero el presentado por Tyn y Calus es el más aceptado:

$$V_b = 0.285 V_c^{1.048} \quad \text{Ec. C35}$$

V_b y V_c deben expresarse en cm^3/mol . Los errores con esta relación simple se encuentran dentro del 3%.

A continuación se presentan los métodos de Gunn-Yamada y de Chueh-Prausnitz, para estimar la densidad de líquidos. En los dos se ha eliminado el uso de parámetros especiales con el empleo de una densidad de referencia.

1.2.1 Gunn Yamada

Este método solo permite estimar densidades de líquidos saturados. En el módulo se implementa la siguiente modificación, la cual requiere conocer, como se sugirió, un valor de densidad a una temperatura de referencia:

$$V = V^R \frac{V_r^{(0)}(T_r)[1 - \omega\Gamma(T_r)]}{V_r^{(0)}(T_r^R)[1 - \omega\Gamma(T_r^R)]} \quad \text{Ec. C36}$$

Para $T_r < 0.8$, $V_r^{(0)}$ viene dado por:

$$V_r^{(0)} = 0.33593 - 0.33953T_r + 1.51941T_r^2 - 2.02512T_r^3 + 1.11422T_r^4 \quad \text{Ec. C37a}$$

y para $0.8 \leq T_r < 1.0$, $V_r^{(0)}$ se evalúa así:

$$V_r^{(0)} = 1.0 + 1.3(1 - T_r)^{1/2} \log(1 - T_r) - 0.50879(1 - T_r) - 0.91534(1 - T_r)^2 \quad \text{Ec. C37b}$$

Γ se expresa como:

$$\Gamma = 0.29607 - 0.09045T_r - 0.04842T_r^2 \quad \text{Ec. C38}$$

El método de Gunn-Yamada se considera uno de los más precisos, siempre que se use con valores de T_r por debajo de 0.99.

1.2.2 Chueh-Prausnitz modificado por Lyckman Eckert Prausnitz

a partir de una formulación de la correlación de estados correspondientes se obtiene la siguiente expresión:

$$\rho = \rho_s \left[1 + \frac{9Z_c N(P - P_{vp})}{P_c} \right]^{1/9}, \quad \text{Ec. C39}$$

en la cual N es una función del factor acéntrico y de la temperatura reducida:

$$N = (1.0 - 0.89\omega) \left[\exp(6.9547 - 76.2853T_r + 1.91.3060T_r^2 - 203.5472T_r^3 + 82.7631T_r^4) \right] \quad \text{Ec. C40}$$

y ρ_s se refiere a la densidad de líquido saturado a T_r y P_{vp} , la cual viene dada por:

$$\frac{\rho_c}{\rho_s} = V_r^{(0)} + \omega V_r^{(1)} + \omega^2 V_r^{(2)}, \quad \text{Ec. C41}$$

en donde

$$V_r^{(j)} = a_j + b_j T_r + c_j T_r^2 + d_j T_r^3 + \frac{e_j}{T_r} + f_j \ln(1 - T_r) \quad \text{Ec. C42}$$

El valor de los parámetros se presenta en la Tabla C.1.

Tabla C.1 Constantes de la ecuación de Chueh- Prausnitz

j	a_j	b_j	c_j	d_j	e_j	f_j
0	0.11917	0.009513	0.21091	-0.06922	0.07480	-0.084476
1	0.98465	-1.60378	1.82484	-0.61432	-0.34546	0.087037
2	-0.55314	-0.15793	-1.01601	0.34095	0.46795	-0.239938

En la ecuación C41 el término ρ_c puede eliminarse al emplear una densidad de referencia, así:

$$\rho_s = \rho^R \frac{\left(\frac{\rho_c}{\rho_s} \right)}{\left(\frac{\rho_c}{\rho_s} \right)_R} \quad \text{Ec. C43}$$

Con este método es posible determinar la densidad de líquidos a cualquier P y T , pero no debe emplearse a valores de T_r cerca de la unidad debido al efecto de la función logarítmica empleada.

2. VISCOSIDAD

La viscosidad, en particular la de la fase líquida, tiene una fuerte influencia sobre el comportamiento hidráulico de lechos empacados. El módulo incluye diversos métodos para su estimación.

2.1 GASES

La viscosidad de gases se evalúa por medio de diferentes expresiones derivadas de la teoría de Chapman-Enskog o de la Ley de Estados Correspondientes. Es de importancia recalcar que las expresiones presentadas son válidas, en general, para fluidos newtonianos, esto es, fluidos en los cuales la viscosidad es independiente de la magnitud del esfuerzo cortante, el gradiente de velocidad y el tiempo de aplicación del esfuerzo, entre otros factores.

2.1.1 Método de Chung, Ajlan, Lee y Starling

Estos autores llegan a la siguiente expresión a partir de la teoría de Chapman y Enskog:

$$\mu = 40.785 \frac{F_c (MT)^{1/2}}{V_c^{2/3} \Omega_v}, \quad \text{Ec. C44}$$

en la cual F_c es un factor que tiene en cuenta la forma molecular y la polaridad, así:

$$F_c = 1 - 0.2756\omega + 0.059035\mu_p^4 + \kappa, \quad \text{Ec. C45}$$

donde κ es un factor de asociación para sustancias altamente polares (alcoholes, agua, y ácidos orgánicos).

El momento dipolar reducido debe evaluarse como:

$$\mu_{p_r} = \frac{\mu_p}{(V_c T_c)^{1/2}} \quad \text{Ec. C46}$$

Para evaluar la integral de colisión se emplea la ecuación empírica propuesta por Neufeld:

$$\Omega_v = 1.16145T^{*-0.14874} + 0.52487 \exp(-0.77320T^*) + 2.16178 \exp(-2.43787T^*), \quad \text{Ec. C47}$$

expresión en la que la temperatura adimensional, T^* , viene dada por:

$$T^* = \frac{kT}{\varepsilon}, \quad \text{Ec. C48}$$

y

$$\frac{\varepsilon}{k} = \frac{T_c}{1.2593}, \quad \text{Ec. C49}$$

luego

$$T^* = 1.2593 \frac{T}{T_c} \quad \text{Ec. C50}$$

La aplicación de las anteriores expresiones es válida si $0 < T^* \leq 100$.

Este método se ajusta bien a los datos experimentales estudiados por Reid (1988), con un error promedio de 1.9%.

2.1.2 Método de Lucas

Lucas propone la siguiente expresión, derivada del método de estados correspondientes:

$$\mu\xi = \left[0.807T_r^{0.618} - 0.357 \exp(-0.449T_r) + 0.340 \exp(-4.058T_r) + 0.018 \right] F_p^o F_Q^o, \quad \text{Ec. C51}$$

en la cual el factor ξ se determina por:

$$\xi = 0.176 \left(\frac{T_c}{M^3 P_c^4} \right)^{1/6} \quad \text{Ec. C52}$$

Los parámetros F_p^o y F_Q^o , que contabilizan los efectos polares y cuánticos, vienen dados por:

$$F_p^o = 1 \quad 0 \leq \mu_{p_r} < 0.022 \quad \text{Ec. C53a}$$

$$F_p^o = 1 + 30.55(0.292 - Z_c)^{1.72} \quad 0.022 \leq \mu_{p_r} < 0.075 \quad \text{Ec. C53b}$$

$$F_p^o = 1 + 30.55(0.292 - Z_c)^{1.72} |0.96 + 0.1(T_r - 0.7)| \quad 0.075 \leq \mu_{p_r} \quad \text{Ec. C53c}$$

En este caso el momento dipolar reducido se determina así:

$$\mu_{p_r} = 52.46 \frac{\mu_p^2 P_c}{T_c^2} \quad \text{Ec. C54}$$

F_Q^o sólo se emplea con gases cuánticos (He, H₂ y D₂), y se calcula como:

$$F_Q^o = 1.22Q^{0.15} \left\{ 1 + 0.00385 \left[(T_r - 12)^2 \right]^{1/2} \text{sign}(T_r - 12) \right\}, \quad \text{Ec. C55}$$

donde $Q = 1.38(\text{He})$, $Q = 0.76(\text{H}_2)$ y $Q = 0.52(\text{D}_2)$, y la función “sign” asume el valor de 1 si $(T_r - 12) > 0$ y -1 en caso contrario.

El error promedio es del 3.0%, ligeramente superior al encontrado con el método de Chung *et al.* El método a emplear es determinado por la disponibilidad de los parámetros requeridos, las consideraciones de polaridad y los efectos cuánticos. A pesar del factor de corrección utilizado en el método de Lucas para contabilizar la polaridad, se presentan errores demasiado altos para moléculas muy polares, mientras que el método de Chung no es adecuado para gases cuánticos.

2.2 MEZCLAS DE GASES

Los métodos para determinar la viscosidad en mezclas de gases muestran la dependencia de la viscosidad con la composición por medio de diferentes reglas de mezcla. De los métodos presentados, aunque el de Reichemberg es el más exacto también es el más complejo y no siempre se cuenta con todos los parámetros requeridos.

2.2.1 Método de Reichemberg

La ecuación general para la viscosidad de la mezcla es:

$$\mu_M = \sum_{i=1}^n K_i \left(1 + 2 \sum_{j=1}^{i-1} H_{ij} K_j + \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ \neq i}}^n H_{ij} H_{ik} K_j K_k \right), \quad \text{Ec. C56}$$

en la cual los parámetros de interacción se determinan como:

$$K_i = \frac{y_i \mu_i}{y_i + \mu_i \sum_{\substack{k=1 \\ \neq i}}^n y_k H_{ik} [3 + (2M_k/M_i)]}, \quad \text{Ec. C57}$$

y

$$H_{ij} = \left[\frac{M_i M_j}{32(M_i + M_j)^3} \right]^{1/2} (C_i + C_j)^2 \frac{[1 + 0.36T_{r_{ij}}(T_{r_{ij}} - 1)]^{1/6} F_{R_{ij}}}{T_{r_{ij}}^{1/2}} \quad \text{Ec. C58}$$

Los factores restantes se definen a continuación:

$$C_i = \frac{M_i^{1/4}}{(\mu_i U_i)^{1/2}} \quad \text{Ec. C59}$$

$$U_i = \frac{[1 + 0.36T_{r_i}(T_{r_i} - 1)]^{1/6} F_{R_i}}{T_{r_i}^{1/2}} \quad \text{Ec. C60}$$

F_{R_i} es un factor de corrección polar, función del momento dipolar reducido y de la temperatura reducida

$$F_{R_i} = \frac{T_{r_i}^{3.5} + (10\mu_{P_{r_i}})^7}{T_{r_i}^{3.5} [1 + (10\mu_{P_{r_i}})^7]} \quad \text{Ec. C61}$$

$F_{R_{ij}}$ se determina de la misma forma que en la ecuación anterior, así que $T_{r_{ij}}$ reemplaza a T_{r_i} y $\mu_{P_{r_{ij}}} = (\mu_{P_{r_i}} \mu_{P_{r_j}})^{1/2}$.

2.2.2 Reglas de mezclado de Wilke

Las reglas de mezclado de Wilke representan una simplificación adicional, pues desprecian los efectos de segundo orden. Wilke propone determinar la viscosidad de la mezcla como:

$$\mu_M = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu_i}{\sum_{j=1}^n y_j \phi_{ij}} \quad \text{Ec. C62}$$

donde:

$$\phi_{ij} = \frac{[1 + (\mu_i / \mu_j)^{1/2} (M_j / M_i)^{1/4}]^2}{[8(1 + M_i / M_j)]^{1/2}} \quad \text{Ec. C63}$$

2.2.3 Reglas de Lucas

En este caso se aplican ciertas reglas de mezclado a las propiedades de los componentes para determinar las propiedades de la mezcla, y la viscosidad se determina por medio de la Ec. C51.

Las reglas a emplear son:

$$T_{c_M} = \sum_i y_i T_{c_i} \quad \text{Ec. C64}$$

$$P_{c_M} = RT_{c_M} \frac{\sum_i y_i Z_{c_i}}{\sum_i y_i V_{c_i}} \quad \text{Ec. C65}$$

$$M_M = \sum_i y_i M_i \quad \text{Ec. C66}$$

$$F_{P_M}^o = \sum_i y_i F_{P_i}^o \quad \text{Ec. C67}$$

y
$$F_{Q_M}^o = \left(\sum_i y_i F_{Q_i}^o \right) A \quad \text{Ec. C68}$$

En esta última expresión A es un factor de corrección que se determina con la ecuación:

$$A = 1 - 0.01 \left(\frac{M_H}{M_L} \right)^{0.87}, \quad \text{Ec. C69}$$

en la cual los subíndices H y L se refieren a los componentes de mayor y de menor peso molecular, respectivamente. Este factor se emplea según se definió en la Ec. C68, siempre y cuando $0.05 < y_H < 0.7$ y $M_H/M_L > 9$; en cualquier otro caso su valor es 1.0.

2.3 LÍQUIDOS

Los métodos presentados a continuación son válidos para temperaturas por encima del punto de fusión hasta temperaturas reducidas alrededor de 0.75.

Adicional a estos métodos la viscosidad de líquidos puede evaluarse a partir de las constantes presentadas por Reid (1977 y 1988), constantes que se emplean en la ecuación:

$$\log(\mu_L) = b \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{a} \right) \quad \text{Ec. C70}$$

2.3.1 Método de Przedziecki y Sridhar

Este método es una modificación de la ecuación de Hildebrand-Batschinski. La fórmula propuesta para determinar la viscosidad de líquidos es:

$$\mu_L = \frac{V_o}{E(V - V_o)}, \quad \text{Ec. C71}$$

en la cual los parámetros E y V_o son definidos así:

$$E = -1.12 + \frac{V_c}{12.94 + 0.10M - 0.23P_c + 0.0424T_f - 11.58(T_f/T_c)} \quad \text{Ec. C72}$$

$$V_o = 0.0085\omega T_c - 2.02 + \frac{V_m}{0.342(T_f/T_c) + 0.894} \quad \text{Ec. C73}$$

Los autores recomiendan evaluar V y V_m por el método de Gunn-Yamada. La ecuación de Przedziecki y Sridhar no debe emplearse para estimar la viscosidad de alcoholes.

2.3.2 Método de Teja y Rice

Para determinar la viscosidad de mezclas líquidas Teja y Rice proponen una expresión derivada de la teoría de estados correspondientes, expresión que genera errores entre el 5 y el 10%:

$$\ln(\mu_M \varepsilon_M) = \ln(\mu \varepsilon)^{(r_1)} + \left[\ln(\mu \varepsilon)^{(r_2)} - \ln(\mu \varepsilon)^{(r_1)} \right] \frac{\omega_M - \omega^{(r_1)}}{\omega^{(r_2)} - \omega^{(r_1)}} \quad \text{Ec. C74}$$

Los superíndices r_1 y r_2 están asociados con los dos fluidos de referencia y ε es un parámetro dado por:

$$\varepsilon = \frac{V_c^{2/3}}{(T_c M)^{1/2}} \quad \text{Ec. C75}$$

Los parámetros de la mezcla se definen como:

$$V_{c_M} = \sum_i \sum_j x_i x_j V_{c_{ij}} \quad \text{Ec. C76}$$

$$T_{c_M} = \frac{\sum_i \sum_j x_i x_j T_{c_{ij}} V_{c_{ij}}}{V_{c_M}} \quad \text{Ec. C77}$$

$$M_M = \sum_i x_i M_i \quad \text{Ec. C78}$$

$$\omega_M = \sum_i x_i \omega_i \quad \text{Ec. C79}$$

$$V_{c_{ij}} = \frac{(V_{c_i}^{1/3} + V_{c_j}^{1/3})^3}{8} \quad \text{Ec. C80}$$

$$T_{c_{ij}} V_{c_{ij}} = \psi_{ij} (T_{c_i} T_{c_j} V_{c_i} V_{c_j})^{1/2} \quad \text{Ec. C81}$$

ψ_{ij} es un parámetro de interacción cuyo valor, que debe determinarse experimentalmente, es cercano a uno. Los valores de viscosidad para los fluidos de referencia en la Ec. C74 se evalúan a una temperatura igual a $T[(T_c)^{(r_1)}/T_{c_m}]$, para (r_1) y a $T[(T_c)^{(r_2)}/T_{c_m}]$, para (r_2) .

3. TENSIÓN SUPERFICIAL

La frontera existente entre las fases líquida y gaseosa, que en ocasiones se considera como una tercera fase, se encuentra formada por una pequeña capa de moléculas donde existen enormes gradientes de densidad y de energía molecular. Las moléculas en esta capa soportan fuerzas de atracción diferentes por parte del líquido y del gas, razón por la cual la capa se encuentra en tensión y tiende a contraerse para ocupar la menor área posible.

El índice más común para representar esta tensión es la tensión superficial (σ), parámetro definido como la fuerza ejercida en el plano de la superficie por unidad de longitud. Para el caso de mezclas de líquidos se emplea la siguiente expresión:

$$\sigma_m^{1/4} = \rho_{L_m} \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i^{1/4} / \rho_{L_i} \quad \text{Ec. C82}$$

La tensión superficial de cada uno de los componentes se determina por alguno de los métodos presentados a continuación.

3.1 Método de Eotvos

Es uno de los primeros métodos de estimación propuestos. La correlación empírica es:

$$\sigma = k_E (T_c - T) / V^{2/3}, \quad \text{Ec. C83}$$

en la que k_E es una constante específica para cada sustancia y V es el volumen molar del líquido. Los valores de k_E con frecuencia son cercanos a 2.12×10^{-3} ; un poco menores para sustancias polares y mayores para compuestos de elevado peso molecular.

Si se reemplaza el término $T_c - T$ por $T_c - T - 6$, se obtiene la correlación de Ramsey-Shield-Eotvos.

3.2 Correlaciones de estados correspondientes

Para líquidos no polares Brock y Bird proponen la expresión:

$$\sigma = P_c^{2/3} T_c^{1/3} (1 - T_r)^{11/9} (0.133 \alpha_c - 0.281), \quad \text{Ec. C84}$$

en la cual P_c debe expresarse en atm y α_c se define como:

$$\alpha_c = 0.9076 \left(1 + \frac{T_{br} \ln P_c}{1 - T_{br}} \right) \quad \text{Ec. C85}$$

Riedel modifica el parámetro α_c así:

$$\alpha_c = \frac{0.315\psi_b + \ln P_c}{0.0838\psi_b - \ln T_{br}} \quad \text{Ec. C86}$$

con ψ_b definido por la expresión:

$$\psi_b = -35 + \frac{36}{T_{br}} + 42 \ln T_{br} - T_{br}^6 \quad \text{Ec. C87}$$

Miller, por su parte, realiza la siguiente modificación a la ecuación original de Brock y Bird:

$$\sigma = P_c^{2/3} T_c^{1/3} (1 - T_r)^{11/9} \left[0.1207 \left(1 + \frac{T_{br} \ln P_c}{1 - T_{br}} \right) - 0.281 \right] \quad \text{Ec. C88}$$

4. DIFUSIVIDAD

Además de considerar las propiedades directamente involucradas en el comportamiento hidráulico de lechos empacados, en el módulo se implementan diversas expresiones para evaluar la difusividad. Así se avanza un paso frente al propósito de emplear estos métodos en una futura ampliación del módulo, que permita cubrir los aspectos de dimensionamiento y diseño que dependen de la velocidad de transferencia de masa.

4.1 DIFUSIVIDAD EN GASES

Las expresiones para estimar los coeficientes de difusión en mezclas binarias de gases que forman parte del módulo se presentan a continuación:

4.1.1 Correlación de Chapman-Cowling

A partir de una simplificación de la teoría cinética se obtiene la ecuación:

$$D_{12} = \frac{1.858 \times 10^{-3} T^{3/2} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2}}{P \lambda_{12}^2 \Omega_D}, \quad \text{Ec. C89}$$

en la que la integral de colisión se determina por medio de la expresión de Neufeld, Janzen y Aziz:

$$\Omega_D = \frac{1.06036}{T^{*0.1561}} + \frac{0.193}{\exp(0.47635T^*)} + \frac{1.03587}{\exp(1.52996T^*)} + \frac{1.76474}{\exp(3.89411T^*)} \quad \text{Ec. C90}$$

T^* se evalúa de igual forma que en la Ec. C50, pero T_c se reemplaza por $(T_{c1}T_{c2})^{1/2}$, y el diámetro de colisión se determina como el promedio de la separación entre los centros de las moléculas de cada especie:

$$\lambda_{12} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2} \quad \text{Ec. C91}$$

Dado que, en general, se desconoce el parámetro de longitud característica, para estimarlo se emplea la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{5}{6} V_c^{1/3}, \quad \text{Ec. C92}$$

La aplicación del método de Chapman-Cowling se encuentra limitada a mezclas de gases no polares.

4.1.2 Modificación de Wilke-Lee

Wilke y Lee (1955) proponen una ecuación que resulta de modificar la constante en la expresión de Chapman-Cowling:

$$D_{12} = \left(2.17 \times 10^{-3} - 5.0 \times 10^{-4} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2} \right) \frac{T^{3/2} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2}}{P \lambda_{12}^2 \Omega_D} \quad \text{Ec. C93}$$

Al igual que la ecuación original, la modificación de Wilke sólo es válida para sistemas de gases no polares.

4.1.3 Modificación de Brokaw para gases polares

Para mezclas de gases polares y de gases no polares con gases polares Brokaw propone la siguiente modificación a la expresión de Chapman-Cowling:

$$D_{12} = \frac{1.858 \times 10^{-3} T^{3/2} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2}}{P \lambda_{12}^2 \left(\Omega_D + 0.19 \delta_{12}^2 T^{*-1} \right)}, \quad \text{Ec. C94}$$

en la cual δ_{12} es un factor de interacción polar que se determina como:

$$\delta_{12} = (\delta_1 \delta_2)^{1/2}, \quad \text{Ec. C95}$$

a partir de los parámetros polares de cada especie estimados con la expresión:

$$\delta = \frac{1940\mu_p^2}{V_b T_b} \quad \text{Ec. C96}$$

En la ecuación de Brokaw, que se reduce a la de Chapman-Cowling si el momento dipolar es cero, el volumen molar en el punto normal de ebullición se evalúa por medio de la expresión de Tin-Calus (Ec. C35).

4.1.4 Correlación de Fuller-Schettler-Giddings

Los autores desarrollan la siguiente correlación empírica:

$$D_{12} = \frac{1 \times 10^{-3} T^{1.75} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2}}{P \left[\left(\sum_1 v_i \right)^{1/3} + \left(\sum_2 v_i \right)^{1/3} \right]^2}, \quad \text{Ec. C97}$$

en la cual $\sum v_i$ es el volumen molecular de difusión, que debe calcularse a partir de las contribuciones atómicas que se presentan en las tablas siguientes, reportadas por Taylor y Krishna (1993):

Tabla C.2 Incrementos en el volumen de difusión			
C	15.9	F	14.7
H	2.31	Cl	21.0
O	6.11	Br	21.9
N	4.54	I	29.8
S	22.9	Anillo aromático	-18.3
		Anillo heterocíclico	-18.3

Tabla C.3 Volúmenes de difusión para moléculas simples			
He	2.67	CO	18.0
Ne	5.98	CO ₂	26.7
Ar	16.2	N ₂ O	35.9
Kr	24.5	NH ₃	20.7
Xe	32.7	H ₂ O	13.1
H ₂	6.12	SF ₆	71.3
D ₂	6.84	Cl ₂	38.4
N ₂	18.5	Br ₂	69.0
O ₂	16.3	SO ₂	41.8
Aire	19.7		

4.1.5 Ley de Blanc para mezclas multicompuestas

La difusividad en sistemas multicompuestos puede evaluarse a partir de la difusividad de cada par binario por medio de la Ley de Blanc:

$$D_{iM} = \left(\sum_{j \neq i} \frac{y_j}{D_{ij}} \right)^{-1} \quad \text{Ec. C98}$$

4.2 DIFUSIVIDAD EN LÍQUIDOS

Para determinar la difusividad en líquidos es necesario primero determinar la viscosidad de la mezcla o del solvente, dado que en general las expresiones que se presentan a continuación permiten estimar el coeficiente de difusión a dilución infinita. La viscosidad puede calcularse con alguno de los métodos presentados en la Sección 2.3.

4.2.1 Correlaciones generales para sistemas polares y no polares

Las primeras cuatro correlaciones (a, b, c y d) se aplican a soluciones diluidas de no electrolitos.

a. Correlación de Wilke-Chang

Recomendada cuando la viscosidad del solvente es media o baja ($\mu_2 \leq 100\text{cP}$):

$$D_{12}^o = 7.4 \times 10^{-8} \frac{(\varphi M_2)^{1/2} T}{\mu_2 V_{b1}^{0.6}} \quad \text{Ec. C99}$$

Los factores de asociación, φ , para algunos solventes comunes se presentan en la Tabla C.4. Para solventes no asociados $\varphi = 1.0$.

Tabla C.4 Factores de Asociación para la ecuación de Wilke y Chang

<i>Factores de Asociación</i>	
H ₂ O	2.6
CH ₃ OH	1.9
C ₂ H ₆ O	1.5
Propil-Alcoholes	1.2

Algunos autores (Reid, 1977 y 1987) recomiendan no emplear la expresión de Wilke y Chang cuando el agua es el soluto, mientras otros proponen corregir los resultados obtenidos con el factor 1/2.3.

b. Correlación de Scheibel

$$D_{12}^o = 8.2 \times 10^{-8} \mu_2^{-1} V_{b1}^{-1} \left(1 + \left(\frac{3V_{b2}}{V_{b1}} \right)^{1/3} \right) T, \quad \text{Ec. C100}$$

c. Correlación de Reddy-Doraiswamy

$$D_{12}^o = \zeta M_2^{1/2} \mu_2^{-1} (V_{b2} V_{b1})^{-1/3} T, \quad \text{Ec. C101}$$

En ecuación:

$$\zeta = 8.5 \times 10^{-8} \text{ si } \left(\frac{V_{b1}}{V_{b2}} \right) \leq 1.5 \quad \text{Ec. C102a}$$

o, en otro caso

$$\zeta = 1 \times 10^{-7} \quad \text{Ec. C102b}$$

d. Correlación de Lysis-Ratcliff

$$D_{12}^o = 8.52 \times 10^{-8} \mu_2^{-1} V_{b2}^{-1/3} \left(1.4 \left(\frac{V_{b1}}{V_{b2}} \right)^{1/3} + \frac{V_{b1}}{V_{b2}} \right) T, \quad \text{Ec. C103}$$

e. Correlación de Siddiqi-Lucas

$$D_{12}^o = 9.89 \times 10^{-8} \mu_2^{-0.907} V_{b1}^{-0.45} V_{b2}^{0.265} T, \quad \text{Ec. C104}$$

aplicable en sistemas no acuosos polares y no polares.

f. Correlación de Hayduk-Minhas

$$D_{12}^o = 13.3 \times 10^{-8} V_{b1}^{-0.71} \mu_2^{(10.2/V_{b1} - 0.791)} T^{1.47}, \quad \text{Ec. C105}$$

desarrollada para n-Alcanos

g. Correlación de King-Hsueh-Mao

$$D_{12}^o = 4.4 \times 10^{-8} \mu_2^{-1} \left(\frac{V_{b2}}{V_{b1}} \right)^{1/6} \left(\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} \right)^{1/2} T, \quad \text{Ec. C106}$$

limitada a sistemas no acuosos y válida sólo si

$$\Psi = 4.4 \times 10^{-8} \left(\frac{V_{b2}}{V_{b1}} \right)^{1/6} \left(\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} \right)^{1/2} \geq 1.5 \times 10^{-7} \quad \text{Ec. C107}$$

La literatura recomienda emplear con precaución los resultados que se obtienen con esta correlación dada la pobre precisión que se alcanza para la gran mayoría de sistemas.

