

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL EDUCATIVO  
COMPUTARIZADO PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPERACIÓN DE  
ABSORCIÓN NO ISOTÉRMICA**

**MIGUEL ERNESTO GARCÍA BERMUDES  
YULY ANDREA JAIMES LIZCANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2005**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL EDUCATIVO  
COMPUTARIZADO PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPERACIÓN DE  
ABSORCIÓN NO ISOTÉRMICA**

**MIGUEL ERNESTO GARCÍA BERMUDEZ  
YULY ANDREA JAIMES LIZCANO**

**Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Químico**

**Director  
CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA  
Ingeniero Químico MSc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2005**

A todas las mujeres, porque a ellas debo casi todo en la vida

Especialmente a mi mamá, **ROSA**

mis hermanas, **GOYI, LUZMA, GLADYS Y CARO**

mi tía **CHELA**

mi novia **ANDREA**

doña **MARÍA**

**MIGUEL ERNESTO**

A **Dios**,  
A mi **Mamá**,  
A mis hermanos: **Alex** y **Blanca**,  
A **Migue** y a mis **Amigos** por todo su amor.

**YULY ANDREA**

## RESUMEN

**TÍTULO\*:** DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL EDUCATIVO COMPUTARIZADO PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPERACIÓN DE ABSORCIÓN NO ISOTÉRMICA.

**AUTORES:** García Bermudes, Miguel Ernesto; Jaimes Lizcano, Yuly Andrea\*\*

**PALABRAS CLAVES:** SOFTWARE, EDUCATIVO, ABSORCIÓN, GASES, EFECTOS TÉRMICOS, NO ISOTÉRMICA, TORRE, EMPACADA, PLATOS.

### DESCRIPCIÓN:

Se ha desarrollado un material educativo computarizado como medio de apoyo al aprendizaje de la operación de absorción de gases cuando se involucran efectos térmicos, constituida por un libro electrónico interactivo cuya interfaz se desarrolló en páginas Web, además contiene un módulo tutorial para la creación de código de programación para el diseño de torres empacadas y torres