4.2.2 Correlaciones para mezclas acuosas

Las siguientes expresiones sólo son válidas para soluciones diluidas en las cuales el agua es el solvente.

a. Correlación de Hayduk-Laudie

$$D_{12}^o = 13.26 \times 10^{-5} \mu_2^{-1.14} V_{b1}^{-0.589} \quad \text{Ec. C108}$$

b. Correlación de Hayduk-Minhas

$$D_{12}^o = 1.25 \times 10^{-8} \left(V_{b1}^{-0.19} - 0.292 \right) \mu_2^{\left(\frac{9.58}{V_{b1}} - 1.12 \right)} T^{1.52} \quad \text{Ec. C109}$$

c. Correlación de Siddiqi-Lucas

$$D_{12}^o = 2.98 \times 10^{-7} \mu_2^{-1.026} V_{b1}^{-0.5473} T \quad \text{Ec. C110}$$

4.2.3 Difusividad en sistemas multicompuestos

Para evaluar la difusividad de mezclas líquidas multicompuestas se han propuesto dos expresiones. La primera es una regla de mezcla que requiere conocer la difusividad de cada par binario. La segunda es, sencillamente, una modificación de la correlación de Wilke y Chang.

a. Perkins-Geankopolis

$$D_{iM} = \frac{\sum_{j \neq i} \frac{x_j}{D_{ij}} \mu_j^{0.8}}{\mu_M^{0.8}} \quad \text{Ec. C111}$$

b. Modificación de Perkins-Geankopolis a la ecuación de Wilke-Chang

$$D_{iM} = 7.4 \times 10^{-8} \frac{\left(\sum_{j \neq i} x_j \phi_j M_j \right)^{1/2} T}{\mu_M V_{bi}^{-0.6}}$$

Ec. C112

Nomenclatura

D_{12}	Difusividad binaria de la especie 1 en la especie 2 (cm ² /s)
D_{12}^o	Difusividad binaria de la especie 1 en la especie 2 a dilución infinita (cm ² /s)
k	Constante de Boltzmann
M	Peso molecular (g/mol)
P	Presión absoluta (Atm)
P_c	Presión crítica (bar)
P_{vp}	Presión de vapor (bar)
R	Constante de los gases
T	Temperatura absoluta (K)
T_b	Temperatura normal de ebullición (a 1 atmósfera de presión) (K)
T_{br}	Temperatura de ebullición reducida
T_c	Temperatura crítica (K)
T_r	Temperatura reducida
v_i	Volumen de difusión en la correlación de Fuller <i>et al</i> (Contribución) (cm ³ /mol)
V	Volumen Molar (cm ³ /mol)
V_b	Volumen molar a la temperatura normal de ebullición (cm ³ /mol)
V_c	Volumen molar en el punto crítico (cm ³ /mol)
V_r	Volumen molar reducido
y	Fracción molar en fase gaseosa
x	Fracción molar en la fase líquida
Z_c	Compresibilidad en el punto crítico

Letras Griegas

δ	Parámetro de interacción polar
ΔH	Calor latente de vaporización en el punto normal de ebullición
ε	Parámetro de energía molecular
ϕ	Factor de asociación del solvente
λ	Longitud característica de colisión (Angstroms)

μ	Viscosidad (cP)
μ_p	Momento dipolar (Debyes)
μ_{p_r}	Momento dipolar reducido
ρ	Densidad
ρ_c	Densidad en el punto crítico
ρ_s	Densidad molar del líquido saturado
σ	Tensión superficial
ω	Factor acéntrico de Pitzer
Ω_D	Integral de colisión de difusión
Ω_V	Integral de colisión para viscosidad

Subíndices

1, 2	Índice del componente
i, j, k	Índice del componente
L	Líquido
M	Mezcla

Superíndices

R	Sustancia de referencia
r_1, r_2	Componente de referencia 1 y 2

D. MANUAL DEL USUARIO

UN HydraulPack

MANUAL DEL USUARIO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Santafé de Bogotá

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Agosto, 2003



Nota general: Los cuadros de diálogo y las ventanas que se presentan a continuación son generados por el sistema operativo y por consiguiente la apariencia real dependerá del sistema operativo instalado en su computador, y de la configuración de pantalla empleada.

Contenido

Instalación

Requisitos del sistema	5
Instalación de un _HydraulPack	6
Desinstalación	7
Solución de problemas	8

Introducción

La interfaz MDI	9
Barras de herramientas y menús	10
Menús contextuales y barra de estado	13

Inicio, guardado y cierre de proyectos

Crear un nuevo proyecto	15
Abrir un proyecto existente	16
Definir el sistema de unidades	17
Cambiar las opciones y preferencias	18
Guardar los cambios realizados	19

Selección de empaques

Explorador de empaques	21
Ver las propiedades del empaque	22
Modificar las propiedades	23
Definir un nuevo empaque	24

Selección de componentes

Banco de compuestos	26
Incluir sustancias a la simulación	27
Eliminar sustancias de la simulación	28
Ver y modificar los parámetros de las sustancias	28
Definir nuevas sustancias	29

Ejecución de proyectos	
Definición de datos básicos	31
Datos de corrientes	32
Selección de correlaciones	33
Ver los resultados	33
 Estimación de propiedades	 35
 Fundamentos del cálculo realizado	 36

Instalación

En esta sección usted aprenderá a instalar, actualizar y reparar **un**_HydrauliPack en su ordenador.

Requisitos del sistema

Antes de instalar **un**_HydrauliPack debe asegurarse que su equipo reúne los siguientes requisitos mínimos recomendados:

- Sistema Operativo: Windows NT 4.0
Windows 98
Windows ME
Windows 2000
Windows XP
- Procesador: Pentium 233, AMD, Celeron o equivalente
- Memoria RAM: 32 MB
- Video: 800x600 VGA con resolución de 256 colores
- CD-ROM: Unidad multilectora (necesaria durante la instalación)
- Acceso a datos: MDAC 5.0 (Se incluye con el CD de instalación)

Instalación y Actualización de **un**_Hydraulipack

- ✓ Antes de iniciar la instalación asegúrese de tener derechos de escritura en:

- La unidad donde desea instalar **un**_Hydraulipack
- El registro del sistema
- La carpeta Windows System

Nota 1: Para poder instalar **un**_Hydraulipack debe contar con derechos de administrador o usuario avanzado para escribir en el registro del sistema.

Nota 2: El contenido de este ítem se refiere a la posibilidad de instalar el programa en computadores de uso compartido, normalmente de carácter público. Por ejemplo, en los computadores de las salas de la Universidad Nacional.

- ✓ Cierre todas las aplicaciones abiertas.
- ✓ Introduzca el CD de instalación de **un**_Hydraulipack 1.0 en la unidad de CD-ROM.

Nota: La instalación debe iniciarse de forma automática. De no ser así presione dos veces el icono setup.exe desde el explorador de Windows, o seleccione *Reproducción automática*, en la unidad de CD-ROM.

- ✓ Siga las instrucciones que se presentan en los cuadros de diálogo de la instalación.
- ✓ Una vez terminada la instalación comience a descubrir **un**_Hydraulipack 1.0

Desinstalación de **un**_HydraulPack

Para desinstalar el programa de su computador es recomendable que emplee la aplicación *Agregar o quitar programas* del **Panel de control** de Windows; de otra forma algunos archivos o componentes no se eliminarán completamente.

En el **Panel de control** seleccione *Agregar o quitar programas* y escoja *Cambiar o quitar un*_HydraulPack 1.0.

Solución de Problemas

A continuación se presentan la forma de solucionar los problemas más comunes durante la instalación. Si usted tiene un problema no listado aquí, por favor comuníquese con nosotros para recibir soporte: unHydrauliPack@excite.com.

Conflicto de versiones: ocurre cuando se está copiando un componente de una versión anterior al instalado en el equipo. Basta con presionar *Si* (conservar el archivo) y continuar con la instalación.

Error al registrar un archivo: son múltiples las causas de este error pero, dado que no se trata de una parte vital para la instalación de la aplicación, simplemente presione el botón *Omitir*.

Infracción al copiar en la carpeta Windows\System: si está intentando instalar **un**_HydrauliPack sin contar con privilegios de administrador del equipo, es probable que se le informe repetidamente acerca de este error. Si bien puede omitirlo, lo mejor es que instale la aplicación como administrador, ya que podría no funcionar correctamente una vez finalizada la instalación.

Introducción

En las siguientes secciones se describe cada una de las ventanas y herramientas que constituyen la interfaz de la aplicación.

un HydraulPack posee las características más comunes de las aplicaciones Windows, con una interfaz de documentos múltiples, barras de herramientas y menús que facilitan la ejecución de comandos y funciones específicas, y otros menús sensibles al contexto con un simple clic con el ratón. También se ofrece información en línea sobre la aplicación y las herramientas por medio de la barra de estado.

La interfaz MDI

La interfaz de usuario de múltiples documentos (MDI) permite a la aplicación manejar varias ventanas a la vez, sin que éstas se encuentren dispersas en la pantalla. En la figura 1 se muestran diferentes ventanas abiertas, contenidas en el documento principal.

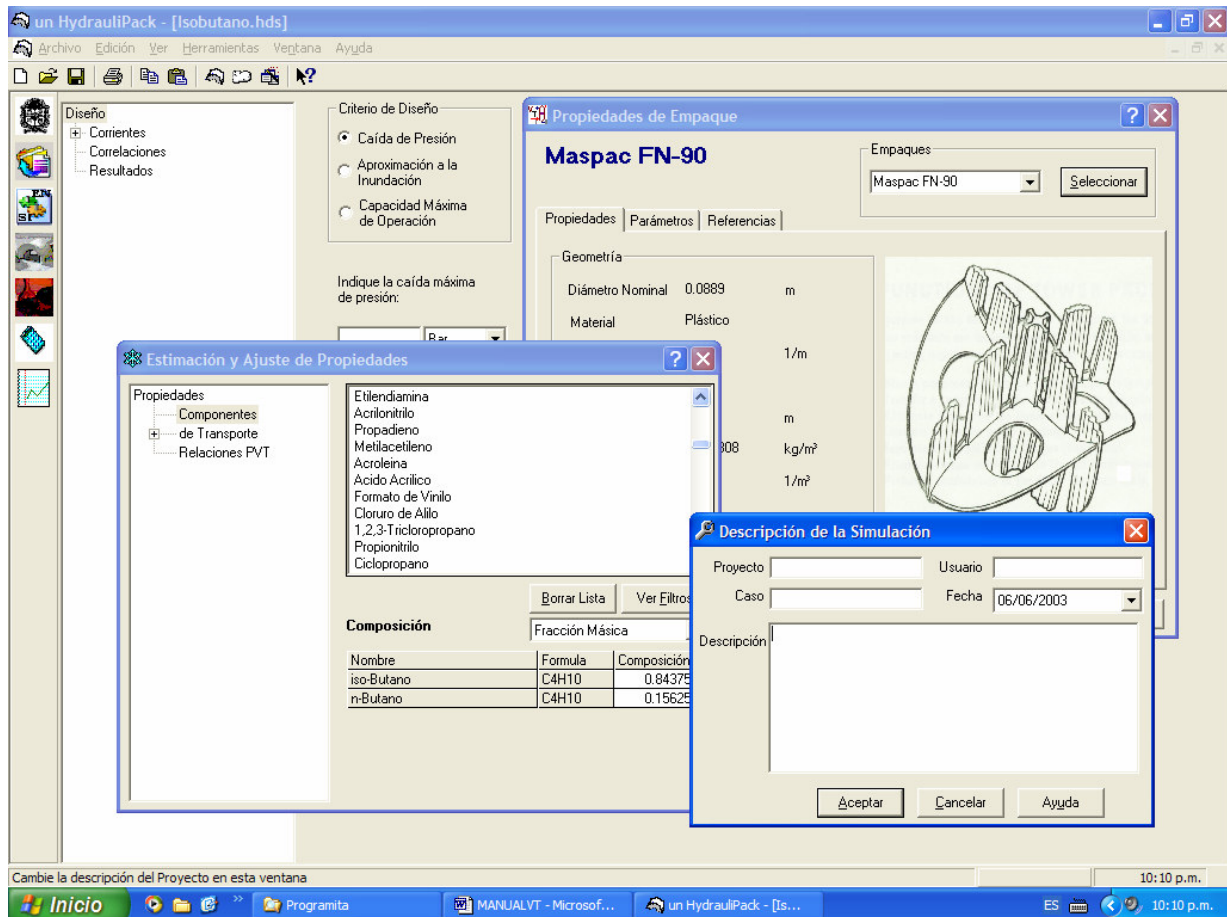


Figura 1. Interfaz de Usuario

Barras de herramientas y Menús

En el formulario principal se incluye una barra de herramientas y una de menús, desde las cuales puede accederse a todos los formularios y funciones incorporados en un_HydraulPack.

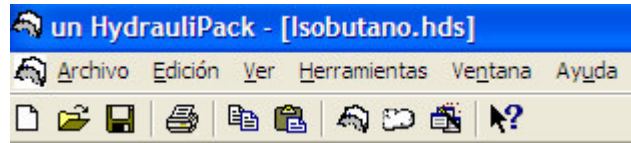






Figura 2. Barras de herramientas y de menús






También se incluye una barra lateral desde la cual se tiene acceso a las principales ventanas de la aplicación.



Figura 3. Barra lateral

A continuación se describe cada uno de los botones de estas barras:

-  Nuevo: abre un nuevo proyecto.
-  Abrir: abre un proyecto existente.
-  Guardar: guarda el proyecto abierto en la ubicación especificada. Si no se ha guardado previamente el proyecto, se solicita indicar el nombre y ubicación del archivo.
-  Imprimir: genera una hoja en Excel, con los resultados del caso actual.

-  Copiar: copia el texto seleccionado al portapapeles de Windows.
-  Pegar: pega el contenido del portapapeles en el cuadro o control seleccionado.
-  Detalles de empaque: muestra las propiedades del empaque seleccionado.
-  Sustancias: abre la ventana desde donde se seleccionan las sustancias para la simulación.
-  Administrar base de datos: abre el administrador de datos, desde el cual puede alternarse el uso de datos definidos por el usuario o los incluidos originalmente en el programa.



Ayuda ¿Qué es esto?: remite a un tema específico de la ayuda.



Escudo de la Universidad Nacional de Colombia: abre el sitio de Internet de la UN.



Descripción del proyecto: abre la ventana desde la cual se agrega o modifica la descripción del proyecto.



Sistema de unidades: permite modificar las unidades empleadas en la simulación.



Empaques: abre el explorador de empaques, para seleccionar o cambiar el empaque.



Sustancias: remite al banco de compuestos para modificar o seleccionar los componentes para la simulación.



Estimar propiedades: abre la ventana de estimación de propiedades.



Generar reporte: crea un reporte del cálculo en una hoja de Excel.

Los siguientes son los menús a los que puede accederse desde la barra correspondiente:

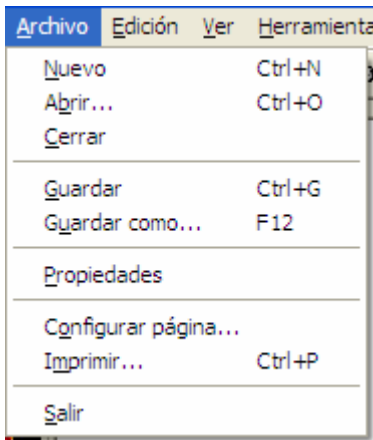


Figura 4 Menú Archivo

En el menú Archivo se incluyen las funciones para el manejo de proyectos: creación, apertura, cierre, guardado e impresión.

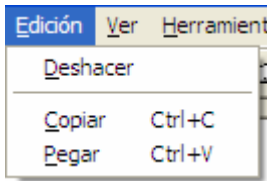


Figura 5 Menú Edición

Este menú permite copiar y pegar datos entre la aplicación y el portapapeles de Windows, y deshacer acciones específicas en algunos cuadros de texto.

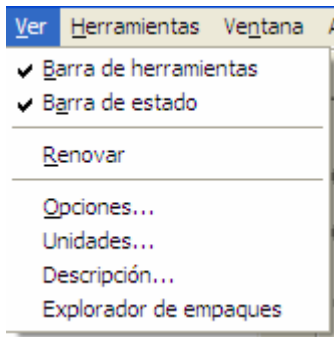


Figura 6 Menú Ver

Desde el menú Ver puede accederse a las principales ventanas de la aplicación, ocultar o mostrar las barras de herramienta y de estado y renovar un formulario modificado desde otra ventana, pero que no se ha actualizado.

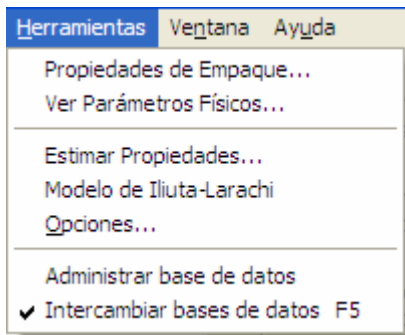


Figura 7 Menú Herramientas

El menú Herramientas facilita el acceso a las ventanas de propiedades de empaque y de sustancias, al formulario de estimación de propiedades, al cuadro de opciones y al administrador de base de datos. Desde este menú también se accede a la hoja de cálculo del modelo de Iliuta y Larachi para empaques estructurados.

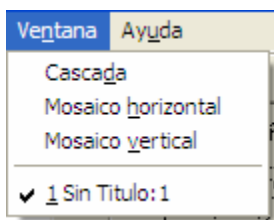


Figura 8 Menú Ventana

Desde aquí se alternan las ventanas activas, y se organizan todas las ventanas abiertas en la aplicación.

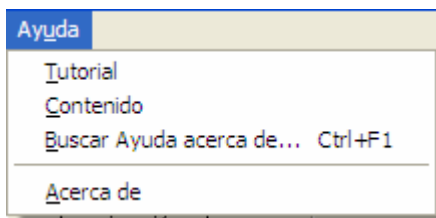


Figura 9 Menú Ayuda

En este menú se activa el archivo de ayuda de UN HydraulPack, en un tópico específico o en el tutorial de cálculo. También se presenta el cuadro Acerca de.

Menús contextuales y barra de estado

Algunas funciones específicas se presentan en forma de menús sensibles al contexto, presionando el botón secundario del ratón. La información relativa al estado del proyecto se presenta en la barra inferior de la aplicación. Además, se presenta información adicional sobre cada control, como texto emergente, con sólo dejar el ratón quieto por unos segundos sobre el mismo.

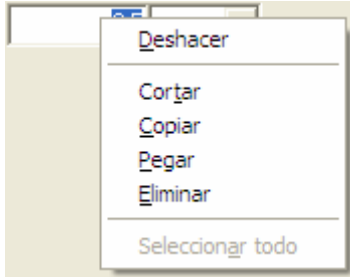


Figura 10 Menú emergente de edición

Este menú se presenta al hacer clic sobre cualquier cuadro de texto editable. Desde él se tiene acceso a todas las funciones del menú edición y otras adicionales (seleccionar, cortar y eliminar).

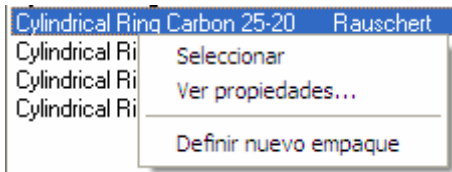


Figura 11 Menú emergente sobre empaques

Cuando se presiona el botón secundario del ratón sobre un empaque, en la ventana de exploración de empaques se presenta el menú mostrado en la figura. Desde éste puede accederse a las ventanas de propiedades o definición de empaques.

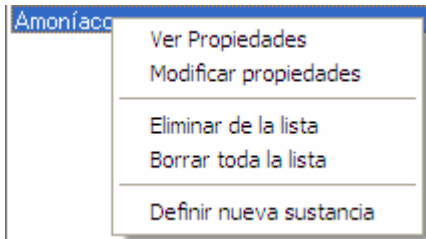


Figura 12 Menú emergente sobre sustancias

Este menú se despliega al presionar el botón secundario del ratón sobre una sustancia en el banco de compuestos, y permite ver, modificar o definir las propiedades y parámetros de una sustancia. También permite agregar o eliminar un componente a la lista de sustancias seleccionadas.

La barra de estado está formada por tres paneles. El primero, a la izquierda, brinda información sobre el uso de las ventanas y el avance del proyecto. El panel central sólo se activa al terminar la ejecución de un cálculo e informa si los resultados se encuentran disponibles, si no fue posible terminar la operación, o si los resultados obtenidos tienen errores. El último panel indica la hora del sistema.

Figura 13 Barra de estado





Figura 14 Ejemplo de etiquetas de información.

Al detenerse por unos segundos con el ratón sobre un control o etiqueta, se activa la ayuda de texto emergente, como se muestra en la figura

Inicio, guardado y cierre de proyectos

En esta sección se describen los pasos necesarios para administrar los proyectos en **un**_HydrauliPack. Para mayor información puede remitirse a la ayuda de la aplicación, presionando la tecla de función **F1**, desde cualquier ventana.


Crear un nuevo proyecto

Al iniciar **un**_HydrauliPack desde el icono del menú inicio, o desde el explorador de Windows, se presenta el siguiente cuadro de bienvenida, desde el cual puede abrirse un proyecto existente o crearse uno nuevo. También puede iniciarse la guía tutorial desde esta ventana.



Figura 15 Ventana de inicio

Para crear un proyecto nuevo desde la ventana de inicio, presione dos veces el icono **Hidráulica** o seleccione el icono correspondiente y presiones el botón **Aceptar**.

Una vez iniciada la aplicación puede crearse un nuevo proyecto, siempre y cuando no se tenga otro abierto, presionando el botón **Nuevo** en la barra de herramientas, , o desde el menú **Archivo**, submenú **Nuevo**.

Al iniciar un nuevo proyecto se presenta la ventana **Descripción**, en donde se indica el nombre del proyecto, el caso bajo estudio, el nombre del usuario y la descripción general. Esta información se usa para generar el reporte.

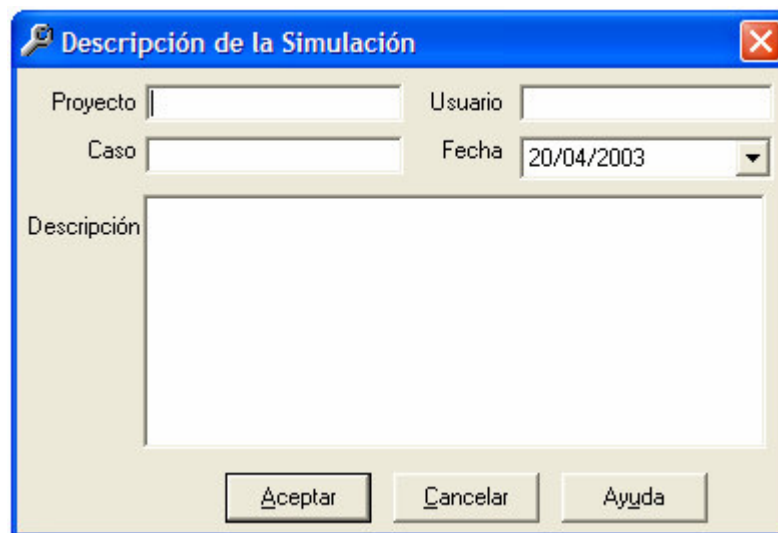


Figura 16 Ventana *Descripción de la Simulación*

Abrir un proyecto existente

Si previamente se han creado y guardado proyectos de **un_HydraulPack**, éstos pueden abrirse desde el cuadro de inicio de sesión o presionando el botón **Abrir** de la barra de herramientas o desde el submenú **Abrir** del menú **Archivo**.

En la ventana de inicio active la ficha **Existente**, y seleccione la unidad y carpeta donde está ubicado el archivo y luego haga doble clic sobre el archivo que desea abrir.

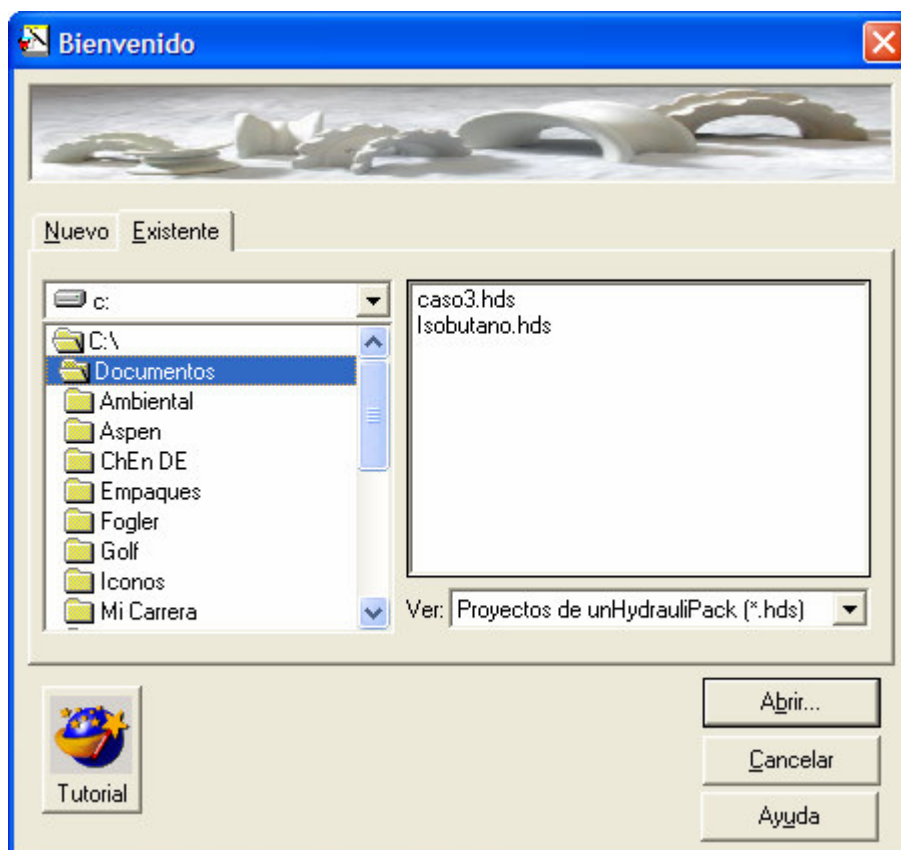


Figura 17 Abrir un proyecto desde la *Ventana de inicio*

En el cuadro de diálogo *Abrir*, que se activa desde el menú *Archivo* o al presionar el botón *Abrir*, siga los mismos pasos que en el caso de la ventana de inicio.

Definir el sistema de unidades

Al iniciar un nuevo proyecto usted puede definir el sistema, o la combinación, de unidades que desee emplear. En cualquier otro momento para este propósito debe presionar el botón *Sistema de unidades* en la barra lateral. Las unidades seleccionadas en esta ventana se emplearán en los reportes impresos, y en la presentación de resultados, pero usted puede ingresar los valores requeridos para la simulación en cualquier otra unidad de medida, al desplegar la lista ubicada a la derecha de cada caja de texto. Internamente unHydrauliPack convierte los valores ingresados a la unidad correspondiente en el sistema internacional.



Figura 18 Ventana para seleccionar las unidades de medida

Cambiar las opciones y preferencias

Las opciones generales de cálculo y las preferencias en el uso de correlaciones para la estimación de propiedades, y el cálculo de la hidráulica, pueden modificarse en el cuadro de diálogo *Opciones* del menú *Ver*.

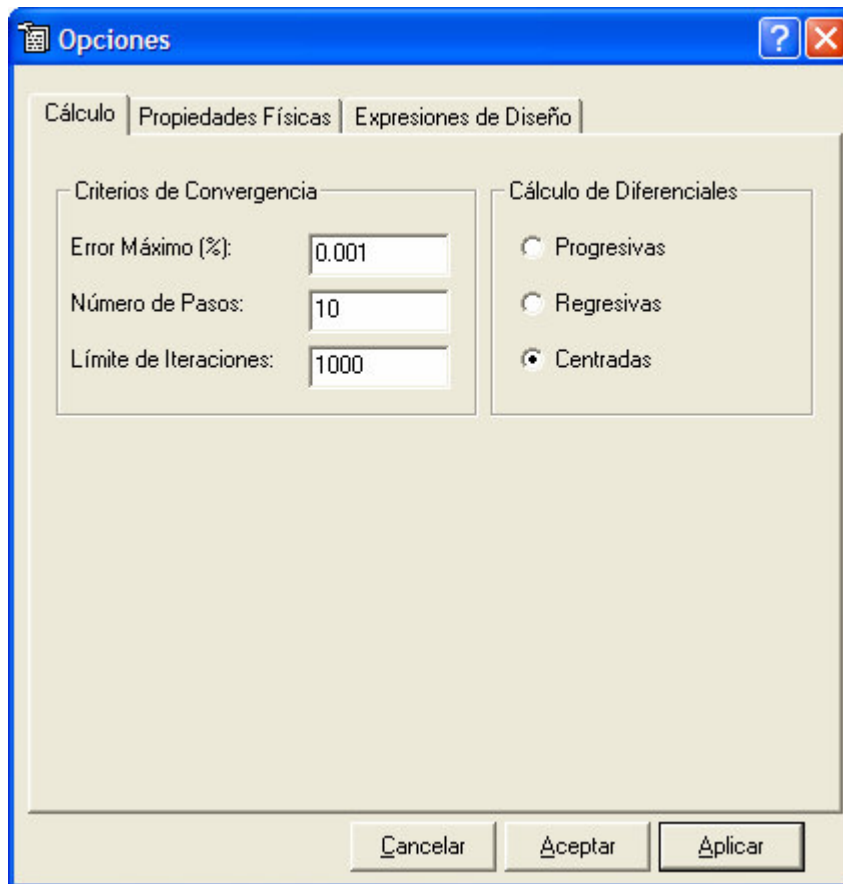


Figura 19 Cuadro de diálogo *Opciones*

Las opciones y preferencias modificadas desde esta ventana se guardan en el registro del sistema de Windows al cerrar la aplicación, y se recuperan al iniciar.

Guardar los cambios realizados

En cualquier momento es posible guardar los cambios realizados en un proyecto, bajo la misma denominación o con otra.

Al presionar el botón **Guardar** de la barra de herramientas se inicia el proceso de guardado con el nombre actual. Si se trata de un proyecto nuevo, y no se ha definido el nombre y ubicación del archivo, se invoca el cuadro de diálogo **Guardar como**.

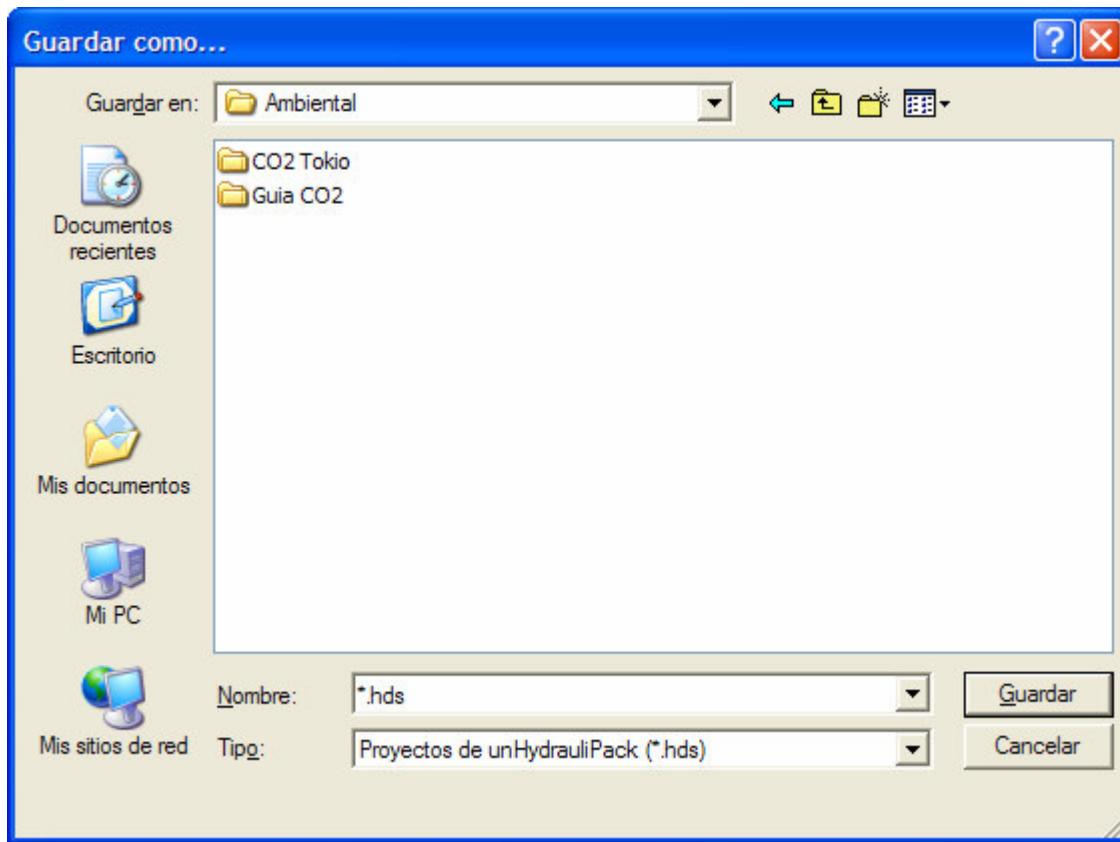


Figura 20 Cuadro de diálogo *Guardar como...*

Este cuadro puede iniciarse desde el menú *Archivo* o presionando la tecla F12.

Selección de empaques

El primer paso para iniciar un nuevo cálculo es seleccionar el empaque. A continuación se presenta la forma de seleccionar un empaque, de ver o modificar sus propiedades, y de incluir uno nuevo en la base de datos.

Explorador de empaques

El explorador de empaques es una ventana con un diseño similar al explorador clásico de Windows. En el panel izquierdo se encuentran los diferentes empaques organizados por material, proveedor o generación, en dos grandes categorías: al azar y estructurados.

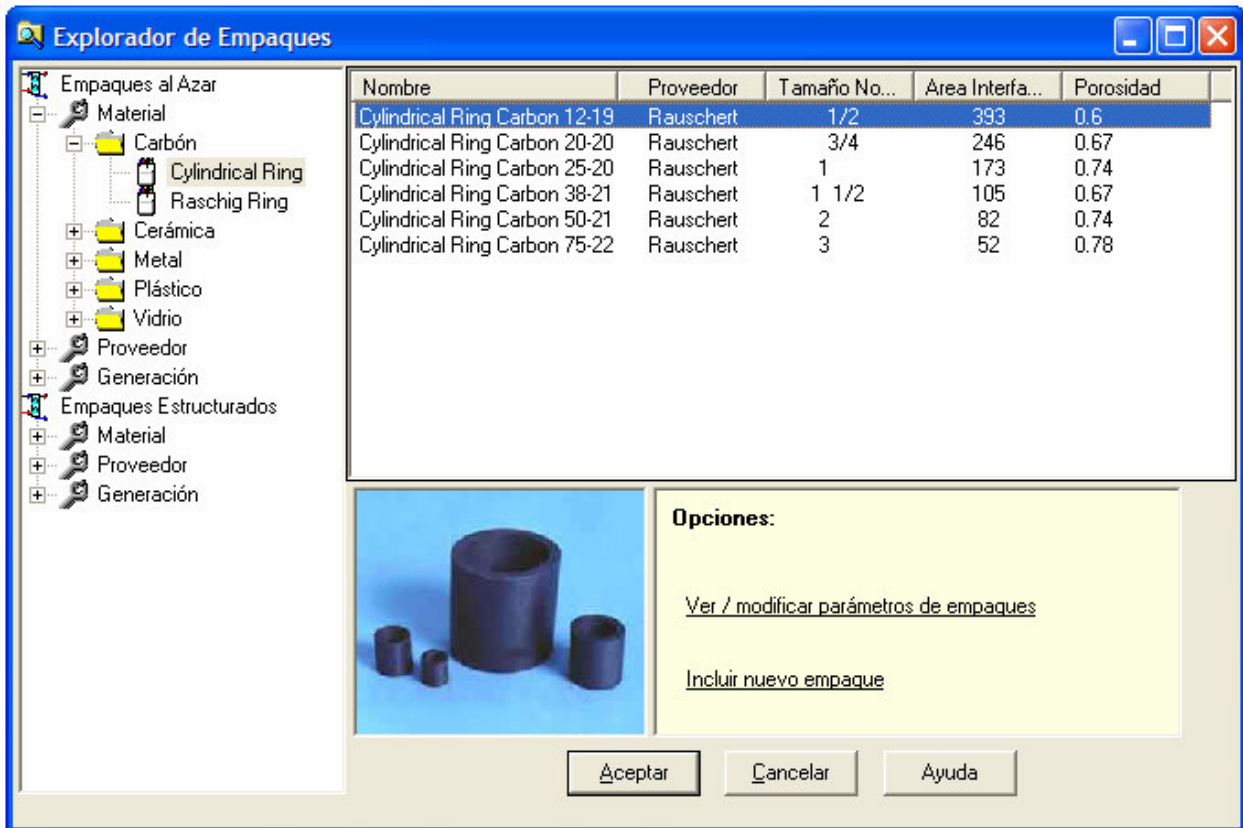


Figura 21 Explorador de Empaques

En el panel derecho se listan los diferentes tamaños disponibles para el tipo de empaque seleccionado, junto con el área superficial específica y la porosidad correspondientes.

Para seleccionar un empaque, ubique el tipo por material, proveedor o generación y luego seleccione el tamaño deseado. Presione el botón **Aceptar** o la tecla **Entrar**.

Si hace doble clic sobre un empaque se seleccionará y se abrirá la ventana de **Propiedades de empaque**.

Ver las propiedades del empaque

Las propiedades del empaque seleccionado pueden verse desde el menú **Herramientas** o al hacer doble clic sobre un empaque en el **Explorador de empaques**.

En esta ventana se presentan las características geométricas del empaque, los parámetros empleados para su evaluación, las referencias de donde se toma la información, y la guía necesaria para contactar al fabricante o proveedor.

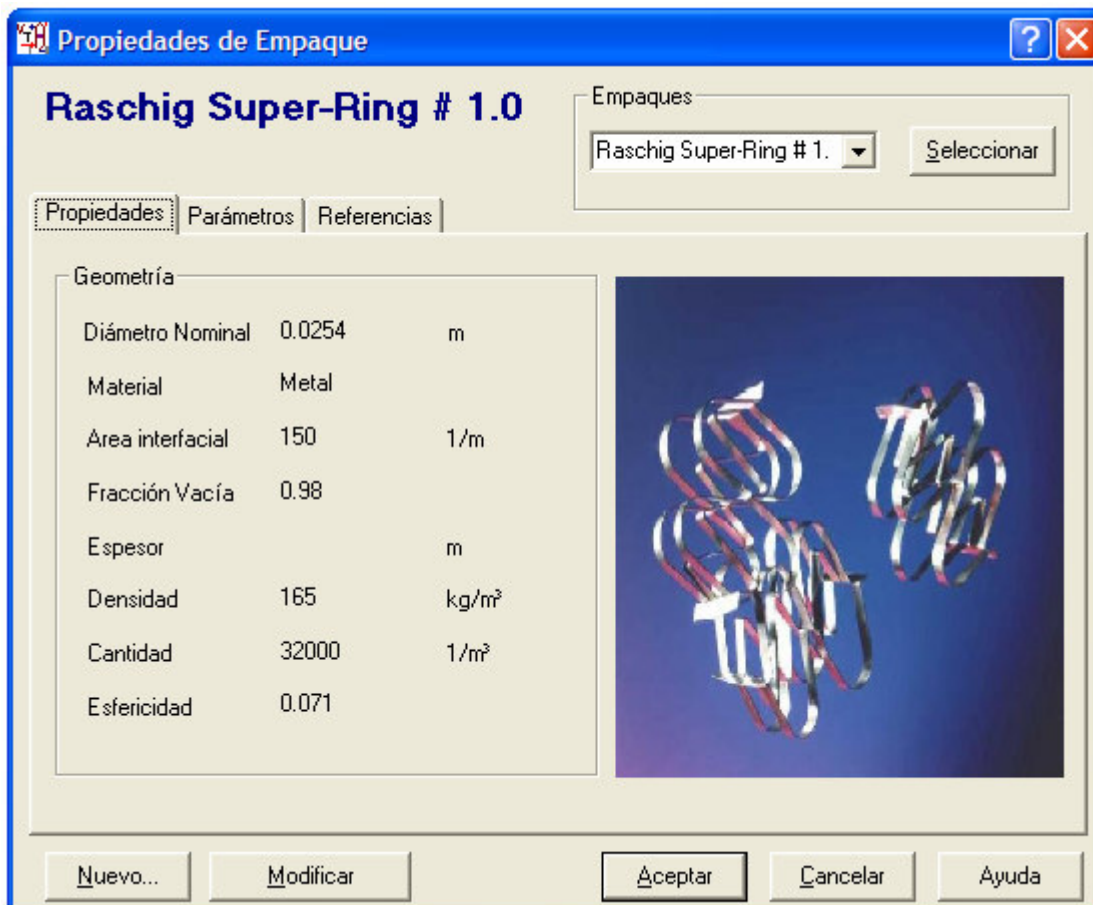


Figura 22 Ventana *Propiedades de Empaque*

Desde esta ventana puede cambiarse el empaque seleccionado por medio de la lista desplegable ubicada en la parte superior derecha.

Modificar las propiedades

Al presionar el botón **Modificar** en la ventana *Propiedades de Empaque* se activan las cajas de texto para su edición, y el nombre del botón cambia a Guardar **Cambios**, como se muestra en la figura. Al modificar el contenido de una o más cajas de texto, el empaque cambiará su nombre y se almacenará en la base de datos de usuario.

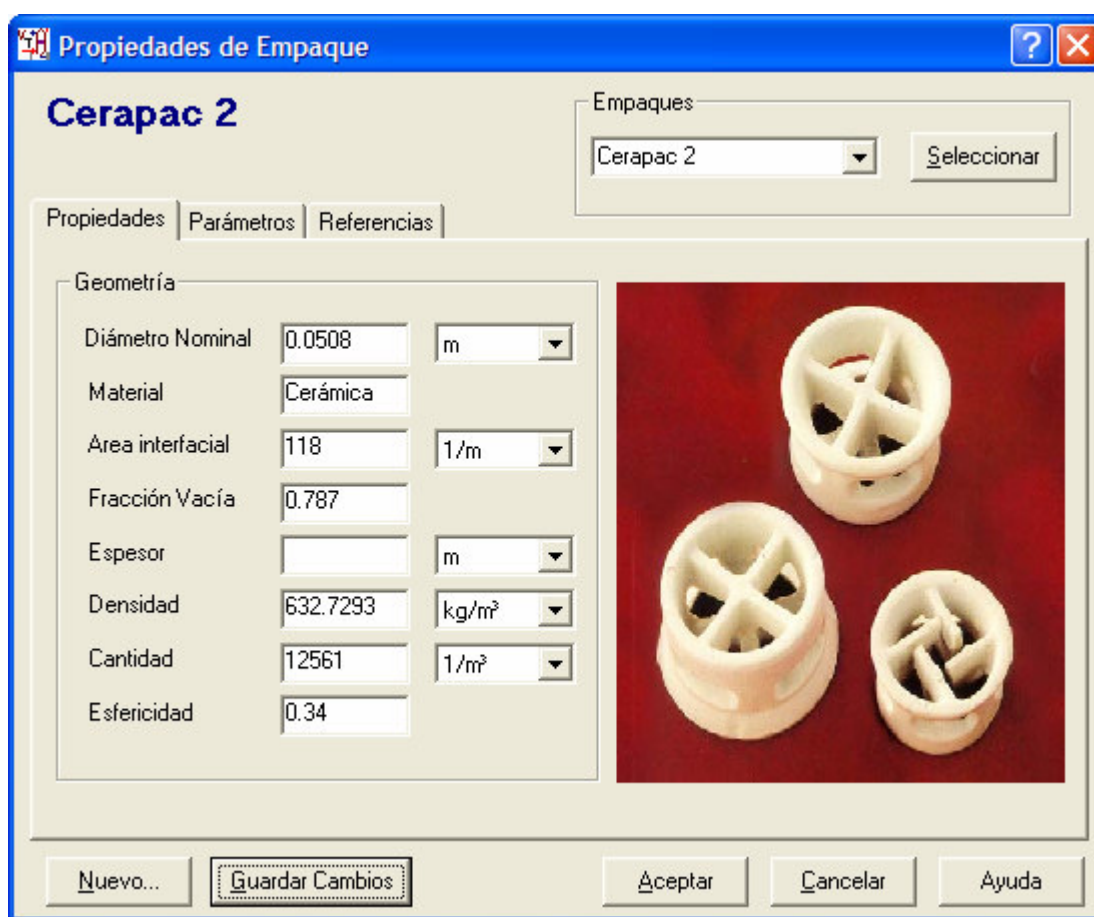


Figura 23 Modificar un empaque existente

Para utilizar un empaque definido por el usuario debe activarse la base de datos correspondiente presionando el botón *Administrar base de datos* en la barra o en el menú *Herramientas*, o por medio de la tecla F5 que permite alternar las bases de datos.

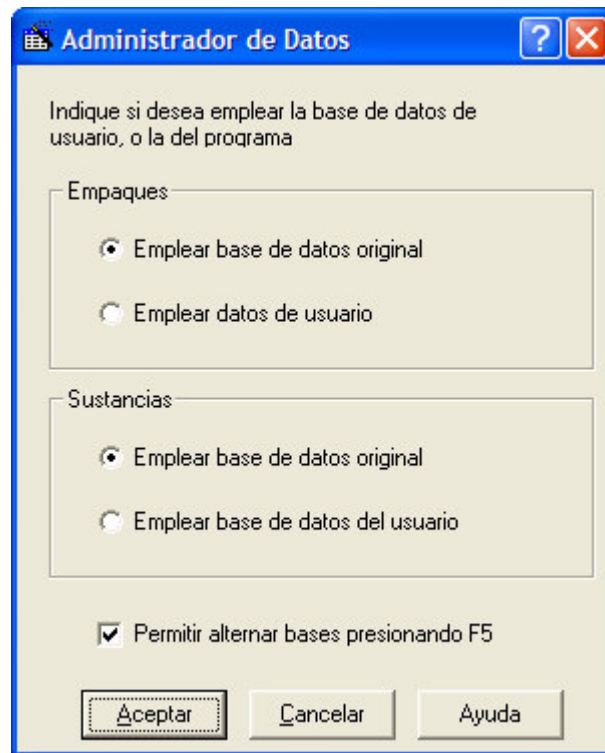


Figura 24 Administrador de bases de datos

Definir un nuevo empaque

De la misma forma como puede modificarse un empaque incluido en la base de datos, es factible incluir nuevos empaques. Desde el explorador de empaques seleccione la opción **Incluir nuevo empaque** e ingrese la información en la ventana que aparece.

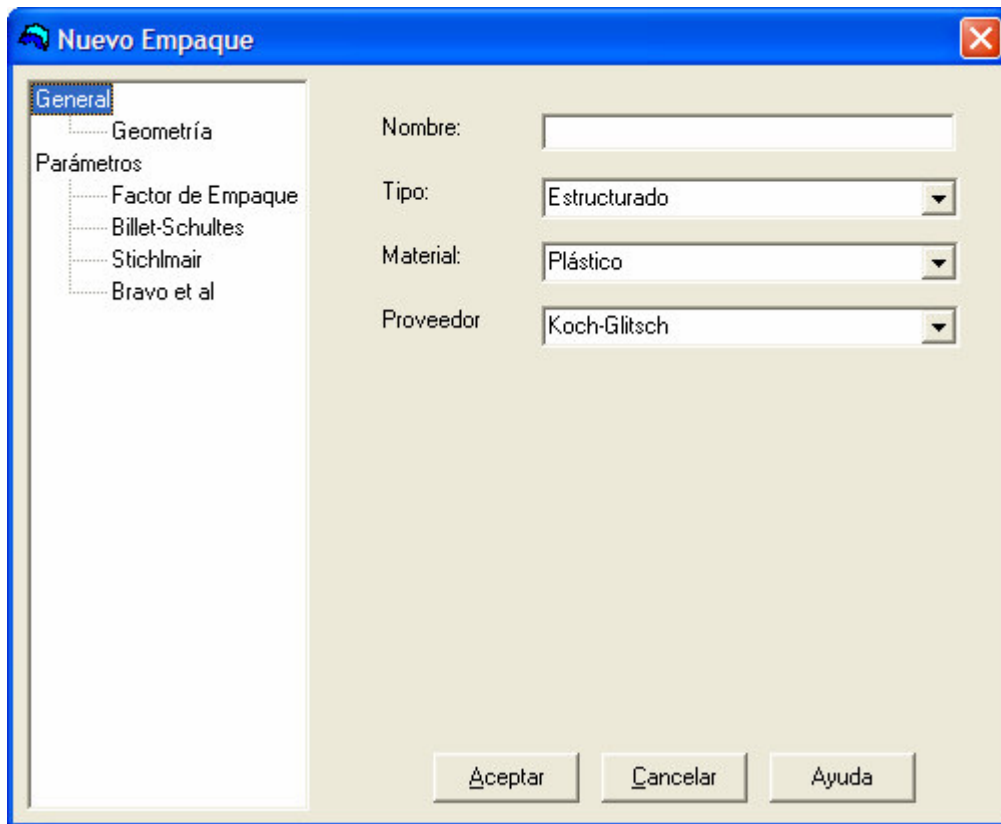


Figura 25 Ventana para incluir nuevos empaques

Selección de componentes

Una vez seleccionado el empaque, el siguiente paso es seleccionar los componentes a utilizar. Este paso, no obstante, puede obviarse si se van a indicar las propiedades físicas de cada una de las corrientes.

Banco de compuestos

En el Banco de compuestos se reúnen todas las sustancias incluidas en la base de datos de un_HydrauliPack y las definidos por el usuario. Para alternar entre unas y otras presione la tecla **F5**.

En el panel izquierdo se se presentan primero las sustancias inorgánicas y luego las orgánicas, ordenadas por su fórmula química.

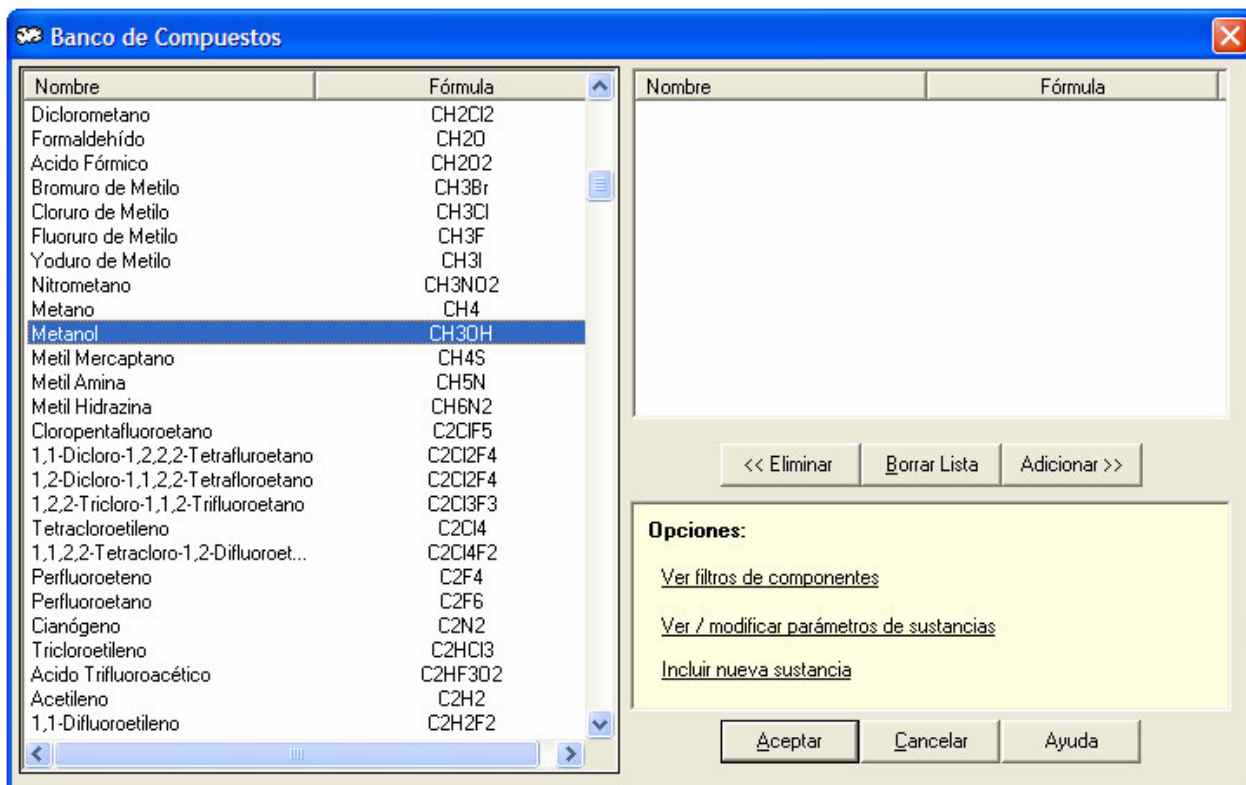


Figura 26 Banco de compuestos

Incluir sustancias a la simulación

Para seleccionar una sustancia haga doble clic sobre su nombre o fórmula en el **Banco de compuestos**, o despliegue el menú emergente con el botón secundario del ratón y presione **Seleccionar**.

También puede seleccionar la sustancia al hacer clic sobre ella y presionar el botón **Adicionar**.

Para facilitar la búsqueda de una sustancia se incluyen varios filtros, que se activan al presionar la etiqueta **Ver filtros de componentes** en el recuadro **Opciones**, o **Ver filtros...** en el menú que aparece al presionar el botón secundario del ratón sobre el **Banco de compuestos**.

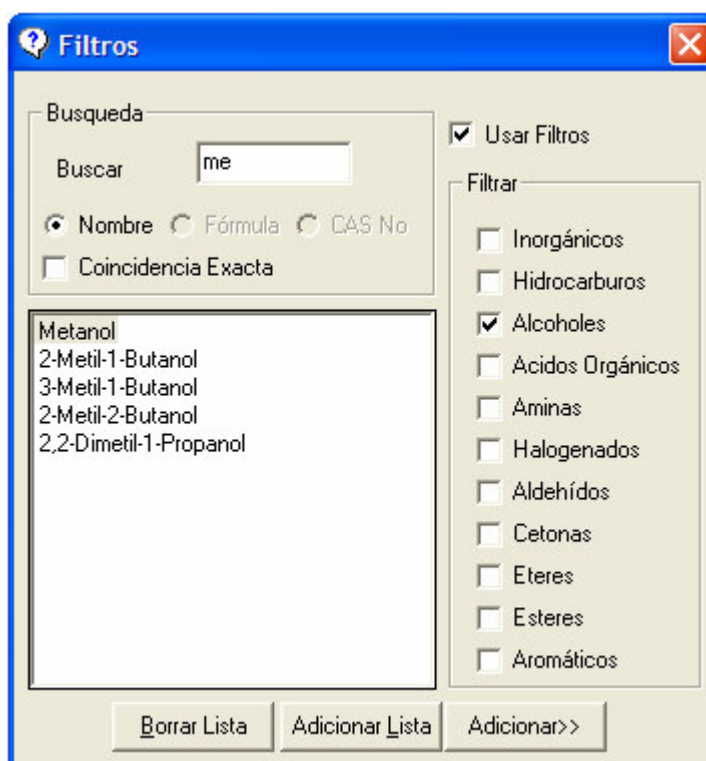


Figura 27 Filtros de componentes

Desde esta ventana es factible incluir sustancias al sistema que se simula al hacer doble clic sobre ellas, o presionar el botón **Adicionar**.

Al terminar la selección de sustancias presione el botón **Aceptar** del banco de compuestos. Si presiona aceptar (o la tecla **Entrar**) sin haber seleccionado ninguna sustancia, se le pregunta si desea continuar sin definir los componentes de la simulación. En este caso usted debe incluir toda la información sobre las propiedades físicas requeridas para iniciar la evaluación hidráulica.

Si se han indicado las sustancias que forman parte de las corrientes, se presenta el cuadro de diálogo *Fases* en el cual se pide que indique si existen componentes no distribuidos.



Figura 28 Cuadro de diálogo para indicar la(s) fase(s) en que se encuentra cada componente

Eliminar sustancias de la simulación

Es posible reemplazar o eliminar componentes seleccionados al desplegar el menú emergente sobre ellos y escoger la opción **Eliminar de la lista** o al presionar el botón **Eliminar** ubicado debajo del listado de sustancias seleccionadas. La lista completa puede borrarse al presionar el botón **Borrar lista**.

Ver y modificar los parámetros de las sustancias

Para ver y modificar las propiedades de una sustancia debe hacer doble clic sobre ella en la lista de componentes seleccionados.

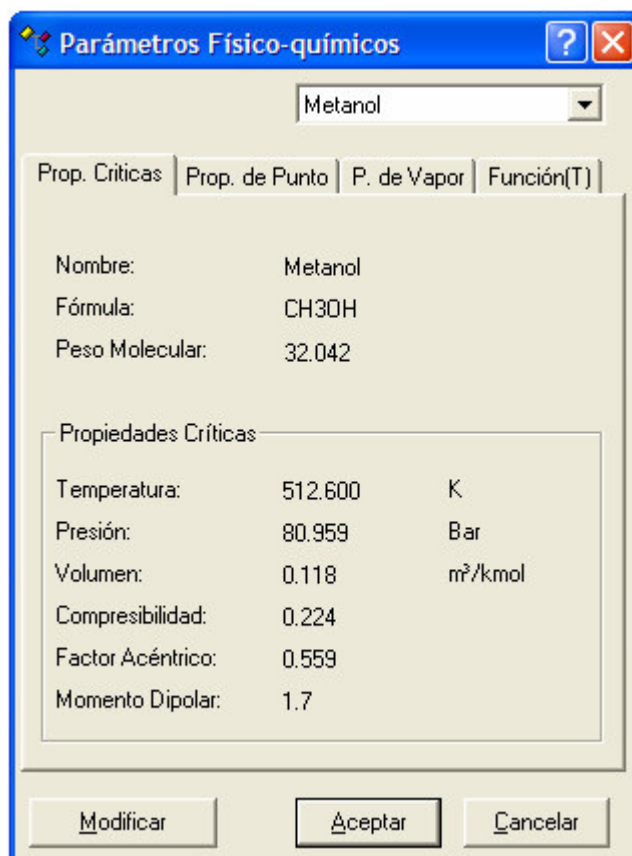


Figura 29 Propiedades de sustancias

Desde esta ventana es posible modificar los valores de las propiedades físicas y de los parámetros para su estimación. Al presionar el botón **Modificar** (Alt + m) se activan las cajas de texto para su edición. Al igual que sucede con los empaques, las sustancias modificadas se almacenan en una nueva base de datos, como definidas por el usuario.

Definir nuevas sustancias

Si en el banco de compuestos no se encuentra una sustancia que usted desea emplear en la simulación, puede agregarla desde la ventana **Nuevo Componente**, la cual se activa al presionar la etiqueta **Incluir nueva sustancia** del recuadro **Opciones** del banco de compuestos o desde los menús emergentes que se despliegan en esta misma ventana.

La ventana **Nuevo componente** es idéntica en diseño a la ventana propiedades de sustancias, pero tiene todas sus cajas de texto activas para la edición.

Nuevo Componente

Prop. Críticas | Prop. de Punto | P. de Vapor | Función(T)

Nombre:

Fórmula:

Peso Molecular:

Propiedades Críticas

Temperatura: K

Presión: Bar

Volumen: m³/kmol

Compresibilidad:

Factor Acéntrico:

Momento Dipolar:

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 30 Inclusión de una sustancia a la base de datos

Ejecución de proyectos

un_HydraulPack permite evaluar distintos aspectos de la hidráulica de una columna empacada existente. También permite determinar el diámetro requerido para una columna nueva, dadas unas condiciones, y luego de especificar un criterio de diseño.

Definición de datos básicos

Para realizar un cálculo determinado, sea en modo diseño o en modo evaluación, es necesario especificar una información mínima que incluye: la selección (o definición) del empaque del lecho, la caracterización de al menos dos corrientes (en cima o fondo), y la definición del diámetro de la columna o del criterio de diseño a emplear.

La forma de seleccionar o definir un empaque se explica en la sección **Selección de empaques** y la caracterización de las corrientes se presenta más adelante.

La selección del modo de cálculo se realiza de forma implícita al especificar un criterio de diseño o el diámetro de la columna (opciones son mutuamente excluyentes).

The screenshot shows a software interface for defining design criteria and column parameters. On the left, there is a section titled "Criterio de Diseño" with three radio button options: "Caída de Presión" (selected), "Aproximación a la Inundación", and "Capacidad Máxima de Operación". Below this, there is a text prompt "Indique la caída máxima de presión:" followed by a text input field and a dropdown menu set to "Bar". To the right, there is a diagram of a vertical column with a cross-section showing a bed of packing. The column's height is labeled "Altura" and is associated with a text input field and a dropdown menu set to "m". The column's diameter is labeled "Diámetro" and is associated with a text input field and a dropdown menu set to "m".

Figura 31 Selección del modo de cálculo: diseño o evaluación

La altura del lecho puede indicarse como referencia pero no es necesaria para realizar el cálculo.

Datos de corrientes

Para caracterizar completamente una corriente debe indicarse su flujo (molar, másico o volumétrico) y sus propiedades físicas (densidad, viscosidad, peso molecular y, en corrientes líquidas, tensión superficial).

Fondo 1 | Fondo 2 | Cima 1 | Cima 2

Flujo

Base: Flujo Molar

Flujo: kmol/s

Condiciones

Temperatura: K

Presión: Bar

Propiedades

Estimar

Densidad: kg/m³

Viscosidad: Ns/m²

Tensión Superficial: kg/s²

Peso molecular:

Composición

Base: Fracción Másica

Nombre	Composición
n-Butano	
iso-Butano	

Opciones

Figura 32 Datos a ingresar para caracterizar una corriente

Si se activa la opción *Estimar* en el recuadro propiedades físicas, debe proporcionarse toda la información necesaria (composición, presión y temperatura). El botón *Opciones* remite a la ficha *Propiedades físicas* del cuadro de diálogo *Opciones* para que verifique o cambie los métodos empleados para la estimación.

Para algunas correlaciones es necesario indicar, así no se active la estimación de propiedades, la presión y temperatura de las corrientes, debido a que se requieren para evaluar propiedades de sustancias de referencia o como criterio de selección entre expresiones.

Selección de correlaciones

Verifique o cambie las correlaciones a emplear para los cálculos desde el cuadro **Correlaciones** que se muestra al hacer clic sobre el nodo **Correlaciones** en el panel izquierdo de la pantalla.

Seleccione las correlaciones a emplear:	
Caída de Presión:	Eckert
Punto de Inundación:	Sherwood et al
Retención de Líquido:	Mersmann-deixler
Punto de Carga:	Billet-Schultes
Humedecimiento:	Schmidt
Capacidad Máxima de Operación:	Strigle-Rukovena

Figura 33 Cuadro para la selección de las correlaciones


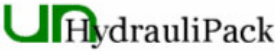
Ver los resultados

Al terminar de especificar la información requerida para iniciar los cálculos haga clic sobre el nodo **Resultados** en el panel izquierdo de la pantalla. De inmediato se iniciará la verificación de la información ingresada y el cálculo de la hidráulica o la determinación del diámetro.

Si los datos ingresados presentan inconsistencias, o las correlaciones seleccionadas no pueden aplicarse para el caso especificado, se genera un informe de errores. En caso contrario se presentan los resultados obtenidos.

La ventana **Resultados** presenta 3 fichas correspondientes a los datos de las corrientes, las características del lecho evaluado y la hidráulica del mismo.

Si se presiona el botón **Imprimir** en la barra de herramientas o **Generar reporte** en la barra lateral se genera un reporte del caso evaluado en Excel. En la figura 34 se presenta un esquema del reporte creado:

 un_HydraulPac versión 1.0	Caso:					
	Usuario:					
	Fecha:					
Departamento de Ingeniería Química Universidad Nacional de Colombia						
CORRIENTES DE PROCESO						
	Entradas		Salidas			
	Gas	Líquido	Gas	Líquido		
Temperatura Presión Flujo Másico Flujo Molar Velocidad Peso Molecular Densidad Molar Densidad Másica Viscosidad Cinemática Viscosidad Dinámica Tensión Superficial						
LECHO DE EMPAQUE						
Geometría			Cuerpo de Relleno			
Diámetro Área Transversal Altura Peso Seco Peso con Agua Peso con Líquido Volumen Total Área Total del Lecho			Tamaño Nominal Área Específica Fracción Vacía Material Peso Cantidad			
HIDRÁULICA						
			Condiciones de Diseño			
Regimen de Flujo Caída de Presión Caída Total de Presión Δ Presión de Inundación Velocidad de Inundación Velocidad de Carga Capacidad Máxima MWR			Δ Presión Máximo % Inundación % MOC			

Nota: La confiabilidad de los resultados anteriores está sujeta a la correcta selección de las expresiones de cálculo, por parte del usuario.

Las siguientes fueron las expresiones que empleadas durante el cálculo:

Densidad de gases Densidad de líquidos Viscosidad de gases Viscosidad de gases (M) Viscosidad de líquidos Viscosidad de líquidos (M) Tensión superficial	
--	--

Caída de presión Velocidad de inundación Retención de líquido Punto de carga Vel. mínima de humedecimiento Máx. capacidad de operación	
---	--

Figura 34 Esquema de los reportes creados en Excel.

Estimación de propiedades

Además de estimar las propiedades físicas durante la evaluación hidráulica de un lecho, **un**_HydraulPack permite la estimación individual de varias propiedades. Este cálculo no afecta el caso de estudio que se encuentre abierto.

Dado que la estimación de propiedades funciona como una aplicación independiente, es necesario indicar los componentes de la mezcla, o la sustancia, a la cual se desea estimar una o más propiedades físicas.

Los componentes seleccionados desde esta herramienta no reemplazan en ningún caso los definidos en la simulación.

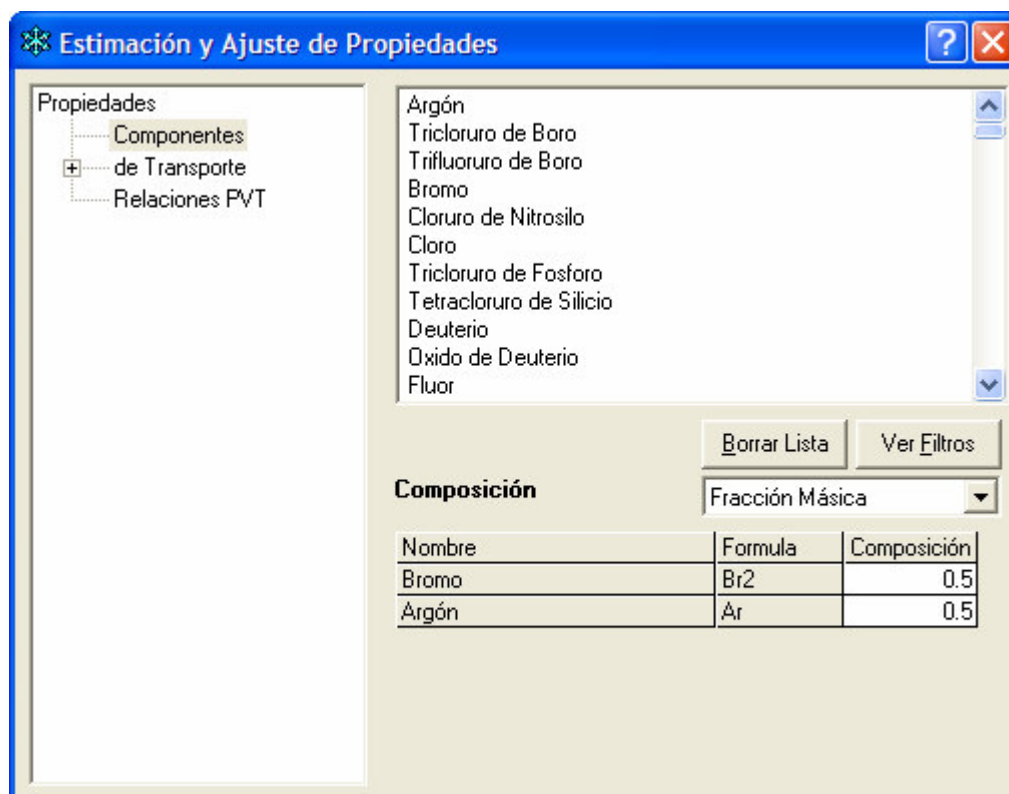


Figura 34 Selección de componentes

De igual forma que en el *Banco de compuestos* la búsqueda de una sustancia se facilita por medio de los filtros de componentes. Para más detalles acerca del manejo de los filtros remítase a la sección **Selección de sustancias**.

Una vez seleccionadas las sustancias que conforman la mezcla, o la sustancia - en el caso que se desee estimar las propiedades para una sustancia pura - seleccione en el panel izquierdo de la ventana la propiedad que desea evaluar.

un_HydrauliPack siempre verifica que la composición sea correcta; de no ser así informa al usuario y le pregunta si desea que normalice. Cuando no se especifica ninguna composición, el simulador pregunta si puede asignarlas, caso en el cual da igual valor a todas las sustancias.


Para estimar las propiedades físicas debe indicarse la presión y la temperatura y seleccionarse el método de estimación.


Fundamentos del cálculo realizado


Para detalles sobre cada una de las correlaciones y métodos de estimación empleados consulte la ayuda de **un**_HydrauliPack.


E. CASO 1: REPORTE DE SIMULACIÓN


Destilación de Etilbenceno/ Estireno


1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia			Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc			
2				Unit Set: SI			
3				Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003			
4							
5				Fluid Package: Basis-1			
6	Material Stream: Alimento			Property Package: PRSV			
7							
8	CONDITIONS						
9							
10							
11		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase			
12	Vapour / Phase Fraction	0.5000 *	0.5000	0.5000			
13	Temperature: (C)	62.90	62.90	62.90			
14	Pressure: (kPa)	7.000 *	7.000	7.000			
15	Molar Flow (kgmole/h)	2.187	1.094	1.094			
16	Mass Flow (kg/h)	230.0 *	115.1	114.9			
17	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.2588	0.1297	0.1291			
18	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.317e+004	8.904e+004	5.730e+004			
19	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	259.9	300.6	219.2			
20	Heat Flow (kJ/h)	1.600e+005	9.738e+004	6.266e+004			
21	Std Liq Volume Flow (m3/h)	0.2583	0.1295	0.1288			
22	PROPERTIES						
23							
24		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase			
25	Vapour / Phase Fraction	0.5000 *	0.5000	0.5000			
26	Temperature: (C)	62.90	62.90	62.90			
27	Pressure: (kPa)	7.000 *	7.000	7.000			
28	Actual Volume Flow (m3/h)	434.8	434.7	0.1352			
29	Mass Enthalpy (kJ/kg)	695.8	846.1	545.3			
30	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.472	2.857	2.086			
31	Molecular Weight	105.2	105.2	105.1			
32	Molar Density (kgmole/m3)	5.030e-003	2.516e-003	8.087			
33	Mass Density (kg/m3)	0.5290	0.2648	849.8			
34	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	890.4	888.9	891.9			
35	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	166.3	141.8	190.8			
36	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.581	1.347	1.816			
37	Thermal Conductivity (W/m-K)	---	1.235e-002	0.1334			
38	Viscosity (cP)	---	6.363e-003	0.4159			
39	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	25.45			
40	Z Factor	---	0.9958	3.098e-004			
41	Molar Vapour Fraction	0.5000	0.5000	0.5000			
42	Mass Vapour Fraction	0.5004	0.5004	0.4996			
43	Volume Vapour Fraction	0.5012	0.5012	0.4988			
44	Molar Volume (m3/kgmole)	198.8	397.5	0.1237			
45	Actual Gas Flow (ACT_m3/h)	---	434.7	---			
46	Actual Liquid Flow (m3/s)	3.756e-005	---	3.756e-005			
47	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	51.71	25.86	25.86			
48	Std. Liquid Volume Flow (m3/h)	0.2583	0.1295	0.1288			
49	Watson K	10.18	10.19	10.16			
50	Kinematic Viscosity (cSt)	---	24.03	0.4894			
51	Cp/Cv	1.026	1.063	1.187			
52	Lower Heating Value (kJ/kgmole)	4.304e+006	4.311e+006	4.297e+006			
53	Mass Lower Heating Value (kJ/kg)	4.093e+004	4.096e+004	4.090e+004			
54	Liquid Fraction	0.5000	0.0000	1.000			
55	Partial Pressure (kPa)	0.0000	0.0000	0.0000			
56	COMPOSITION						
57							
58	Overall Phase				Vapour Fraction	0.5000 *	
59							
60	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
61							
62	Styrene	1.0936 *	0.5000 *	113.8988 *	0.4952 *	0.1253 *	0.4843 *
63	E-Benzene	1.0936 *	0.5000 *	116.1012 *	0.5048 *	0.1334 *	0.5157 *
64	Total	2.1872	1.0000	230.0000	1.0000	0.2588	1.0000
65							
66							
67							
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)			Page 1 of 15	


1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia				Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc		
2					Unit Set: SI		
3					Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003		
4							
5	Material Stream: Alimento (continued)				Fluid Package: Basis-1		
6					Property Package: PRSV		
7	COMPOSITION						
8	Vapour Phase Phase Fraction 0.5000						
9	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
10	Styrene	0.5037	0.4606	52.4604	0.4558	0.0577	0.4450
11	E-Benzene	0.5899	0.5394	62.6264	0.5442	0.0720	0.5550
12	Total	1.0936	1.0000	115.0868	1.0000	0.1297	1.0000
13	Liquid Phase Phase Fraction 0.5000						
14	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
15	Styrene	0.5899	0.5394	61.4383	0.5347	0.0676	0.5238
16	E-Benzene	0.5037	0.4606	53.4748	0.4653	0.0615	0.4762
17	Total	1.0936	1.0000	114.9132	1.0000	0.1291	1.0000
18	UNIT OPERATIONS						
19	FEED TO		PRODUCT FROM		LOGICAL CONNECTION		
20	Distillation: T-100						
21	Material Stream: Cima				Fluid Package: Basis-1		
22					Property Package: PRSV		
23	CONDITIONS						
24		Overall	Vapour Phase				
25	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000				
26	Temperature: (C)	61.10	61.10				
27	Pressure: (kPa)	6.700 *	6.700				
28	Molar Flow (kgmole/h)	1.090	1.090				
29	Mass Flow (kg/h)	115.0	115.0				
30	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1302	0.1302				
31	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.586e+004	7.586e+004				
32	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	243.3	243.3				
33	Heat Flow (kJ/h)	8.272e+004	8.272e+004				
34	Std Liq Volume Flow (m3/h)	0.1300	0.1300				
35	PROPERTIES						
36		Overall	Vapour Phase				
37	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000				
38	Temperature: (C)	61.10	61.10				
39	Pressure: (kPa)	6.700 *	6.700				
40	Actual Volume Flow (m3/h)	450.5	450.5				
41	Mass Enthalpy (kJ/kg)	719.3	719.3				
42	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.307	2.307				
43	Molecular Weight	105.5	105.5				
44	Molar Density (kgmole/m3)	2.421e-003	2.421e-003				
45	Mass Density (kg/m3)	0.2553	0.2553				
46	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	884.9	884.9				
47	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	141.9	141.9				
48	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.346	1.346				
49	Thermal Conductivity (W/m-K)	1.224e-002	1.224e-002				
50	Viscosity (cP)	6.328e-003	6.328e-003				
51	Surface Tension (dyne/cm)	---	---				
52	Z Factor	0.9959	0.9959				
53	Molar Vapour Fraction	1.0000	1.0000				
54	Mass Vapour Fraction	1.0000	1.0000				
55	Volume Vapour Fraction	1.0000	1.0000				
56	Molar Volume (m3/kgmole)	413.1	413.1				
57	Hyprotech Ltd. HYSYS v2.4.1 (Build 3870)						

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc				
2			Unit Set: SI				
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003				
4							
5					Fluid Package: Basis-1		
6	Material Stream: Cima (continued)				Property Package: PRSV		
7							
8	PROPERTIES						
9							
10							
11		Overall	Vapour Phase				
12	Actual Gas Flow (ACT_m3/h)	450.5	450.5				
13	Actual Liquid Flow (m3/s)	---	---				
14	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	25.78	25.78				
15	Std. Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1300	0.1300				
16	Watson K	10.23	10.23				
17	Kinematic Viscosity (cSt)	24.79	24.79				
18	Cp/Cv	1.063	1.063				
19	Lower Heating Value (kJ/kgmole)	4.330e+006	4.330e+006				
20	Mass Lower Heating Value (kJ/kg)	4.105e+004	4.105e+004				
21	Liquid Fraction	0.0000	0.0000				
22	Partial Pressure (kPa)	0.0000	0.0000				
23	COMPOSITION						
24							
25	Overall Phase					Vapour Fraction	1.0000
26							
27	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
28							
29	Styrene	0.3822	0.3505	39.8035	0.3461	0.0438	0.3363
30	E-Benzene	0.7083	0.6495	75.1965	0.6539	0.0864	0.6637
31	Total	1.0905	1.0000	115.0000	1.0000	0.1302	1.0000
32	Vapour Phase					Phase Fraction	1.000
33							
34	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
35							
36	Styrene	0.3822	0.3505	39.8035	0.3461	0.0438	0.3363
37	E-Benzene	0.7083	0.6495	75.1965	0.6539	0.0864	0.6637
38	Total	1.0905	1.0000	115.0000	1.0000	0.1302	1.0000
39	UNIT OPERATIONS						
40							
41	FEED TO		PRODUCT FROM		LOGICAL CONNECTION		
42			Distillation:		T-100		
43	Material Stream: Fondos						
44							
45							
46							
47	CONDITIONS						
48							
49	Vapour / Phase Fraction	Overall	Liquid Phase				
50	Temperature: (C)	64.67	64.67				
51	Pressure: (kPa)	7.300	7.300				
52	Molar Flow (kgmole/h)	1.097	1.097				
53	Mass Flow (kg/h)	115.0	115.0				
54	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1285	0.1285				
55	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.038e+004	7.038e+004				
56	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	276.0	276.0				
57	Heat Flow (kJ/h)	7.718e+004	7.718e+004				
58	Std Liq Volume Flow (m3/h)	0.1284	0.1284				
59	PROPERTIES						
60							
61		Overall	Liquid Phase				
62	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000				
63	Temperature: (C)	64.67	64.67				
64	Pressure: (kPa)	7.300	7.300				
65	Actual Volume Flow (m3/h)	0.1349	0.1349				
66	Mass Enthalpy (kJ/kg)	671.1	671.1				
67	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.632	2.632				
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)			Page 3 of 15	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpfl21\Puma\Styrene.hsc				
2			Unit Set: SI				
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003				
4							
5							
6	Material Stream: Fondos (continued)					Fluid Package: Basis-1	
7						Property Package: PRSV	
8							
9	PROPERTIES						
10							
11		Overall	Liquid Phase				
12	Molecular Weight	104.9	104.9				
13	Molar Density (kgmole/m3)	8.128	8.128				
14	Mass Density (kg/m3)	852.3	852.3				
15	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	896.0	896.0				
16	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	190.1	190.1				
17	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.813	1.813				
18	Thermal Conductivity (W/m-K)	0.1337	0.1337				
19	Viscosity (cP)	0.4163	0.4163				
20	Surface Tension (dyne/cm)	25.49	25.49				
21	Z Factor	3.198e-004	3.198e-004				
22	Molar Vapour Fraction	0.0000	1.0000				
23	Mass Vapour Fraction	0.0000	1.0000				
24	Volume Vapour Fraction	0.0000	1.0000				
25	Molar Volume (m3/kgmole)	0.1230	0.1230				
26	Actual Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---				
27	Actual Liquid Flow (m3/s)	3.748e-005	3.748e-005				
28	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	25.93	25.93				
29	Std. Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1284	0.1284				
30	Watson K	10.12	10.12				
31	Kinematic Viscosity (cSt)	0.4884	0.4884				
32	Cp/Cv	1.188	1.188				
33	Lower Heating Value (kJ/kgmole)	4.279e+006	4.279e+006				
34	Mass Lower Heating Value (kJ/kg)	4.080e+004	4.080e+004				
35	Liquid Fraction	1.000	1.000				
36	Partial Pressure (kPa)	0.0000	0.0000				
37	COMPOSITION						
38							
39	Overall Phase						
40						Vapour Fraction 0.0000	
41	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	
42						LIQUID VOLUME FRACTION	
43	Styrene	0.7114	0.6487	74.0952	0.6443	0.0815	
44	E-Benzene	0.3853	0.3513	40.9048	0.3557	0.0470	
45	Total	1.0967	1.0000	115.0000	1.0000	0.1285	
46	Liquid Phase						
47						Phase Fraction 1.000	
48	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	
49						LIQUID VOLUME FRACTION	
50	Styrene	0.7114	0.6487	74.0952	0.6443	0.0815	
51	E-Benzene	0.3853	0.3513	40.9048	0.3557	0.0470	
52	Total	1.0967	1.0000	115.0000	1.0000	0.1285	
53	UNIT OPERATIONS						
54							
55	FEED TO		PRODUCT FROM		LOGICAL CONNECTION		
56			Distillation: T-100				
57	Distillation: T-100						
58							
59							
60	CONNECTIONS						
61							
62	Inlet Stream						
63	STREAM NAME	Stage		FROM UNIT OPERATION			
64	Q-101	Reboiler					
65	1	5_Main TS					
66	Outlet Stream						
67	STREAM NAME	Stage		TO UNIT OPERATION			
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 4 of 15		

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc						
2			Unit Set: SI						
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003						
4									
5	Distillation: T-100 (continued)								
6									
7									
8									
9	Q-100	Condenser							
10	3	Reboiler							
11	2	Condenser							
12	MONITOR								
13	Specifications Summary								
14									
15		Specified Value	Current Value	Wt. Error	Wt. Tol.	Abs. Tol.	Active	Estimate	Used
16	Reflux Ratio	1.500 *	1.500	8.435e-009	1.000e-002 *	1.000e-002 *	On	On	On
17	Btms Prod Rate	115.0 kg/h *	115.0 kg/h	-2.907e-008	1.000e-002 *	1.000 kg/h *	On	On	On
18	SPECS								
19	Column Specification Parameters								
20									
21	Reflux Ratio								
22									
23	Stage:	Condenser	Flow Basis:	Molar	Liquid Specification:	---			
24	Btms Prod Rate								
25									
26	Stream:	3 @COL1	Flow Basis:	Mass					
27	User Variables								
28									
29	PROFILES								
30	General Parameters								
31									
32	Sub-Flow Sheet:	T-100 (COL1)		Number of Stages:			10		
33	Profile Estimates								
34			Temperature	Net Liquid		Net Vapour			
35			(C)	(kgmole/h)		(kgmole/h)			
36	Condenser		61.10	1.636		1.090			
37	1__Main TS		61.43	1.633		2.726			
38	2__Main TS		61.86	1.632		2.723			
39	3__Main TS		62.21	1.631		2.722			
40	4__Main TS		62.51	1.630		2.721			
41	5__Main TS		62.77	2.723		2.721			
42	6__Main TS		63.02	2.725		1.627			
43	7__Main TS		63.28	2.726		1.628			
44	8__Main TS		63.57	2.727		1.629			
45	9__Main TS		63.91	2.728		1.631			
46	10__Main TS		64.33	2.730		1.631			
47	Reboiler		64.67	1.097		1.633			
48	EFFICIENCIES								
49	Stage Efficiencies								
50									
51	Stages	Overall Efficiency	Styrene	E-Benzene					
52	Condenser	1.000	1.000	1.000					
53	1__Main TS	1.000	1.000	1.000					
54	2__Main TS	1.000	1.000	1.000					
55	3__Main TS	1.000	1.000	1.000					
56	4__Main TS	1.000	1.000	1.000					
57	5__Main TS	1.000	1.000	1.000					
58	6__Main TS	1.000	1.000	1.000					
59	7__Main TS	1.000	1.000	1.000					
60	8__Main TS	1.000	1.000	1.000					
61	9__Main TS	1.000	1.000	1.000					
62	10__Main TS	1.000	1.000	1.000					
63	Reboiler	1.000	1.000	1.000					
64	PROPERTIES								
65									
66									
67									
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)			Page 5 of 15			

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wp121\Puma\Styrene.hsc		
2			Unit Set: SI		
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003		
4					
5	Distillation: T-100 (continued)				
6	Properties : 1 @COL1				
7		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase	
8					
9	Vapour/Phase Fraction	0.5000	0.5000	0.5000	
10	Temperature: (C)	62.90	62.90	62.90	
11	Pressure: (kPa)	7.000	7.000	7.000	
12	Molar Flow (kgmole/h)	2.187	1.094	1.094	
13	Mass Flow (kg/h)	230.0	115.1	114.9	
14	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.2588	0.1297	0.1291	
15	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.317e+004	8.904e+004	5.730e+004	
16	Mass Enthalpy (kJ/kg)	695.8	846.1	545.3	
17	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	259.9	300.6	219.2	
18	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.472	2.857	2.086	
19	Heat Flow (kJ/h)	1.600e+005	9.738e+004	6.266e+004	
20	Molar Density (kgmole/m3)	5.030e-003	2.516e-003	8.087	
21	Mass Density (kg/m3)	0.5290	0.2648	849.8	
22	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	890.4	888.9	891.9	
23	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	166.3	141.8	190.8	
24	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.581	1.347	1.816	
25	Thermal Conductivity (W/m-K)	---	1.235e-002	0.1334	
26	Viscosity (cP)	---	6.363e-003	0.4159	
27	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	25.45	
28	Molecular Weight	105.2	105.2	105.1	
29	Z Factor	---	0.9958	3.098e-004	
30	Properties : 3 @COL1				
31		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase	
32					
33	Vapour/Phase Fraction	0.0000	0.0000	1.0000	
34	Temperature: (C)	64.67	64.67	64.67	
35	Pressure: (kPa)	7.300	7.300	7.300	
36	Molar Flow (kgmole/h)	1.097	0.0000	1.097	
37	Mass Flow (kg/h)	115.0	0.0000	115.0	
38	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1285	0.0000	0.1285	
39	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.038e+004	1.025e+005	7.038e+004	
40	Mass Enthalpy (kJ/kg)	671.1	976.2	671.1	
41	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	276.0	358.8	276.0	
42	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.632	3.417	2.632	
43	Heat Flow (kJ/h)	7.718e+004	0.0000	7.718e+004	
44	Molar Density (kgmole/m3)	8.128	2.610e-003	8.128	
45	Mass Density (kg/m3)	852.3	0.2741	852.3	
46	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	896.0	893.1	896.0	
47	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	190.1	141.6	190.1	
48	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.813	1.348	1.813	
49	Thermal Conductivity (W/m-K)	0.1337	1.244e-002	0.1337	
50	Viscosity (cP)	0.4163	6.398e-003	0.4163	
51	Surface Tension (dyne/cm)	25.49	---	25.49	
52	Molecular Weight	104.9	105.0	104.9	
53	Z Factor	3.198e-004	0.9957	3.198e-004	
54	Properties : 2 @COL1				
55		Overall	Vapour Phase		
56					
57	Vapour/Phase Fraction	1.0000	1.0000		
58	Temperature: (C)	61.10	61.10		
59	Pressure: (kPa)	6.700	6.700		
60	Molar Flow (kgmole/h)	1.090	1.090		
61	Mass Flow (kg/h)	115.0	115.0		
62	Liquid Volume Flow (m3/h)	0.1302	0.1302		
63	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	7.586e+004	7.586e+004		
64	Mass Enthalpy (kJ/kg)	719.3	719.3		
65	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	243.3	243.3		
66	Mass Entropy (kJ/kg-C)	2.307	2.307		
67	Heat Flow (kJ/h)	8.272e+004	8.272e+004		
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 6 of 15

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc						
2			Unit Set: SI						
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003						
4									
5									
6									
7	Distillation: T-100 (continued)								
8									
9	Properties : 2 @COL1								
10		Overall		Vapour Phase					
11	Molar Density (kgmole/m3)	2.421e-003		2.421e-003					
12	Mass Density (kg/m3)	0.2553		0.2553					
13	Std Liquid Mass Density (kg/m3)	884.9		884.9					
14	Molar Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	141.9		141.9					
15	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.346		1.346					
16	Thermal Conductivity (W/m-K)	1.224e-002		1.224e-002					
17	Viscosity (cP)	6.328e-003		6.328e-003					
18	Surface Tension (dyne/cm)	---		---					
19	Molecular Weight	105.5		105.5					
20	Z Factor	0.9959		0.9959					
21	SUMMARY								
22	Tray Summary								
23									
24	Flow Basis:	Mass			Reflux Ratio:		1.500 *		
25		Temp. (C)	Pressure (kPa)	Liquid (kg/h)	Vapour (kg/h)	Feeds (kg/h)	Draws (kg/h)	Duties (kJ/h)	
26									
27	Condenser	61.10	6.700	172.3	---	---	115.0	V -6.718e+004	
28	1_Main TS	61.43	6.700	171.8	287.3			---	
29	2_Main TS	61.86	6.767	171.6	286.8			---	
30	3_Main TS	62.21	6.833	171.4	286.6			---	
31	4_Main TS	62.51	6.900	171.3	286.4			---	
32	5_Main TS	62.77	6.967	286.2	286.3	230.0	M	---	
33	6_Main TS	63.02	7.033	286.3	171.2			---	
34	7_Main TS	63.28	7.100	286.4	171.3			---	
35	8_Main TS	63.57	7.167	286.5	171.4			---	
36	9_Main TS	63.91	7.233	286.5	171.5			---	
37	10_Main TS	64.33	7.300	286.5	171.5			---	
38	Reboiler	64.67	7.300	---	171.5	---	115.0	L 6.704e+004	
39	Holdup Details								
40			Pressure (kPa)	Volume (m3)	Bulk Liquid Volume (m3)				
41									
42									
43	Condenser		0.0000	0.0000	*			---	
44	1_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
45	2_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
46	3_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
47	4_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
48	5_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
49	6_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
50	7_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
51	8_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
52	9_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
53	10_Main TS		0.0000	0.0000	*			---	
54	Reboiler		0.0000	0.0000	*			---	
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)				Page 7 of 15		



Héctor Jr De la Hoz Siegler
Bogotá,
Colombia

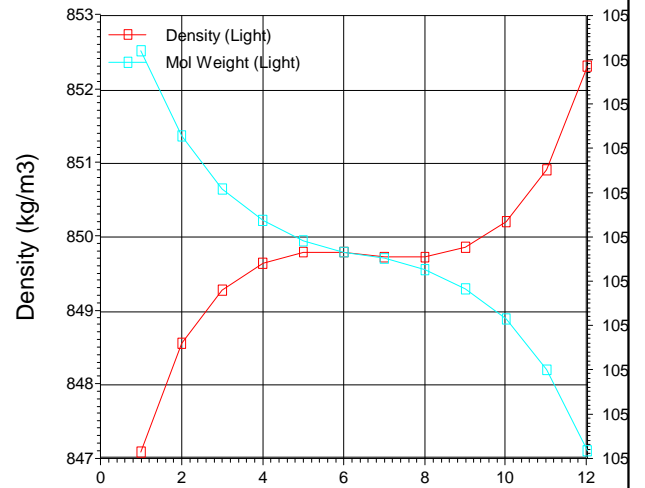
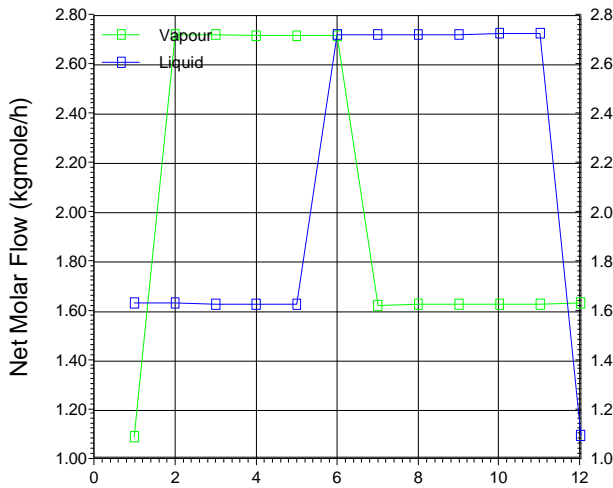
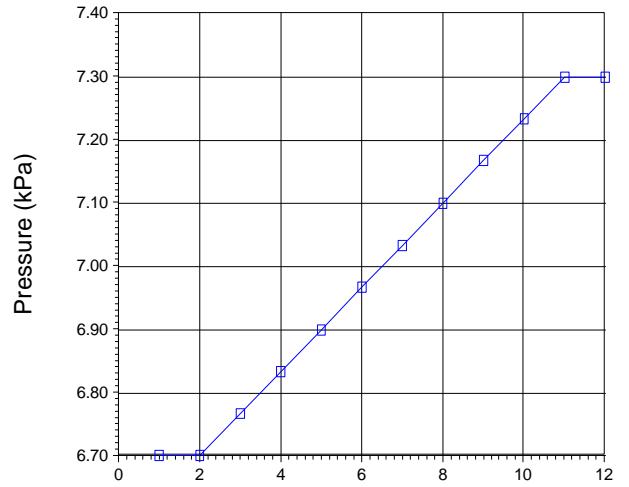
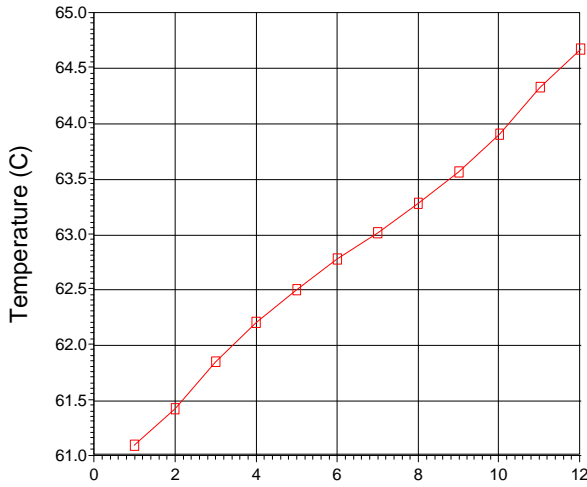
Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc

Unit Set: SI

Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003

Distillation: T-100 (continued)

TRAY by TRAY PROPERTIES PLOTS





Héctor Jr De la Hoz Siegler
Bogotá,
Colombia

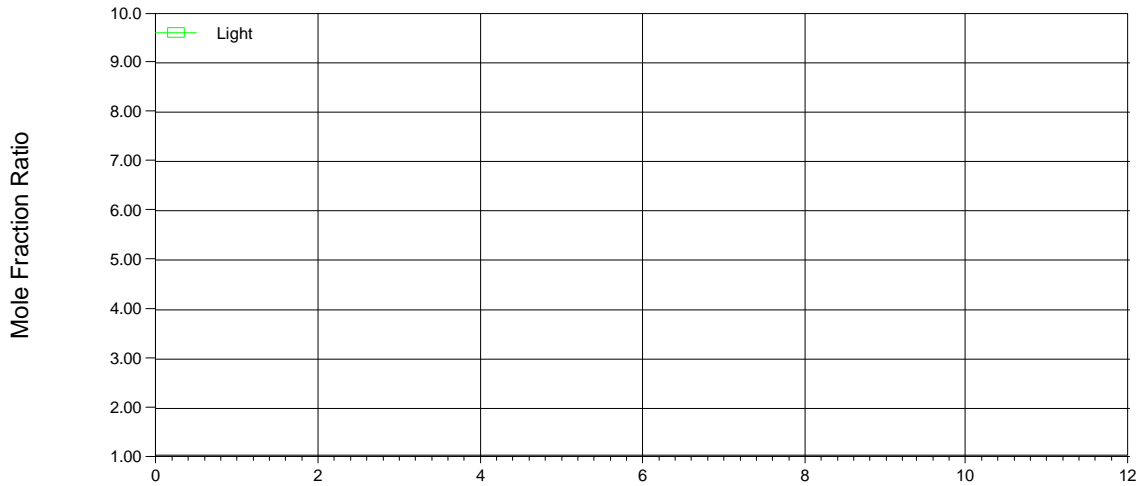
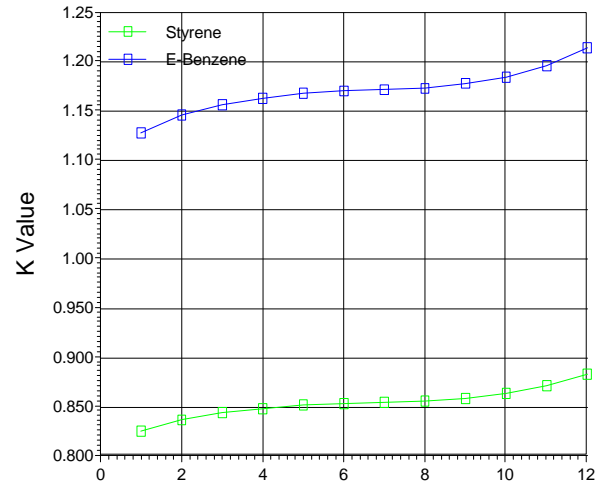
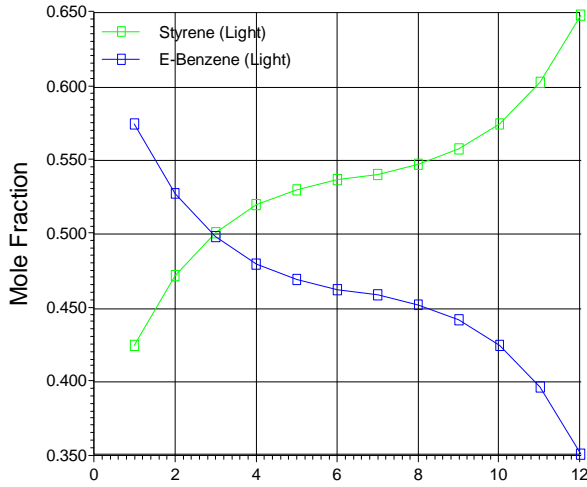
Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc

Unit Set: SI

Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003

Distillation: T-100 (continued)


TRAY by TRAY PROPERTIES PLOTS





TRAY by TRAY PROPERTIES TABLES


Column Temperature / Pressure Profile


Column Stage	Temperature (C)	Pressure (kPa)
Condenser	61.10	6.700
1_Main TS	61.43	6.700
2_Main TS	61.86	6.767
3_Main TS	62.21	6.833
4_Main TS	62.51	6.900

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia			Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc		
2				Unit Set: SI		
3				Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003		
4						
5	Distillation: T-100 (continued)					
6	TRAY by TRAY PROPERTIES TABLES					
7	Column Temperature / Pressure Profile					
8						
9						
10						
11						
12						
13	Column Stage		Temperature (C)		Pressure (kPa)	
14						
15	5__Main TS		62.77		6.967	
16	6__Main TS		63.02		7.033	
17	7__Main TS		63.28		7.100	
18	8__Main TS		63.57		7.167	
19	9__Main TS		63.91		7.233	
20	10__Main TS		64.33		7.300	
21	Reboiler		64.67		7.300	
22						
23	Net Column Flow Profile					
24	Column Stage	Vapour (kgmole/h)	Liquid (kgmole/h)	Vapour (kg/h)	Liquid (kg/h)	Pressure (kPa)
25						
26	Condenser	1.090 *	1.636 *	115.0 *	172.3 *	0.1302 *
27	1__Main TS	2.726 *	1.633 *	287.3 *	171.8 *	0.3247 *
28	2__Main TS	2.723 *	1.632 *	286.8 *	171.6 *	0.3237 *
29	3__Main TS	2.722 *	1.631 *	286.6 *	171.4 *	0.3232 *
30	4__Main TS	2.721 *	1.630 *	286.4 *	171.3 *	0.3229 *
31	5__Main TS	2.721 *	2.723 *	286.3 *	286.2 *	0.3227 *
32	6__Main TS	1.627 *	2.725 *	171.2 *	286.3 *	0.1929 *
33	7__Main TS	1.628 *	2.726 *	171.3 *	286.4 *	0.1930 *
34	8__Main TS	1.629 *	2.727 *	171.4 *	286.5 *	0.1930 *
35	9__Main TS	1.631 *	2.728 *	171.5 *	286.5 *	0.1930 *
36	10__Main TS	1.631 *	2.730 *	171.5 *	286.5 *	0.1927 *
37	Reboiler	1.633 *	1.097 *	171.5 *	115.0 *	0.1924 *
38						
39	Column Properties Profile					
40	Stage	Surface Tension (dyne/cm)	Mole Wt. (Vapour)	Mole Wt. (Liquid)	Viscosity (Vapour) (cP)	Viscosity (Liquid) (cP)
41						
42	Condenser	25.39	105.5	105.3	6.328e-003	0.4150
43	1__Main TS	25.46	105.4	105.2	6.334e-003	0.4171
44	2__Main TS	25.48	105.3	105.2	6.342e-003	0.4175
45	3__Main TS	25.48	105.3	105.1	6.349e-003	0.4174
46	4__Main TS	25.47	105.3	105.1	6.355e-003	0.4169
47	5__Main TS	25.45	105.2	105.1	6.361e-003	0.4162
48	6__Main TS	25.44	105.2	105.1	6.366e-003	0.4155
49	7__Main TS	25.42	105.2	105.1	6.371e-003	0.4148
50	8__Main TS	25.41	105.2	105.0	6.377e-003	0.4144
51	9__Main TS	25.42	105.2	105.0	6.384e-003	0.4142
52	10__Main TS	25.43	105.1	105.0	6.392e-003	0.4145
53	Reboiler	25.49	105.0	104.9	6.398e-003	0.4163
54						
55	Stage	Mass Density (Vapour) (kg/m3)	Mass Density (Liquid) (kg/m3)	Molar Density (Vapour) (kgmole/m3)	Molar Density (Liquid) (kgmole/m3)	Thermal Cond. (Vapour) (W/m-K)
56						
57	Condenser	0.2553	847.1	2.421e-003	8.044	1.224e-002
58	1__Main TS	0.2548	848.6	2.418e-003	8.065	1.225e-002
59	2__Main TS	0.2569	849.3	2.439e-003	8.076	1.228e-002
60	3__Main TS	0.2591	849.7	2.461e-003	8.083	1.230e-002
61	4__Main TS	0.2613	849.8	2.483e-003	8.086	1.232e-002
62	5__Main TS	0.2636	849.8	2.505e-003	8.087	1.234e-002
63	6__Main TS	0.2659	849.7	2.527e-003	8.087	1.235e-002
64	7__Main TS	0.2682	849.7	2.549e-003	8.088	1.237e-002
65	8__Main TS	0.2705	849.9	2.571e-003	8.091	1.239e-002
66	9__Main TS	0.2726	850.2	2.592e-003	8.097	1.241e-002
67	10__Main TS	0.2746	850.9	2.613e-003	8.108	1.243e-002
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)			Page 10 of 15

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc			
2			Unit Set: SI			
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003			
4						
5	Distillation: T-100 (continued)					
6	TRAY by TRAY PROPERTIES TABLES					
7	Column Properties Profile					
8						
9						
10						
11						
12						
13	Stage	Mass Density (Vapour) (kg/m3)	Mass Density (Liquid) (kg/m3)	Molar Density (Vapour) (kgmole/m3)	Molar Density (Liquid) (kgmole/m3)	Thermal Cond. (Vapour) (W/m-K)
14	Reboiler	0.2741	852.3	2.610e-003	8.128	1.244e-002
15						
16						
17	Stage	Thermal Cond. (Liquid) (W/m-K)	Heat Cap. (Vapour) (kJ/kgmole-C)	Heat Cap. (Liquid) (kJ/kgmole-C)	Heat Cap. (Vapour) (kJ/kg-C)	Heat Cap. (Liquid) (kJ/kg-C)
18	Condenser	0.1331	141.9	191.5	1.346	1.818
19	1__Main TS	0.1334	141.7	191.1	1.345	1.816
20	2__Main TS	0.1334	141.7	190.9	1.345	1.815
21	3__Main TS	0.1335	141.7	190.8	1.346	1.815
22	4__Main TS	0.1335	141.7	190.8	1.346	1.815
23	5__Main TS	0.1335	141.8	190.8	1.347	1.815
24	6__Main TS	0.1334	141.8	190.8	1.348	1.816
25	7__Main TS	0.1334	141.9	190.8	1.348	1.816
26	8__Main TS	0.1334	141.9	190.8	1.349	1.817
27	9__Main TS	0.1334	141.9	190.7	1.349	1.816
28	10__Main TS	0.1335	141.8	190.5	1.349	1.815
29	Reboiler	0.1337	141.6	190.1	1.348	1.813
30						
31	Column Composition Profile : Vapour Mole Fractions					
32						
33	Tray Number	Styrene	E-Benzene			
34	Condenser	0.3505	0.6495			
35	1__Main TS	0.3950	0.6050			
36	2__Main TS	0.4234	0.5766			
37	3__Main TS	0.4411	0.5589			
38	4__Main TS	0.4519	0.5481			
39	5__Main TS	0.4585	0.5415			
40	6__Main TS	0.4622	0.5378			
41	7__Main TS	0.4685	0.5315			
42	8__Main TS	0.4790	0.5210			
43	9__Main TS	0.4966	0.5034			
44	10__Main TS	0.5257	0.4743			
45	Reboiler	0.5732	0.4268			
46						
47	Column Composition Profile : Liquid Mole Fractions					
48	Tray Number	Styrene	E-Benzene			
49	Condenser	0.4246	0.5754			
50	1__Main TS	0.4721	0.5279			
51	2__Main TS	0.5016	0.4984			
52	3__Main TS	0.5197	0.4803			
53	4__Main TS	0.5307	0.4693			
54	5__Main TS	0.5373	0.4627			
55	6__Main TS	0.5410	0.4590			
56	7__Main TS	0.5473	0.4527			
57	8__Main TS	0.5578	0.4422			
58	9__Main TS	0.5751	0.4249			
59	10__Main TS	0.6035	0.3965			
60	Reboiler	0.6487	0.3513			
61						
62	Column Heavy/Light Key Component Ratios Profile					
63						
64	Key Components					
65	Light Key	Chosen		Heavy Key		Chosen
66	Styrene	Off		Styrene		Off
67	E-Benzene	Off		E-Benzene		Off
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 11 of 15	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia			Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc		
2				Unit Set: SI		
3				Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003		
4						
5						
6	Distillation: T-100 (continued)					
7						
8	TRAY by TRAY PROPERTIES TABLES					
9						
10	Column Heavy/Light Key Component Ratios Profile					
11						
12	Component Ratios					
13						
14						
15	Stage	Vapour			Liquid	
16	Condenser	---			---	
17	1__Main TS	---			---	
18	2__Main TS	---			---	
19	3__Main TS	---			---	
20	4__Main TS	---			---	
21	5__Main TS	---			---	
22	6__Main TS	---			---	
23	7__Main TS	---			---	
24	8__Main TS	---			---	
25	9__Main TS	---			---	
26	10__Main TS	---			---	
27	Reboiler	---			---	
28						
29	Column K-Values Profile					
30	Tray Number	Styrene	E-Benzene			
31	Condenser	0.8253	1.129			
32	1__Main TS	0.8366	1.146			
33	2__Main TS	0.8440	1.157			
34	3__Main TS	0.8486	1.164			
35	4__Main TS	0.8515	1.168			
36	5__Main TS	0.8533	1.170			
37	6__Main TS	0.8543	1.172			
38	7__Main TS	0.8560	1.174			
39	8__Main TS	0.8588	1.178			
40	9__Main TS	0.8635	1.185			
41	10__Main TS	0.8711	1.196			
42	Reboiler	0.8836	1.215			
43						
44	Tray Sizing: Tray Sizing-1					
45						
46	SETUP					
47						
48	Tray Section:	Main TS @COL1	Liquid Draw:	0.00 % *	Sieve Tray Flooding Method:	Minimum Csb
49						
50		Section_1	Section_2			
51	Section Start	1__Main TS	6__Main TS			
52	Section End	5__Main TS	10__Main TS			
53	Internals	Packed	Packed			
54	Mode	Rating	Rating			
55	Active	On	On			
56	Status	Complete	Complete			
57	Design Limit	Specd Diameter	Specd Diameter			
58	Limiting Stage	1__Main TS	6__Main TS			
59						
60	SPECIFICATIONS					
61		Section_1	Section_2			
62	Section Start	1__Main TS	6__Main TS			
63	Section End	5__Main TS	10__Main TS			
64	Internals	Packed	Packed			
65	Mode	Rating	Rating			
66	Number of Flow Paths	---	---			
67	Section Diameter (m)	0.5000 *	0.5000 *			
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 12 of 15	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc	
2			Unit Set: SI	
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003	
4				
5				
6	Tray Sizing: Tray Sizing-1 (continued)			
7				
8				
9	Tray for Properties	1__Main TS	6__Main TS	
10	Tray Spacing (mm)	---	---	
11	Tray Thickness (mm)	---	---	
12	Foaming Factor	1.000 *	1.000 *	
13	Max Delta P (ht of liq)	0.4086 kPa/m *	0.4086 kPa/m *	
14	Max Flooding (%)	75.00 *	75.00 *	
15	Packing Correlation	Robbins	Robbins	
16	HETP (m)	0.4279 *	0.4275 *	
17	Packing Type	Pall Rings (Metal) 1__inch	Pall Rings (Metal) 1__inch	
18	TRAY INTERNALS			
19				
20		Section_1	Section_2	
21	Section Start	1__Main TS	6__Main TS	
22	Section End	5__Main TS	10__Main TS	
23	Internals	Packed	Packed	
24	Sieve Hole Pitch (mm)	---	---	
25	Sieve Hole Diameter (mm)	---	---	
26	Valve Mat'l Density (kg/m3)	---	---	
27	Valve Mat'l Thickness (mm)	---	---	
28	Hole Area (% of AA) (%)	---	---	
29	Valve Orifice Type	---	---	
30	Valve Design Manual	---	---	
31	Bubble Cap Slot Height (mm)	---	---	
32	Side Weir Type	---	---	
33	Weir Height (mm)	---	---	
34	Max Weir Loading (m3/h-m)	---	---	
35	Downcomer Type	---	---	
36	Downcomer Clearance (mm)	---	---	
37	Max DC Backup (%)	---	---	
38	Side DC Top Width (mm)	---	---	
39	Side DC Bottom Width (mm)	---	---	
40	Centre DC Top Width (mm)	---	---	
41	Centre DC Bottom Width (mm)	---	---	
42	O.C. DC Top Width (mm)	---	---	
43	O.C. DC Bottom Width (mm)	---	---	
44	O.S. DC Top Width (mm)	---	---	
45	O.S. DC Bottom Width (mm)	---	---	
46	PACKED RESULTS			
47				
48		Section_1	Section_2	
49	Section Start	1__Main TS	6__Main TS	
50	Section End	5__Main TS	10__Main TS	
51	Internals	Packed	Packed	
52	Section Diameter (m)	0.5000	0.5000	
53	Max Flooding (%)	26.02	15.38	
54	X-Sectional Area (m2)	0.1963	0.1963	
55	Section Height (m)	2.139	2.137	
56	Section DeltaP (kPa)	0.1196	4.136e-002	
57	DP per Length (kPa/m)	6.840e-002	2.368e-002	
58	Flood Gas Velocity (m3/h-m2)	2.185e+004	2.115e+004	
59	Flood Gas Velocity (m/s)	6.069	5.876	
60	Estimated # Pieces of Packing	20834	20816	
61	Estimated Mass of Packing (kg)	201.6	201.4	
62	Estimated Packing Cost (US\$)	281.85	281.60	
63	HETP (m)	0.4279	0.4275	
64	HETP Correlation	Norton	Norton	
65	Packing Correlation	Robbins	Robbins	
66	Packing Type	Pall Rings (Metal) 1__inch	Pall Rings (Metal) 1__inch	
67	TRAY PRESSURE DROPS: Section 1			
68	Hyprotech Ltd.	HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 13 of 15

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpfl21\Puma\Styrene.hsc		
2			Unit Set: SI		
3			Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003		
4					
5					
6	Tray Sizing: Tray Sizing-1 (continued)				
7					
8	TRAY PRESSURE DROPS: Section 1				
9		Delta P (kPa)	Delta P (ht of liq) (mm)	Dry Delta P (ht of liq) (mm)	
10	1__Main TS	---	---	---	
11	2__Main TS	---	---	---	
12	3__Main TS	---	---	---	
13	4__Main TS	---	---	---	
14	5__Main TS	---	---	---	
15					
16	TRAY FLOODING RESULTS: Section_1				
17		Flooding (%)	Vapour Load (ACT_m3/h)	Weir Load (m3/h-m)	Liq Ht over Weir (mm)
18	1__Main TS	---	---	---	---
19	2__Main TS	---	---	---	---
20	3__Main TS	---	---	---	---
21	4__Main TS	---	---	---	---
22	5__Main TS	---	---	---	---
23		Flood Capacity	Entrainment (%)	Entrainment (kg/h)	Weep Velocity (m/s)
24	1__Main TS	---	---	---	---
25	2__Main TS	---	---	---	---
26	3__Main TS	---	---	---	---
27	4__Main TS	---	---	---	---
28	5__Main TS	---	---	---	---
29	LIQUID PROFILE (FROM TRAY)				
30		1__Main TS	2__Main TS	3__Main TS	4__Main TS
31	Mass Flow (kg/h)	171.8	171.6	171.4	171.3
32	Liquid Flow (m3/s)	5.623e-005	5.612e-005	5.605e-005	5.601e-005
33	Molecular Weight	105.2	105.2	105.1	105.1
34	Temperature (C)	61.43	61.86	62.21	62.51
35	Density (kg/m3)	848.6	849.3	849.7	849.8
36	Viscosity (cP)	0.4171	0.4175	0.4174	0.4169
37	Surface Tension (dyne/cm)	25.46	25.48	25.48	25.47
38		5__Main TS	6__Main TS	7__Main TS	8__Main TS
39	Mass Flow (kg/h)	286.2	286.3	286.4	286.5
40	Liquid Flow (m3/s)	9.354e-005	9.359e-005	9.363e-005	9.363e-005
41	Molecular Weight	105.1	105.1	105.1	105.0
42	Temperature (C)	62.77	63.02	63.28	63.57
43	Density (kg/m3)	849.8	849.7	849.7	849.9
44	Viscosity (cP)	0.4162	0.4155	0.4148	0.4144
45	Surface Tension (dyne/cm)	25.45	25.44	25.42	25.41
46		9__Main TS	10__Main TS		
47	Mass Flow (kg/h)	286.5	286.5		
48	Liquid Flow (m3/s)	9.360e-005	9.353e-005		
49	Molecular Weight	105.0	105.0		
50	Temperature (C)	63.91	64.33		
51	Density (kg/m3)	850.2	850.9		
52	Viscosity (cP)	0.4142	0.4145		
53	Surface Tension (dyne/cm)	25.42	25.43		
54	VAPOUR PROFILE (TO TRAY)				
55		1__Main TS	2__Main TS	3__Main TS	4__Main TS
56	Mass Flow (kg/h)	286.8	286.6	286.4	286.3
57	Gas Flow (ACT_m3/h)	1116	1106	1096	1086
58	Molecular Weight	105.3	105.3	105.3	105.2
59	Temperature (C)	61.86	62.21	62.51	62.77
60	Density (kg/m3)	0.2569	0.2591	0.2613	0.2636
61	Viscosity (cP)	6.342e-003	6.349e-003	6.355e-003	6.361e-003
62	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 14 of 15

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68



Héctor Jr De la Hoz Siegler
Bogotá,
Colombia

Case Name: \\Wpf121\Puma\Styrene.hsc

Unit Set: SI

Date/Time: Sat Jun 07 11:25:58 2003

Tray Sizing: Tray Sizing-1 (continued)

Fluid Pressure (kPa)	6.700	6.767	6.833	6.900
	5_Main TS	6_Main TS	7_Main TS	8_Main TS
Mass Flow (kg/h)	171.2	171.3	171.4	171.5
Gas Flow (ACT_m3/h)	643.7	638.7	633.8	629.0
Molecular Weight	105.2	105.2	105.2	105.2
Temperature (C)	63.02	63.28	63.57	63.91
Density (kg/m3)	0.2659	0.2682	0.2705	0.2726
Viscosity (cP)	6.366e-003	6.371e-003	6.377e-003	6.384e-003
Fluid Pressure (kPa)	6.967	7.033	7.100	7.167
	9_Main TS	10_Main TS		
Mass Flow (kg/h)	171.5	171.5		
Gas Flow (ACT_m3/h)	624.4	625.7		
Molecular Weight	105.1	105.0		
Temperature (C)	64.33	64.67		
Density (kg/m3)	0.2746	0.2741		
Viscosity (cP)	6.392e-003	6.398e-003		
Fluid Pressure (kPa)	7.233	7.300		

F. CASO 2: REPORTE DE SIMULACIÓN

Destilación de Clorobenceno / Etilbenceno

Apéndice F

ASPEN PLUS PLAT: WIN32

VER: 11.1
 CLOROBENCENO-ETILBENCENO
 RUN CONTROL SECTION

08/04/2003 PAGE 1

RUN CONTROL INFORMATION

THIS COPY OF ASPEN PLUS LICENSED TO NACIONAL DE

TYPE OF RUN: EDIT

INPUT FILE NAME: _2733qro.inm

INPUT PROBLEM DATA FILE NAME : _2733qro VERSION NO. 1

OUTPUT PROBLEM DATA FILE NAME: _4511ludu VERSION NO. 1

BLOCK: COLUMNA MODEL: RADFRAC

INLETS - ALIMENTO STAGE 2
 OUTLETS - CIMA STAGE 1
 FONDOS STAGE 12

PROPERTY OPTION SET: PSRK RKS-MHV1 EQUATION OF STATE

	*** MASS AND ENERGY BALANCE ***			
	IN	OUT		RELATIVE DIFF.
TOTAL BALANCE				
MOLE(KMOL/HR)	4.57193	4.57193		0.000000E+00
MASS(KG/HR)	500.000	500.000		0.379259E-12
ENTHALPY(MMKCAL/H)	0.264256E-01	0.261593E-01		0.100794E-01

 ***** INPUT DATA *****

***** INPUT PARAMETERS *****

NUMBER OF STAGES	12
ALGORITHM OPTION	STANDARD
ABSORBER OPTION	NO
INITIALIZATION OPTION	STANDARD
HYDRAULIC PARAMETER CALCULATIONS	NO
INSIDE LOOP CONVERGENCE METHOD	BROYDEN
DESIGN SPECIFICATION METHOD	NESTED
MAXIMUM NO. OF OUTSIDE LOOP ITERATIONS	25
MAXIMUM NO. OF INSIDE LOOP ITERATIONS	10
MAXIMUM NUMBER OF FLASH ITERATIONS	50
FLASH TOLERANCE	0.00010000
OUTSIDE LOOP CONVERGENCE TOLERANCE	0.00010000

***** COL-SPECS *****

MOLAR VAPOR DIST / TOTAL DIST	1.00000
MASS REFLUX RATIO	1.50000
MASS BOTTOMS RATE	KG/HR 250.000

***** PROFILES *****

P-SPEC STAGE 1 PRES, BAR 0.067000

 **** RESULTS ****

*** COMPONENT SPLIT FRACTIONS ***

		OUTLET STREAMS	

	CIMA	FONDOS	
COMPONENT:			
CHLBE-01	.56381	.43619	
ETHYL-01	.43235	.56765	

*** SUMMARY OF KEY RESULTS ***

TOP STAGE TEMPERATURE	C	55.6836
BOTTOM STAGE TEMPERATURE	C	56.0263
TOP STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	3.42426
BOTTOM STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	2.29475
TOP STAGE VAPOR FLOW	KMOL/HR	2.27719
BOTTOM STAGE VAPOR FLOW	KMOL/HR	3.39268
MOLAR REFLUX RATIO		1.50372
MOLAR BOILUP RATIO		1.47845
CONDENSER DUTY (W/O SUBCOOL)	MMKCAL/H	-0.032807
REBOILER DUTY	MMKCAL/H	0.032540

**** MAXIMUM FINAL RELATIVE ERRORS ****

DEW POINT	0.70016E-08	STAGE= 12
BUBBLE POINT	0.24996E-07	STAGE= 12
COMPONENT MASS BALANCE	0.31228E-06	STAGE= 12 COMP=CHLBE-01
ENERGY BALANCE	0.30357E-06	STAGE= 12

**** PROFILES ****

NOTE REPORTED VALUES FOR STAGE LIQUID AND VAPOR RATES ARE THE FLOWS FROM THE STAGE EXCLUDING ANY SIDE PRODUCT. FOR THE FIRST STAGE, THE REPORTED VAPOR FLOW IS THE VAPOR DISTILLATE FLOW. FOR THE LAST STAGE, THE REPORTED LIQUID FLOW IS THE LIQUID BOTTOMS FLOW.

STAGE	TEMPERATURE C	PRESSURE BAR	ENTHALPY KCAL/MOL		HEAT DUTY MMKCAL/H
			LIQUID	VAPOR	
1	55.684	0.67000E-01	1.0700	10.851	-.32807-01
2	55.783	0.67000E-01	0.94235	10.731	
3	55.784	0.67000E-01	0.94117	10.729	
11	55.928	0.67000E-01	0.75672	10.553	.32540-01
12	56.026	0.67000E-01	0.63168	10.432	

STAGE	FLOW RATE KMOL/HR		FEED RATE KMOL/HR			PRODUCT RATE KMOL/HR	
	LIQUID	VAPOR	LIQUID	VAPOR	MIXED	LIQUID	VAPOR
1	3.424	2.277					2.2771
2	5.692	5.701	2.2692	2.3027			
3	5.692	3.398					
11	5.687	3.395					
12	2.295	3.393				2.2947	

Apéndice F

**** MASS FLOW PROFILES ****

STAGE	FLOW RATE KG/HR		FEED RATE KG/HR			PRODUCT RATE KG/HR	
	LIQUID	VAPOR	LIQUID	VAPOR	MIXED	LIQUID	VAPOR
1	375.0	250.0					
2	622.4	625.0	247.8562	252.1437			249.9999
3	622.4	372.4					
11	620.5	371.3					
12	250.0	370.5				250.0000	

**** MOLE-X-PROFILE ****

STAGE	CHLBE-01	ETHYL-01
1	0.52344	0.47656
2	0.49759	0.50241
3	0.49735	0.50265
11	0.45993	0.54007
12	0.43452	0.56548

**** MOLE-Y-PROFILE ****

STAGE	CHLBE-01	ETHYL-01
1	0.56598	0.43402
2	0.54043	0.45957
3	0.54019	0.45981
11	0.50280	0.49720
12	0.47712	0.52288

**** K-VALUES ****

STAGE	CHLBE-01	ETHYL-01
1	1.0813	0.91073
2	1.0861	0.91473
3	1.0861	0.91477
11	1.0932	0.92064
12	1.0980	0.92467

**** MASS-X-PROFILE ****

STAGE	CHLBE-01	ETHYL-01
1	0.53800	0.46200
2	0.51221	0.48779
3	0.51197	0.48803
11	0.47448	0.52552
12	0.44894	0.55106

**** MASS-Y-PROFILE ****

STAGE	CHLBE-01	ETHYL-01
1	0.58028	0.41972
2	0.55491	0.44509
3	0.55467	0.44533
11	0.51740	0.48260
12	0.49172	0.50828

 ***** HYDRAULIC PARAMETERS *****

*** DEFINITIONS ***

MARANGONI INDEX = SIGMA - SIGMATO

Apéndice F

FLOW PARAM = (ML/MV)*SQRT(RHOV/RHOL)

QR = QV*SQRT(RHOV/(RHOL-RHOV))

F FACTOR = QV*SQRT(RHOV)

WHERE:

SIGMA IS THE SURFACE TENSION OF LIQUID FROM THE STAGE

SIGMATO IS THE SURFACE TENSION OF LIQUID TO THE STAGE

ML IS THE MASS FLOW OF LIQUID FROM THE STAGE

MV IS THE MASS FLOW OF VAPOR TO THE STAGE

RHOL IS THE MASS DENSITY OF LIQUID FROM THE STAGE

RHOV IS THE MASS DENSITY OF VAPOR TO THE STAGE

QV IS THE VOLUMETRIC FLOW RATE OF VAPOR TO THE STAGE

TEMPERATURE
C

STAGE	LIQUID FROM	VAPOR TO
1	55.684	55.783
2	55.783	55.813
3	55.784	55.785
11	55.928	56.026
12	56.026	56.026

STAGE	MASS FLOW KG/HR		VOLUME FLOW CUM/HR		MOLECULAR WEIGHT	
	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO
1	375.00	625.00	0.44883	2318.7	109.51	109.62
2	622.45	624.59	0.75007	2318.4	109.35	109.57
3	622.44	372.44	0.75011	1381.7	109.35	109.62
11	620.54	370.54	0.75517	1380.7	109.11	109.22
12	250.00	370.54	0.30626	1380.7	108.94	109.22

STAGE	DENSITY KG/CUM		VISCOSITY CP		SURFACE TENSION DYNE/CM	
	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	
1	835.50	0.26955	0.48858	0.74639E-02	27.279	
2	829.85	0.26941	0.48833	0.74548E-02	27.162	
3	829.80	0.26954	0.48833	0.74632E-02	27.161	
11	821.71	0.26837	0.48787	0.73916E-02	26.993	
12	816.29	0.26837	0.48750	0.73916E-02	26.878	

STAGE	MARANGONI INDEX DYNE/CM	FLOW PARAM	QR CUM/HR	REDUCED F-FACTOR (GM-L)**.5/MIN	
1		0.10777E-01	41.654	20063.	
2	-.35357E-01	0.17956E-01	41.780	20056.	
3	-.10835E-02	0.30121E-01	24.907	11956.	
11	-.69034E-01	0.30265E-01	24.956	11921.	
12	-.11448	0.12234E-01	25.039	11921.	

 ***** PACKING RATING CALCULATIONS *****

 *** SECTION 1 ***

Apéndice F

STARTING STAGE NUMBER		2
ENDING STAGE NUMBER		11
CAPACITY CALCULATION METHOD		STICHL
PRESSURE DROP CALCULATION METHOD		STICHL
LIQUID HOLDUP CALCULATION METHOD		STICHL
PRESSURE PROFILE UPDATED		NO

DESIGN PARAMETERS

OVERDESIGN FACTOR		1.00000
SYSTEM FOAMING FACTOR		1.00000
COLUMN DIAMETER	METER	0.22000
MAXIMUM CAPACITY FACTOR	M/SEC	MISSING

PACKING SPECIFICATIONS

PACKING TYPE		PALL-RING
PACKING MATERIAL		METAL
PACKING SIZE		2-IN
VENDOR		GENERIC
PACKING FACTOR	1/M	66.0000
PACKING SURFACE AREA	SQCM/CC	1.15000
PACKING VOID FRACTION		0.96000
FIRST STICHLMAIR CONSTANT		0.10000
SECOND STICHLMAIR CONSTANT		0.10000
THIRD STICHLMAIR CONSTANT		2.10000
HETP	METER	0.75000
PACKING HEIGHT	METER	7.50000

***** RATING RESULTS *****

COLUMN DIAMETER	METER	0.22000
MAXIMUM FRACTIONAL CAPACITY		2.23870
MAXIMUM CAPACITY FACTOR	M/SEC	0.30530
PRESSURE DROP FOR THE SECTION	BAR	0.17107
AVERAGE PRESSURE DROP/HEIGHT	MM-WATER/M	232.585
MAXIMUM LIQUID HOLDUP/STAGE	CUM	MISSING

**** RATING PROFILES ****

STAGE	HEIGHT FROM TOP OF SECTION METER	FRACTIONAL CAPACITY	PRESSURE DROP BAR	PRESSURE DROP/HEIGHT MM-WATER/M	LIQUID HOLDUP CUM	HETP METER
2	0.0000E+00	2.239	0.67010E-02	91.109	MISSING	0.7500
3	0.7500	1.335	0.18309E-01	248.94	MISSING	0.7500
4	1.500	1.335	0.18307E-01	248.91	MISSING	0.7500
5	2.250	1.335	0.18304E-01	248.87	MISSING	0.7500
6	3.000	1.335	0.18299E-01	248.79	MISSING	0.7500
7	3.750	1.335	0.18289E-01	248.67	MISSING	0.7500
8	4.500	1.336	0.18274E-01	248.45	MISSING	0.7500
9	5.250	1.337	0.18247E-01	248.10	MISSING	0.7500
10	6.000	1.338	0.18204E-01	247.50	MISSING	0.7500
11	6.750	1.340	0.18131E-01	246.51	MISSING	0.7500

G. PROBLEMA DE DISEÑO: REPORTES DE SIMULACIÓN

Parte 1: Simulación en Aspen Plus[®]

RUN CONTROL SECTION

RUN CONTROL INFORMATION

THIS COPY OF ASPEN PLUS LICENSED TO NACIONAL DE

TYPE OF RUN: NEW

INPUT FILE NAME: _0757ozy.inm

BLOCK: COLUMN MODEL: RADFRAC

INLETS - ALIMENTO STAGE 28
 OUTLETS - I-BUTANO STAGE 1
 N-BUTANO STAGE 57

PROPERTY OPTION SET: PENG-ROB STANDARD PR EQUATION OF STATE

	*** MASS AND ENERGY BALANCE ***	***	RELATIVE DIFF.
TOTAL BALANCE	IN	OUT	
MOLE(KMOL/HR)	500.000	500.000	0.000000E+00
MASS(KG/HR)	29061.7	29061.7	0.000000E+00
ENTHALPY(MMKCAL/H)	-15.6644	-18.0104	0.130258

 ***** INPUT DATA *****

**** INPUT PARAMETERS ****

NUMBER OF STAGES	57
ALGORITHM OPTION	STANDARD
ABSORBER OPTION	NO
INITIALIZATION OPTION	STANDARD
HYDRAULIC PARAMETER CALCULATIONS	NO
INSIDE LOOP CONVERGENCE METHOD	BROYDEN
DESIGN SPECIFICATION METHOD	NESTED
MAXIMUM NO. OF OUTSIDE LOOP ITERATIONS	25
MAXIMUM NO. OF INSIDE LOOP ITERATIONS	10
MAXIMUM NUMBER OF FLASH ITERATIONS	50
FLASH TOLERANCE	0.00010000
OUTSIDE LOOP CONVERGENCE TOLERANCE	0.00010000

**** COL-SPECS ****

MOLAR VAPOR DIST / TOTAL DIST	0.0
MOLAR REFLUX RATIO	15.0000
MOLAR DISTILLATE RATE	KMOL/HR 300.300

**** PROFILES ****

P-SPEC	STAGE 1	PRES, BAR	3.60000
--------	---------	-----------	---------

Apendice G1 - Reporte Aspen Plus
 **** RESULTS ****

*** COMPONENT SPLIT FRACTIONS ***

COMPONENT:	OUTLET STREAMS	
	I-BUTANO	N-BUTANO
N-BUT-01	.21320E-02	.99787
ISOBU-01	.99958	.42137E-03

*** SUMMARY OF KEY RESULTS ***

TOP STAGE TEMPERATURE	C	26.2086
BOTTOM STAGE TEMPERATURE	C	42.1176
TOP STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	4,504.50
BOTTOM STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	199.700
TOP STAGE VAPOR FLOW	KMOL/HR	0.0
BOTTOM STAGE VAPOR FLOW	KMOL/HR	4,090.32
MOLAR REFLUX RATIO		15.0000
MOLAR BOILUP RATIO		20.4823
CONDENSER DUTY (W/O SUBCOOL)	MMKCAL/H	-22.0368
REBOILER DUTY	MMKCAL/H	19.6914

**** MAXIMUM FINAL RELATIVE ERRORS ****

DEW POINT	0.17014E-09	STAGE= 29
BUBBLE POINT	0.28461E-10	STAGE= 32
COMPONENT MASS BALANCE	0.17007E-08	STAGE= 11 COMP=N-BUT-01
ENERGY BALANCE	0.31763E-09	STAGE= 35

**** PROFILES ****

NOTE REPORTED VALUES FOR STAGE LIQUID AND VAPOR RATES ARE THE FLOWS FROM THE STAGE EXCLUDING ANY SIDE PRODUCT. FOR THE FIRST STAGE, THE REPORTED VAPOR FLOW IS THE VAPOR DISTILLATE FLOW. FOR THE LAST STAGE, THE REPORTED LIQUID FLOW IS THE LIQUID BOTTOMS FLOW.

STAGE	TEMPERATURE C	PRESSURE BAR	ENTHALPY KCAL/MOL		HEAT DUTY MMKCAL/H
			LIQUID	VAPOR	
1	26.209	3.6000	-36.952	-32.368	-22.0367
2	26.283	3.6071	-36.948	-32.365	
6	26.599	3.6357	-36.930	-32.353	
7	26.686	3.6429	-36.924	-32.348	
8	26.779	3.6500	-36.917	-32.342	
9	26.879	3.6571	-36.908	-32.335	
26	32.798	3.7786	-35.950	-31.423	
27	33.439	3.7857	-35.842	-31.307	
28	34.137	3.7929	-35.726	-31.178	
56	42.050	3.9929	-34.623	-29.811	
57	42.118	4.0000	-34.620	-29.809	19.6914

STAGE	FLOW RATE KMOL/HR		FEED RATE KMOL/HR			PRODUCT RATE KMOL/HR	
	LIQUID	VAPOR	LIQUID	VAPOR	MIXED	LIQUID	VAPOR
1	4504.	0.0000E+00				300.3000	
2	4505.	4805.					

Apendice G1 - Reporte Aspen Plus

6	4507.	4807.		
7	4507.	4807.		
8	4507.	4808.		
9	4507.	4808.		
26	4381.	4695.		
27	4369.	4682.	500.0000	
28	4357.	4170.		
56	4290.	4089.		
57	199.7	4090.		199.7000

**** MASS FLOW PROFILES ****

STAGE	FLOW RATE KG/HR		LIQUID	FEED RATE KG/HR		MIXED	PRODUCT RATE KG/HR	
	LIQUID	VAPOR		VAPOR			LIQUID	VAPOR
1	0.2618E+06	0.0000E+00					.17454+05	
2	0.2619E+06	0.2793E+06						
6	0.2620E+06	0.2794E+06						
7	0.2620E+06	0.2794E+06						
8	0.2620E+06	0.2794E+06						
9	0.2620E+06	0.2794E+06						
26	0.2547E+06	0.2729E+06						
27	0.2540E+06	0.2721E+06		.29062+05				
28	0.2532E+06	0.2423E+06						
56	0.2494E+06	0.2377E+06						
57	0.1161E+05	0.2377E+06					.11607+05	

**** MOLE-X-PROFILE ****

STAGE	N-BUT-01	ISOBU-01
1	0.14199E-02	0.99858
2	0.19495E-02	0.99805
6	0.60661E-02	0.99393
7	0.79099E-02	0.99209
8	0.10269E-01	0.98973
9	0.13281E-01	0.98672
26	0.43754	0.56246
27	0.48538	0.51462
28	0.53720	0.46280
56	0.99916	0.83962E-03
57	0.99937	0.63300E-03

**** MOLE-Y-PROFILE ****

STAGE	N-BUT-01	ISOBU-01
1	0.10339E-02	0.99897
2	0.14199E-02	0.99858
6	0.44265E-02	0.99557
7	0.57759E-02	0.99422
8	0.75045E-02	0.99250
9	0.97159E-02	0.99028
26	0.36372	0.63628
27	0.40957	0.59043
28	0.46076	0.53924
56	0.99887	0.11272E-02
57	0.99915	0.84971E-03

**** K-VALUES ****

STAGE	N-BUT-01	ISOBU-01
1	0.72813	1.0004
2	0.72836	1.0005
6	0.72971	1.0016
7	0.73021	1.0022
8	0.73082	1.0028
9	0.73157	1.0036

		Apendice G1 - Reporte Aspen Plus
26	0.83129	1.1312
27	0.84381	1.1473
28	0.85771	1.1652
56	0.99971	1.3425
57	0.99978	1.3423

```

**** MASS-X-PROFILE ****
STAGE      N-BUT-01      ISOBU-01
1          0.14199E-02  0.99858
2          0.19495E-02  0.99805
6          0.60661E-02  0.99393
7          0.79099E-02  0.99209
8          0.10269E-01  0.98973
9          0.13281E-01  0.98672
26         0.43754      0.56246
27         0.48538      0.51462
28         0.53720      0.46280
56         0.99916      0.83962E-03
57         0.99937      0.63300E-03

```

```

**** MASS-Y-PROFILE ****
STAGE      N-BUT-01      ISOBU-01
1          0.10339E-02  0.99897
2          0.14199E-02  0.99858
6          0.44265E-02  0.99557
7          0.57759E-02  0.99422
8          0.75045E-02  0.99250
9          0.97159E-02  0.99028
26         0.36372      0.63628
27         0.40957      0.59043
28         0.46076      0.53924
56         0.99887      0.11272E-02
57         0.99915      0.84971E-03

```

 ***** HYDRAULIC PARAMETERS *****

*** DEFINITIONS ***

MARANGONI INDEX = SIGMA - SIGMATO
 FLOW PARAM = (ML/MV)*SQRT(RHOV/RHOL)
 QR = QV*SQRT(RHOV/(RHOL-RHOV))
 F FACTOR = QV*SQRT(RHOV)
 WHERE:
 SIGMA IS THE SURFACE TENSION OF LIQUID FROM THE STAGE
 SIGMATO IS THE SURFACE TENSION OF LIQUID TO THE STAGE
 ML IS THE MASS FLOW OF LIQUID FROM THE STAGE
 MV IS THE MASS FLOW OF VAPOR TO THE STAGE
 RHOL IS THE MASS DENSITY OF LIQUID FROM THE STAGE
 RHOV IS THE MASS DENSITY OF VAPOR TO THE STAGE
 QV IS THE VOLUMETRIC FLOW RATE OF VAPOR TO THE STAGE

STAGE	TEMPERATURE	
	LIQUID FROM	VAPOR TO
1	26.209	26.283
2	26.283	26.358

Appendix G1 - Reporte Aspen Plus

6	26.599	26.686
7	26.686	26.779
8	26.779	26.879
9	26.879	26.987
26	32.798	33.439
27	33.439	34.043
28	34.137	34.861
56	42.050	42.118
57	42.118	42.118

STAGE	MASS FLOW KG/HR		VOLUME FLOW CUM/HR		MOLECULAR WEIGHT	
	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO
1	0.27927E+06	0.27927E+06	508.01	29947.	58.123	58.123
2	0.26186E+06	0.27931E+06	476.41	29895.	58.123	58.123
6	0.26197E+06	0.27943E+06	476.89	29687.	58.123	58.123
7	0.26198E+06	0.27944E+06	476.97	29635.	58.123	58.123
8	0.26198E+06	0.27944E+06	477.02	29583.	58.123	58.123
9	0.26197E+06	0.27942E+06	477.04	29530.	58.123	58.123
26	0.25466E+06	0.27212E+06	461.90	28413.	58.123	58.123
27	0.25396E+06	0.27141E+06	460.37	28401.	58.123	58.123
28	0.25323E+06	0.24162E+06	458.79	25252.	58.123	58.123
56	0.24935E+06	0.23774E+06	451.11	24088.	58.123	58.123
57	11607.	0.23774E+06	21.002	24088.	58.123	58.123

STAGE	DENSITY KG/CUM		VISCOSITY CP		SURFACE TENSION DYNE/CM
	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM	VAPOR TO	LIQUID FROM
1	549.73	9.3255	0.17232	0.77807E-02	10.111
2	549.65	9.3431	0.17221	0.77830E-02	10.103
6	549.34	9.4123	0.17174	0.77926E-02	10.074
7	549.27	9.4293	0.17160	0.77953E-02	10.067
8	549.20	9.4459	0.17144	0.77980E-02	10.059
9	549.14	9.4623	0.17127	0.78010E-02	10.052
26	551.34	9.5772	0.15675	0.79507E-02	9.9078
27	551.63	9.5562	0.15516	0.79637E-02	9.8959
28	551.95	9.5683	0.15344	0.79822E-02	9.8830
56	552.75	9.8697	0.13616	0.81520E-02	9.6069
57	552.67	9.8697	0.13608	0.81520E-02	9.6000

STAGE	MARANGONI INDEX DYNE/CM	FLOW PARAM	QR CUM/HR	REDUCED F-FACTOR (GM-L)**.5/MIN
1		0.13024	3934.0	0.15242E+07
2	-.73659E-02	0.12223	3931.2	0.15230E+07
6	-.73280E-02	0.12272	3919.7	0.15180E+07
7	-.73210E-02	0.12284	3916.6	0.15167E+07
8	-.73159E-02	0.12295	3913.5	0.15153E+07
9	-.73132E-02	0.12307	3910.1	0.15139E+07
26	-.11526E-01	0.12334	3777.8	0.14655E+07
27	-.11916E-01	0.12315	3771.0	0.14633E+07
28	-.12886E-01	0.13799	3354.0	0.13019E+07
56	-.69028E-02	0.14015	3247.9	0.12613E+07
57	-.68790E-02	0.65244E-02	3248.1	0.12613E+07

 ***** PACKING SIZING CALCULATIONS *****

Appendix G1 - Report Aspen Plus

 *** SECTION 1 ***

STARTING STAGE NUMBER 2
 ENDING STAGE NUMBER 56
 CAPACITY CALCULATION METHOD VENDOR
 PRESSURE DROP CALCULATION METHOD VENDOR
 LIQUID HOLDUP CALCULATION METHOD VENDOR
 PRESSURE PROFILE UPDATED NO

DESIGN PARAMETERS

 OVERDESIGN FACTOR 1.00000
 SYSTEM FOAMING FACTOR 1.00000
 FRAC. APP. TO MAXIMUM CAPACITY 0.75000
 MAXIMUM CAPACITY FACTOR M/SEC MISSING
 DESIGN CAPACITY FACTOR M/SEC MISSING
 PRESSURE DROP FOR THE SECTION BAR MISSING
 PRESSURE DROP PER UNIT HEIGHT MM-WATER/M 83.3312

PACKING SPECIFICATIONS

 PACKING TYPE PALL-RING
 PACKING MATERIAL METAL
 PACKING SIZE 50-MM
 VENDOR RASCHIG
 PACKING SURFACE AREA SQCM/CC 1.05000
 PACKING VOID FRACTION 0.96000
 HETP METER 0.75000
 PACKING HEIGHT METER 41.2500

***** SIZING RESULTS *****

COLUMN DIAMETER METER 5.64753
 MAXIMUM FRACTIONAL CAPACITY 0.75000
 MAXIMUM CAPACITY FACTOR M/SEC 0.043593
 PRESSURE DROP FOR THE SECTION BAR 0.019240
 AVERAGE PRESSURE DROP/HEIGHT MM-WATER/M 4.75609
 MAXIMUM LIQUID HOLDUP/STAGE CUM 0.58233


**** RATING PROFILES AT MAXIMUM COLUMN DIAMETER ****


STAGE	HEIGHT FROM TOP OF SECTION METER	FRACTIONAL CAPACITY	PRESSURE DROP BAR	PRESSURE DROP/HEIGHT MM-WATER/M	LIQUID HOLDUP CUM	HETP METER
2	0.0000E+00	0.7500	0.42226E-03	5.7411	0.5822	0.7500
3	0.7500	0.7496	0.42161E-03	5.7323	0.5822	0.7500
4	1.500	0.7491	0.42095E-03	5.7233	0.5823	0.7500
5	2.250	0.7487	0.42028E-03	5.7143	0.5823	0.7500
6	3.000	0.7482	0.41960E-03	5.7050	0.5823	0.7500
7	3.750	0.7477	0.41890E-03	5.6954	0.5823	0.7500
8	4.500	0.7472	0.41817E-03	5.6855	0.5823	0.7500
9	5.250	0.7466	0.41741E-03	5.6752	0.5822	0.7500
10	6.000	0.7461	0.41661E-03	5.6643	0.5821	0.7500
11	6.750	0.7454	0.41576E-03	5.6528	0.5819	0.7500
12	7.500	0.7447	0.41484E-03	5.6403	0.5817	0.7500
13	8.250	0.7439	0.41385E-03	5.6267	0.5813	0.7500


Apendice G1 - Reporte Aspen Plus


14	9.000	0.7431	0.41275E-03	5.6119	0.5809	0.7500
15	9.750	0.7421	0.41154E-03	5.5954	0.5803	0.7500
16	10.50	0.7409	0.41020E-03	5.5771	0.5795	0.7500
17	11.25	0.7397	0.40870E-03	5.5567	0.5786	0.7500
18	12.00	0.7382	0.40703E-03	5.5340	0.5775	0.7500
19	12.75	0.7366	0.40518E-03	5.5089	0.5761	0.7500
20	13.50	0.7348	0.40315E-03	5.4814	0.5745	0.7500
21	14.25	0.7328	0.40097E-03	5.4516	0.5727	0.7500
22	15.00	0.7307	0.39864E-03	5.4200	0.5707	0.7500
23	15.75	0.7285	0.39623E-03	5.3873	0.5685	0.7500
24	16.50	0.7263	0.39379E-03	5.3541	0.5662	0.7500
25	17.25	0.7241	0.39138E-03	5.3213	0.5639	0.7500
26	18.00	0.7220	0.38905E-03	5.2896	0.5616	0.7500
27	18.75	0.7206	0.38765E-03	5.2706	0.5594	0.7500
28	19.50	0.6558	0.30960E-03	4.2094	0.5571	0.7500
29	20.25	0.6539	0.30778E-03	4.1847	0.5547	0.7500
30	21.00	0.6521	0.30606E-03	4.1613	0.5525	0.7500
31	21.75	0.6505	0.30448E-03	4.1398	0.5504	0.7500
32	22.50	0.6490	0.30305E-03	4.1204	0.5484	0.7500
33	23.25	0.6477	0.30179E-03	4.1031	0.5467	0.7500
34	24.00	0.6466	0.30067E-03	4.0880	0.5452	0.7500
35	24.75	0.6456	0.29969E-03	4.0747	0.5440	0.7500
36	25.50	0.6448	0.29884E-03	4.0630	0.5429	0.7500
37	26.25	0.6441	0.29808E-03	4.0527	0.5421	0.7500
38	27.00	0.6435	0.29740E-03	4.0435	0.5414	0.7500
39	27.75	0.6429	0.29679E-03	4.0353	0.5409	0.7500
40	28.50	0.6424	0.29624E-03	4.0277	0.5405	0.7500
41	29.25	0.6420	0.29572E-03	4.0207	0.5402	0.7500
42	30.00	0.6416	0.29524E-03	4.0142	0.5400	0.7500
43	30.75	0.6412	0.29479E-03	4.0081	0.5398	0.7500
44	31.50	0.6408	0.29436E-03	4.0022	0.5397	0.7500
45	32.25	0.6405	0.29395E-03	3.9965	0.5397	0.7500
46	33.00	0.6402	0.29354E-03	3.9911	0.5396	0.7500
47	33.75	0.6399	0.29315E-03	3.9858	0.5396	0.7500
48	34.50	0.6396	0.29277E-03	3.9806	0.5396	0.7500
49	35.25	0.6393	0.29240E-03	3.9755	0.5397	0.7500
50	36.00	0.6390	0.29203E-03	3.9705	0.5397	0.7500
51	36.75	0.6387	0.29166E-03	3.9655	0.5398	0.7500
52	37.50	0.6384	0.29130E-03	3.9606	0.5398	0.7500
53	38.25	0.6381	0.29094E-03	3.9557	0.5399	0.7500
54	39.00	0.6378	0.29059E-03	3.9509	0.5400	0.7500
55	39.75	0.6376	0.29024E-03	3.9461	0.5400	0.7500
56	40.50	0.6373	0.28989E-03	3.9413	0.5401	0.7500


Parte 2: Simulación en Hysys®

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Iso-Butane-Rev.hsc			
2			Unit Set: SI			
3			Date/Time: Mon Jun 09 15:33:49 2003			
4						
5						
6	Tray Sizing: Montz-Robbins					
7						
8	SETUP					
9						
10						
11	Tray Section:	Main TS @COL1	Liquid Draw:	0.00 % *	Sieve Tray Flooding Method:	Minimum Csb
12						
13	Section_1					
14	Section Start	1_Main TS				
15	Section End	35_Main TS				
16	Internals	Packed				
17	Mode	Design				
18	Active	Off				
19	Status	Complete				
20	Design Limit	Flooding				
21	Limiting Stage	1_Main TS				
22						
23	SPECIFICATIONS					
24	Section_1					
25	Section Start	1_Main TS				
26	Section End	35_Main TS				
27	Internals	Packed				
28	Mode	Design				
29	Number of Flow Paths	---				
30	Section Diameter (m)	---				
31	Tray for Properties	---				
32	Tray Spacing (mm)	---				
33	Tray Thickness (mm)	---				
34	Foaming Factor	1.000 *				
35	Max Delta P (ht of liq)	0.8172 kPa/m *				
36	Max Flooding (%)	75.00 *				
37	Packing Correlation	Robbins				
38	HETP (m)	0.7469 *				
39	Packing Type	Montz A-2 (Metal Structured) Structured				
40						
41	PACKED RESULTS					
42	Section_1					
43	Section Start	1_Main TS				
44	Section End	35_Main TS				
45	Internals	Packed				
46	Section Diameter (m)	3.810				
47	Max Flooding (%)	72.44				
48	X-Sectional Area (m2)	11.40				
49	Section Height (m)	26.14				
50	Section DeltaP (kPa)	7.999				
51	DP per Length (kPa/m)	0.3744				
52	Flood Gas Velocity (m3/h-m2)	3624				
53	Flood Gas Velocity (m/s)	1.007				
54	Estimated # Pieces of Packing	---				
55	Estimated Mass of Packing (kg)	---				
56	Estimated Packing Cost (US\$)	---				
57	HETP (m)	0.7469				
58	HETP Correlation	Frank				
59	Packing Correlation	Robbins				
60	Packing Type	Montz A-2 (Metal Structured) Structured				
61						
62	LIQUID PROFILE (FROM TRAY)					
63		1_Main TS	2_Main TS	3_Main TS	4_Main TS	
64	Mass Flow (kg/h)	2.617e+005	2.618e+005	2.618e+005	2.618e+005	
65	Liquid Flow (m3/s)	0.1324	0.1325	0.1325	0.1325	
66	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
67	Temperature (C)	26.18	26.26	26.34	26.42	
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 1 of 5	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpfp121\Puma\Iso-Butane-Rev.hsc			
2			Unit Set: SI			
3			Date/Time: Mon Jun 09 15:33:49 2003			
4						
5						
6	Tray Sizing: Montz-Robbins (continued)					
7						
8						
9	Density (kg/m3)	549.0	548.9	548.9	548.8	
10	Viscosity (cP)	0.1649	0.1648	0.1647	0.1645	
11	Surface Tension (dyne/cm)	9.813	9.806	9.799	9.792	
12		5_Main TS	6_Main TS	7_Main TS	8_Main TS	
13	Mass Flow (kg/h)	2.618e+005	2.619e+005	2.619e+005	2.619e+005	
14	Liquid Flow (m3/s)	0.1326	0.1326	0.1326	0.1326	
15	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
16	Temperature (C)	26.51	26.59	26.69	26.79	
17	Density (kg/m3)	548.7	548.6	548.6	548.5	
18	Viscosity (cP)	0.1644	0.1642	0.1641	0.1639	
19	Surface Tension (dyne/cm)	9.785	9.779	9.773	9.768	
20		9_Main TS	10_Main TS	11_Main TS	12_Main TS	
21	Mass Flow (kg/h)	2.618e+005	2.618e+005	2.617e+005	2.616e+005	
22	Liquid Flow (m3/s)	0.1326	0.1326	0.1326	0.1325	
23	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
24	Temperature (C)	26.89	27.01	27.14	27.28	
25	Density (kg/m3)	548.4	548.4	548.4	548.3	
26	Viscosity (cP)	0.1637	0.1636	0.1633	0.1631	
27	Surface Tension (dyne/cm)	9.763	9.759	9.756	9.754	
28		13_Main TS	14_Main TS	15_Main TS	16_Main TS	
29	Mass Flow (kg/h)	2.615e+005	2.613e+005	2.611e+005	2.608e+005	
30	Liquid Flow (m3/s)	0.1325	0.1324	0.1322	0.1321	
31	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
32	Temperature (C)	27.44	27.63	27.84	28.08	
33	Density (kg/m3)	548.3	548.4	548.4	548.5	
34	Viscosity (cP)	0.1628	0.1625	0.1621	0.1617	
35	Surface Tension (dyne/cm)	9.754	9.755	9.759	9.765	
36		17_Main TS	18_Main TS	19_Main TS	20_Main TS	
37	Mass Flow (kg/h)	2.604e+005	2.600e+005	2.594e+005	2.587e+005	
38	Liquid Flow (m3/s)	0.1319	0.1316	0.1313	0.1309	
39	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
40	Temperature (C)	28.37	28.69	29.07	29.50	
41	Density (kg/m3)	548.6	548.7	548.9	549.1	
42	Viscosity (cP)	0.1612	0.1607	0.1600	0.1593	
43	Surface Tension (dyne/cm)	9.773	9.785	9.800	9.818	
44		21_Main TS	22_Main TS	23_Main TS	24_Main TS	
45	Mass Flow (kg/h)	2.580e+005	2.572e+005	2.563e+005	2.555e+005	
46	Liquid Flow (m3/s)	0.1305	0.1300	0.1295	0.1289	
47	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
48	Temperature (C)	29.99	30.52	31.11	31.73	
49	Density (kg/m3)	549.4	549.6	550.0	550.3	
50	Viscosity (cP)	0.1585	0.1576	0.1566	0.1556	
51	Surface Tension (dyne/cm)	9.840	9.863	9.889	9.915	
52		25_Main TS	26_Main TS	27_Main TS	28_Main TS	
53	Mass Flow (kg/h)	2.546e+005	2.539e+005	2.533e+005	2.527e+005	
54	Liquid Flow (m3/s)	0.1284	0.1280	0.1276	0.1272	
55	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
56	Temperature (C)	32.38	33.03	33.67	34.39	
57	Density (kg/m3)	550.6	550.9	551.2	551.5	
58	Viscosity (cP)	0.1546	0.1536	0.1526	0.1515	
59	Surface Tension (dyne/cm)	9.941	9.966	9.988	10.01	
60		29_Main TS	30_Main TS	31_Main TS	32_Main TS	
61	Mass Flow (kg/h)	2.520e+005	2.515e+005	2.510e+005	2.505e+005	
62	Liquid Flow (m3/s)	0.1269	0.1265	0.1262	0.1259	
63	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
64	Temperature (C)	35.14	35.88	36.61	37.29	
65	Density (kg/m3)	551.9	552.2	552.4	552.7	
66	Viscosity (cP)	0.1504	0.1494	0.1483	0.1474	
67	Surface Tension (dyne/cm)	10.04	10.06	10.08	10.09	
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 2 of 5	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wp121\Puma\Iso-Butane-Rev.hsc		
2			Unit Set: SI		
3			Date/Time: Mon Jun 09 15:33:49 2003		
4					
5					
6	Tray Sizing: Montz-Robbins (continued)				
7					
8					
9		33_Main TS	34_Main TS	35_Main TS	36_Main TS
10	Mass Flow (kg/h)	2.502e+005	2.498e+005	2.496e+005	---
11	Liquid Flow (m3/s)	0.1257	0.1255	0.1253	---
12	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	---
13	Temperature (C)	37.92	38.48	38.97	---
14	Density (kg/m3)	552.8	553.0	553.1	---
15	Viscosity (cP)	0.1465	0.1458	0.1451	---
16	Surface Tension (dyne/cm)	10.10	10.11	10.12	---
17		37_Main TS	38_Main TS	39_Main TS	40_Main TS
18	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---
19	Liquid Flow (m3/s)	---	---	---	---
20	Molecular Weight	---	---	---	---
21	Temperature (C)	---	---	---	---
22	Density (kg/m3)	---	---	---	---
23	Viscosity (cP)	---	---	---	---
24	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	---	---
25		41_Main TS	42_Main TS	43_Main TS	44_Main TS
26	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---
27	Liquid Flow (m3/s)	---	---	---	---
28	Molecular Weight	---	---	---	---
29	Temperature (C)	---	---	---	---
30	Density (kg/m3)	---	---	---	---
31	Viscosity (cP)	---	---	---	---
32	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	---	---
33		45_Main TS	46_Main TS	47_Main TS	48_Main TS
34	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---
35	Liquid Flow (m3/s)	---	---	---	---
36	Molecular Weight	---	---	---	---
37	Temperature (C)	---	---	---	---
38	Density (kg/m3)	---	---	---	---
39	Viscosity (cP)	---	---	---	---
40	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	---	---
41		49_Main TS	50_Main TS	51_Main TS	52_Main TS
42	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---
43	Liquid Flow (m3/s)	---	---	---	---
44	Molecular Weight	---	---	---	---
45	Temperature (C)	---	---	---	---
46	Density (kg/m3)	---	---	---	---
47	Viscosity (cP)	---	---	---	---
48	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	---	---
49		53_Main TS	54_Main TS	55_Main TS	
50	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	
51	Liquid Flow (m3/s)	---	---	---	
52	Molecular Weight	---	---	---	
53	Temperature (C)	---	---	---	
54	Density (kg/m3)	---	---	---	
55	Viscosity (cP)	---	---	---	
56	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	---	
57	VAPOUR PROFILE (TO TRAY)				
58					
59		1_Main TS	2_Main TS	3_Main TS	4_Main TS
60	Mass Flow (kg/h)	2.792e+005	2.792e+005	2.792e+005	2.793e+005
61	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.993e+004	2.988e+004	2.982e+004	2.977e+004
62	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12
63	Temperature (C)	26.26	26.34	26.42	26.51
64	Density (kg/m3)	9.327	9.345	9.363	9.381
65	Viscosity (cP)	7.645e-003	7.647e-003	7.650e-003	7.652e-003
66	Fluid Pressure (kPa)	360.0	360.7	361.5	362.2
67		5_Main TS	6_Main TS	7_Main TS	8_Main TS
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 3 of 5

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Iso-Butane-Rev.hsc			
2			Unit Set: SI			
3			Date/Time: Mon Jun 09 15:33:49 2003			
4						
5						
6	Tray Sizing: Montz-Robbins (continued)					
7						
8						
9	Mass Flow (kg/h)	2.793e+005	2.793e+005	2.793e+005	2.793e+005	
10	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.972e+004	2.966e+004	2.961e+004	2.955e+004	
11	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
12	Temperature (C)	26.59	26.69	26.79	26.89	
13	Density (kg/m3)	9.399	9.417	9.434	9.452	
14	Viscosity (cP)	7.655e-003	7.657e-003	7.660e-003	7.662e-003	
15	Fluid Pressure (kPa)	363.0	363.7	364.4	365.2	
16		9_Main TS	10_Main TS	11_Main TS	12_Main TS	
17	Mass Flow (kg/h)	2.793e+005	2.792e+005	2.792e+005	2.791e+005	
18	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.950e+004	2.944e+004	2.938e+004	2.933e+004	
19	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
20	Temperature (C)	27.01	27.14	27.28	27.44	
21	Density (kg/m3)	9.468	9.485	9.501	9.516	
22	Viscosity (cP)	7.665e-003	7.668e-003	7.671e-003	7.674e-003	
23	Fluid Pressure (kPa)	365.9	366.7	367.4	368.1	
24		13_Main TS	14_Main TS	15_Main TS	16_Main TS	
25	Mass Flow (kg/h)	2.789e+005	2.787e+005	2.785e+005	2.782e+005	
26	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.927e+004	2.921e+004	2.915e+004	2.908e+004	
27	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
28	Temperature (C)	27.63	27.84	28.08	28.37	
29	Density (kg/m3)	9.530	9.544	9.556	9.567	
30	Viscosity (cP)	7.678e-003	7.681e-003	7.685e-003	7.689e-003	
31	Fluid Pressure (kPa)	368.9	369.6	370.4	371.1	
32		17_Main TS	18_Main TS	19_Main TS	20_Main TS	
33	Mass Flow (kg/h)	2.779e+005	2.774e+005	2.768e+005	2.762e+005	
34	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.902e+004	2.895e+004	2.887e+004	2.879e+004	
35	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
36	Temperature (C)	28.69	29.07	29.50	29.99	
37	Density (kg/m3)	9.576	9.583	9.589	9.593	
38	Viscosity (cP)	7.694e-003	7.699e-003	7.705e-003	7.710e-003	
39	Fluid Pressure (kPa)	371.9	372.6	373.3	374.1	
40		21_Main TS	22_Main TS	23_Main TS	24_Main TS	
41	Mass Flow (kg/h)	2.755e+005	2.746e+005	2.738e+005	2.729e+005	
42	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.871e+004	2.863e+004	2.854e+004	2.845e+004	
43	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
44	Temperature (C)	30.52	31.11	31.73	32.38	
45	Density (kg/m3)	9.594	9.595	9.594	9.592	
46	Viscosity (cP)	7.717e-003	7.723e-003	7.730e-003	7.737e-003	
47	Fluid Pressure (kPa)	374.8	375.6	376.3	377.0	
48		25_Main TS	26_Main TS	27_Main TS	28_Main TS	
49	Mass Flow (kg/h)	2.721e+005	2.713e+005	2.713e+005	2.410e+005	
50	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.837e+004	2.830e+004	2.830e+004	2.516e+004	
51	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
52	Temperature (C)	33.03	33.67	33.67	35.14	
53	Density (kg/m3)	9.590	9.589	9.589	9.579	
54	Viscosity (cP)	7.743e-003	7.750e-003	7.750e-003	7.763e-003	
55	Fluid Pressure (kPa)	377.8	378.5	379.3	380.0	
56		29_Main TS	30_Main TS	31_Main TS	32_Main TS	
57	Mass Flow (kg/h)	2.404e+005	2.399e+005	2.394e+005	2.389e+005	
58	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.511e+004	2.506e+004	2.502e+004	2.497e+004	
59	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	58.12	
60	Temperature (C)	35.88	36.61	37.29	37.92	
61	Density (kg/m3)	9.575	9.571	9.568	9.568	
62	Viscosity (cP)	7.770e-003	7.776e-003	7.782e-003	7.787e-003	
63	Fluid Pressure (kPa)	380.7	381.5	382.2	383.0	
64		33_Main TS	34_Main TS	35_Main TS	36_Main TS	
65	Mass Flow (kg/h)	2.385e+005	2.382e+005	2.380e+005	---	
66	Gas Flow (ACT_m3/h)	2.493e+004	2.488e+004	2.484e+004	---	
67	Molecular Weight	58.12	58.12	58.12	---	
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 4 of 5	

1	 Héctor Jr De la Hoz Siegler Bogotá, Colombia		Case Name: \\Wpf121\Puma\Iso-Butane-Rev.hsc			
2			Unit Set: SI			
3			Date/Time: Mon Jun 09 15:33:49 2003			
4						
5						
6	Tray Sizing: Montz-Robbins (continued)					
7						
8						
9	Temperature (C)	38.48	38.97	39.40	---	
10	Density (kg/m3)	9.570	9.573	9.579	---	
11	Viscosity (cP)	7.792e-003	7.797e-003	7.801e-003	---	
12	Fluid Pressure (kPa)	383.7	384.4	385.2	---	
13		37__ Main TS	38__ Main TS	39__ Main TS	40__ Main TS	
14	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---	
15	Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---	---	---	
16	Molecular Weight	---	---	---	---	
17	Temperature (C)	---	---	---	---	
18	Density (kg/m3)	---	---	---	---	
19	Viscosity (cP)	---	---	---	---	
20	Fluid Pressure (kPa)	---	---	---	---	
21		41__ Main TS	42__ Main TS	43__ Main TS	44__ Main TS	
22	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---	
23	Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---	---	---	
24	Molecular Weight	---	---	---	---	
25	Temperature (C)	---	---	---	---	
26	Density (kg/m3)	---	---	---	---	
27	Viscosity (cP)	---	---	---	---	
28	Fluid Pressure (kPa)	---	---	---	---	
29		45__ Main TS	46__ Main TS	47__ Main TS	48__ Main TS	
30	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---	
31	Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---	---	---	
32	Molecular Weight	---	---	---	---	
33	Temperature (C)	---	---	---	---	
34	Density (kg/m3)	---	---	---	---	
35	Viscosity (cP)	---	---	---	---	
36	Fluid Pressure (kPa)	---	---	---	---	
37		49__ Main TS	50__ Main TS	51__ Main TS	52__ Main TS	
38	Mass Flow (kg/h)	---	---	---	---	
39	Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---	---	---	
40	Molecular Weight	---	---	---	---	
41	Temperature (C)	---	---	---	---	
42	Density (kg/m3)	---	---	---	---	
43	Viscosity (cP)	---	---	---	---	
44	Fluid Pressure (kPa)	---	---	---	---	
45		53__ Main TS	54__ Main TS	55__ Main TS		
46	Mass Flow (kg/h)	---	---	---		
47	Gas Flow (ACT_m3/h)	---	---	---		
48	Molecular Weight	---	---	---		
49	Temperature (C)	---	---	---		
50	Density (kg/m3)	---	---	---		
51	Viscosity (cP)	---	---	---		
52	Fluid Pressure (kPa)	---	---	---		
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68	Hyprotech Ltd.		HYSYS v2.4.1 (Build 3870)		Page 5 of 5	

H. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Con el propósito de facilitar el manejo y actualización del módulo **un_HydrauliPack** se describen a continuación las etapas seguidas en su desarrollo y se detalla su estructura interna.

H.1 OBJETIVO

El objetivo del módulo es permitir a estudiantes y profesionales evaluar la hidráulica de cualquier lecho empacado en el que fluyan a contracorriente una fase líquida y una gaseosa. **un_HydrauliPack** cuenta con la estructura requerida para permitir la ampliación y mejora de su utilidad hacia la evaluación integral de cualquier lecho empacado.

H.2 ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN

El módulo desarrollado, **un_HydrauliPack**, está formado por tres niveles distintos: la interfaz del usuario, la aplicación propiamente dicha y la base de datos.

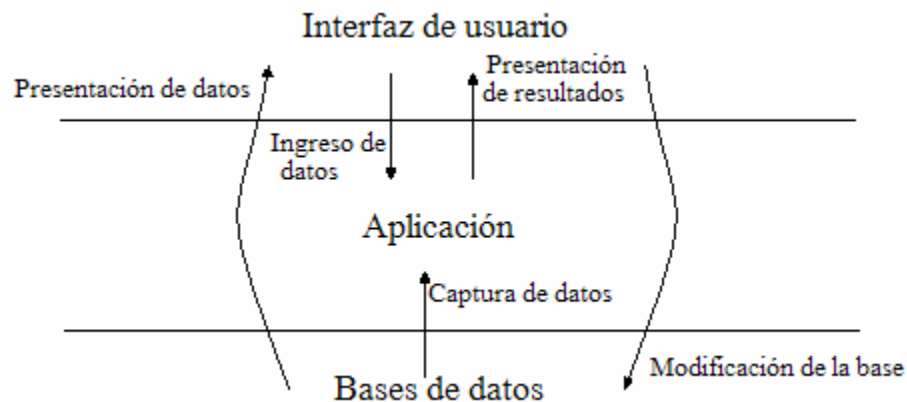


Figura H-1 Niveles de operación del módulo

Cada uno de estos niveles cumple con ciertos requerimientos en cuanto a estructura y funcionalidad. A continuación se presenta en detalle las principales características de estos niveles.

H.3 INTERFAZ

La funcionalidad del módulo radica, en gran medida, en su interfaz. Ésta debe ser de fácil uso, por lo que resulta deseable garantizar que los iconos de acceso a las etapas más importantes del programa permanezcan visibles. La interfaz debe ser intuitiva para cualquier usuario con experiencia previa en sistemas operativos tipo Windows y en simuladores de proceso.

Sobre la base de estas premisas se realizó la especificación de las ventanas o formularios de la aplicación, cuyas características básicas se enuncian enseguida:

- Ventana de inicio o de bienvenida: se abre al iniciar el módulo y permite crear un proyecto nuevo o abrir uno existente. También incluye la posibilidad de abrir diferentes tipos de proyectos, con el fin de evitar modificaciones en su diseño ante la perspectiva de ampliar y mejorar la funcionalidad del módulo.
- Descripción de la simulación: es el primer formulario que se carga al abrir o crear un proyecto, con el propósito de especificar en él toda la información necesaria para identificarlo.
- Definición de las unidades a emplear: antes de iniciar cualquier cálculo conviene definir las unidades o el sistema de unidades a emplear durante la simulación. Se permite combinar unidades de diferentes sistemas e incluso cambiarlas en el transcurso de la simulación. También admite que usuario establezca un conjunto de unidades como predeterminado para iniciar la aplicación.
- Selección del empaque: el programa cuenta con una herramienta ágil para la búsqueda del empaque deseado y, permite seleccionarlo con base en diferentes criterios. La herramienta hace visible al usuario la información relativa al empaque que se considera básica para realizar la selección y desde ésta se tiene acceso a toda la información restante del empaque.
- Selección de sustancias: las sustancias que se incluyen dentro de la base de datos son de fácil acceso para el usuario, quien tiene la opción de realizar una búsqueda sistemática y seleccionar la sustancia de interés.
- Propiedades de empaque: toda la información incorporada en la base de datos sobre el empaque seleccionado se encuentra a disposición del usuario, tanto para su consulta como para su modificación, en una misma ventana. Esta información se presenta ordenada por categorías (geometría, factores de desempeño, etc).
- Propiedades de sustancias: al igual que sucede con los empaques, toda la información sobre propiedades físicas de las sustancias, y sobre los parámetros para su estimación, que se incluye en la base de datos, está a disposición del usuario.
- Reporte: el reporte de los resultados obtenidos se genera en un formato con un diseño gráfico y una presentación profesional. A manera de advertencia, y para su corroboración por parte del usuario, el reporte incluye un listado de todas las expresiones empleadas en la simulación.
- Ventana de opciones: desde una misma ventana es posible verificar y modificar las opciones generales de cálculo, los métodos de estimación de propiedades físicas y las correlaciones para efectuar la evaluación hidráulica del lecho. Permite también guardar las preferencias del usuario como predeterminadas para que sean cargadas al iniciar cada sesión.
- Ventana principal: esta ventana garantiza al usuario la mayor funcionalidad posible. Ella contiene todas las fichas para el ingreso de datos por parte del usuario y para la presentación de

resultados y hace posible seleccionar las correlaciones a emplear en la simulación. La figura H-2 representa un esquema de la ventana principal del proyecto.

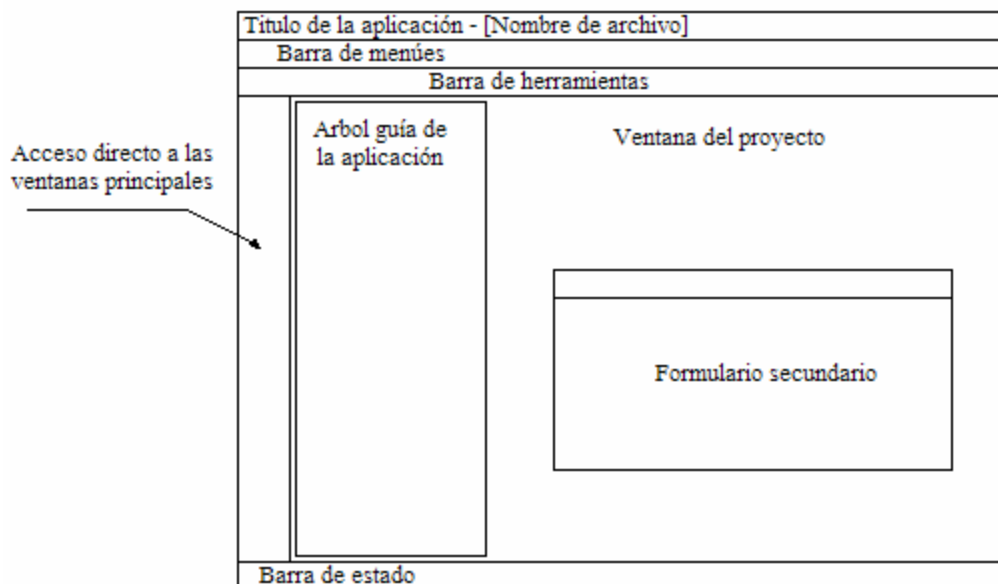


Figura H-2 Esquema de la ventana principal del proyecto

Con el fin de asegurara que los cuadros de diálogo para el manejo de archivos sean comunes al sistema operativo del usuario, se apela a invocar las librerías correspondientes para su generación.

La interfaz cuenta, además, con un sistema de ayuda ágil, con enlaces entre temas, así como con una herramienta de búsqueda que permita localizar cualquier tema de interés. Este sistema de ayuda es asequible desde todas y cada una de las ventanas que constituyen la interfaz.

H.4 APLICACIÓN

El corazón del módulo está formado por la aplicación propiamente dicha, esto es, todo el código que controla la secuencia de actividades, la respuesta a eventos generados por el usuario o por la misma aplicación y los algoritmos de cálculo implementados.

En la estructura modular que caracteriza la aplicación, cada módulo cumple con funciones específicas. Las respuestas a eventos generados por el usuario y que se aplican únicamente sobre un formulario se declaran a nivel del formulario afectado (*.frm). A su vez, los procedimientos de cálculo y de respuestas a eventos causados por la aplicación se declaran a nivel de módulos generales (*.bas).

La aplicación inicia en el módulo “general” (*Module1.bas*), desde el cual se carga la presentación del programa (*frmSplash.frm*), se abre la base de datos, se carga el formulario contenedor de la interfaz (*frmMain.frm*), y se invoca la ventana de bienvenida (*frmInicio.frm*).

Las variables en cada módulo se declaran de forma privada, con lo cual se permite emplear el mismo nombre de variable, para diversos propósitos, en módulos diferentes. Las variables que requieren ser declaradas de forma global se declaran en un único módulo (*mdbBases.bas*) bien sea como variables públicas o como globales. En el módulo de declaración de variables también se incluyen los procedimientos requeridos para cargar las preferencias del usuario y para llenar las matrices de correlaciones y de conversión de unidades.

Los procedimientos para la administración de archivos y para la presentación de resultados se incluyen en módulos separados (*Archivo.bas* e *Imprimir.bas*), y la administración de todas las rutinas de cálculo se realiza desde el módulo *Calculos.bas*.

Los procedimientos y funciones para el cálculo de la hidráulica se agrupan por módulos dependiendo de la característica que se evalúe. Sólo la correlación de Piché *et al* se incluye como un módulo separado (*PicheLar.bas*). Las funciones para la estimación de propiedades físicas se declaran en módulos específicos por cada propiedad evaluada.

El esquema general de interacción de los módulos que conforman la aplicación se presenta en la figura H-3.

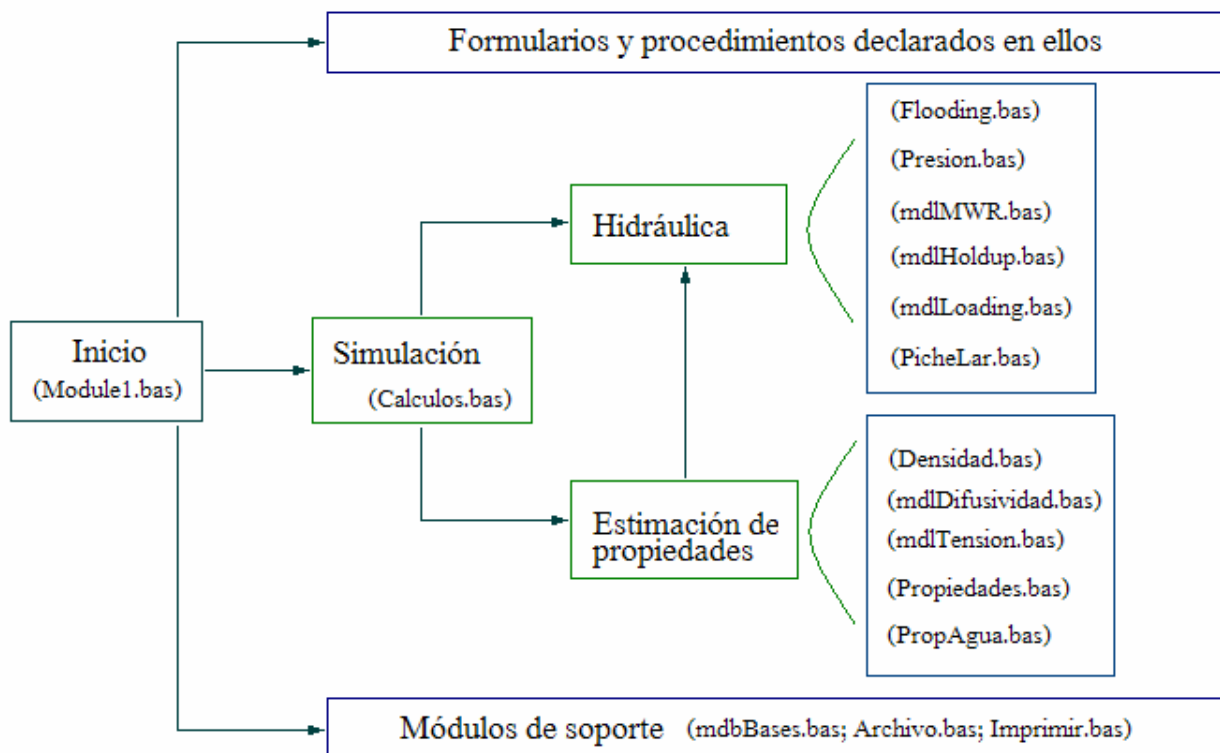


Figura H-3 Esquema general de la aplicación

En el módulo que controla la simulación (Calculos.bas) se evalúan las entradas del usuario y se determina la secuencia de actividades a seguir. Desde este módulo se llama a cada uno de los procedimientos requeridos para realizar el cálculo, pasando todos los argumentos necesarios. Para los argumentos no adimensionales el valor se transfiere al módulo en sistema internacional de unidades. En cada uno de los módulos empleados en la evaluación hidráulica y en la estimación de propiedades se declaran los procedimientos de control al inicio. Estos procedimientos son los que se llaman desde el módulo de control del cálculo, y estos a su vez son los encargados de llamar la función correspondiente para efectuar el cálculo de acuerdo a las preferencias del usuario.

Así, si se desea incluir una nueva correlación debe declararse la función de cálculo en el módulo correspondiente y crear una nueva llamada a la función creada, en la rutina *Select Case* del procedimiento inicial del módulo. Para que la nueva correlación incluida se encuentre disponible para el usuario debe incorporarse en la matriz de correlaciones, del módulo de definición de variables.

H.5 BASE DE DATOS

La información de empaques y sustancias se incluye en una base de datos relacional desarrollada en MS Access® 97 (*Empaq97.mdb*). Las relaciones entre las tablas que conforman la base de datos se presentan en la figura H-4.

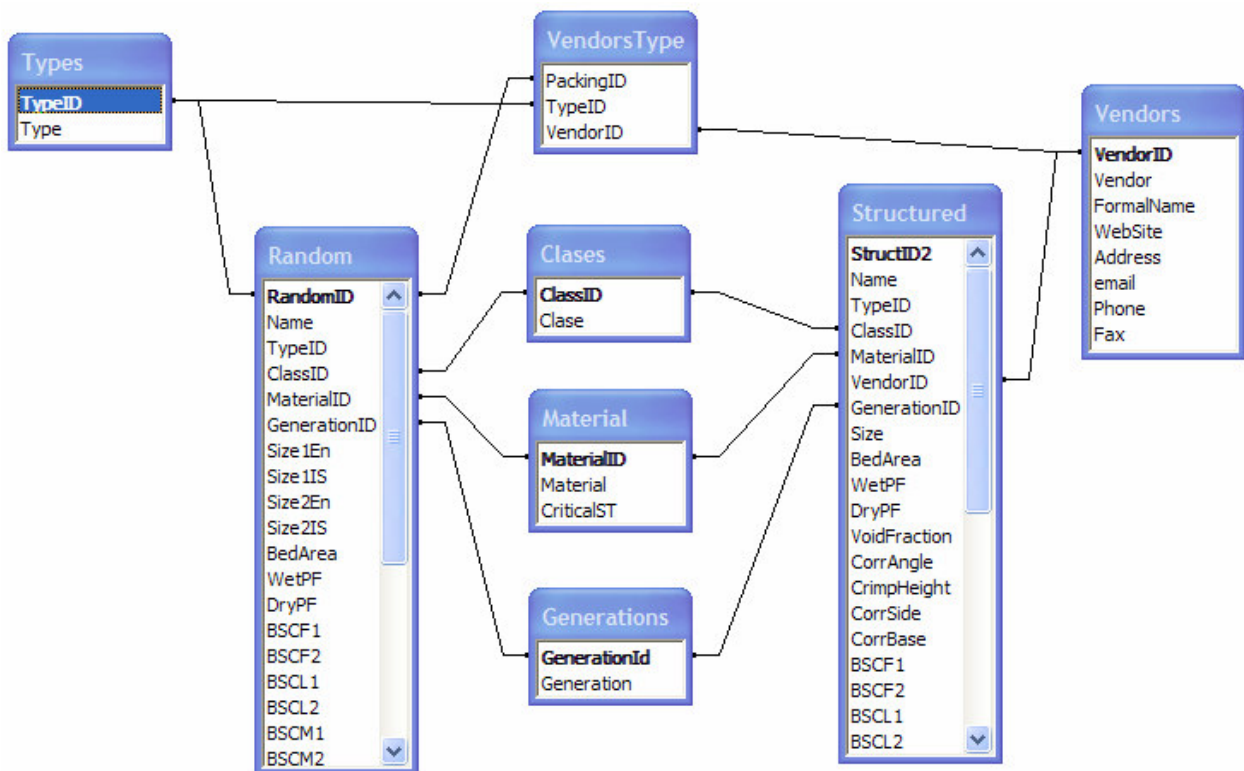


Figura H-4 Relaciones entre las tablas de la base de datos.

Como se señala en el apartado correspondiente a la interfaz, la base de datos se diseñó para que tuviera la flexibilidad suficiente para permitir su modificación. En algunas ventanas de la interfaz se incluyen herramientas para modificar, y ampliar, la base de datos original. Sin embargo, los cambios realizados por el usuario no afectan las tablas originales, sino que se almacenan en tablas de usuario, cuya estructura es idéntica a la de las tablas originales. Para modificar la base de datos de forma permanente es necesario abrirla por medio de un editor de base de datos (por ejemplo MS Access®), y realizar los cambios o adiciones de registros en las tablas de la base, respetando la integridad referencial mostrada en la figura H-4.

Las referencias gráficas (fotos de empaques) se manejan de forma independiente a la aplicación, pero debe referenciarse el nombre de archivo, sin la extensión, en las tablas correspondientes. La aplicación soporta archivos en formatos gif, jpg, jpeg y bmp. Si se requiere dar soporte a otro formato gráfico se deben modificar las instrucciones que administran la carga de imágenes.

H.6 CONTROL DE ERRORES

En muchos de los procedimientos se incluyen rutinas para el tratamiento de errores, las cuales en las etapas de desarrollo de la aplicación es preferible se encuentren desactivadas, ya que hacen el código menos legible.

Estas rutinas rompen con el estilo de programación estructurada seguido en cada uno de los procedimientos, pero se hacen necesarias debido a la posibilidad de que se presenten eventos inesperados o fallas tanto en el sistema operativo como en la aplicación misma. Las rutinas de tratamiento de errores se identifican por el uso de instrucciones *On Error Goto*, y por el uso de etiquetas al final del procedimiento. Siempre que un evento pueda manejarse dentro de la aplicación debe evitarse el uso del controlador de errores.

H.7 ACCESO AL CÓDIGO FUENTE

El código fuente de la aplicación, los archivos de formularios (*.frm y *.frx), los módulos generales (*.bas) y los archivos de recursos (*.res) no se incluyen en el CD anexo a este documento. Para tener acceso a ellos debe contactar a los ingenieros directores del proyecto (Pedro Bejarano Jiménez y Gerardo Rodríguez Niño) o al autor del mismo.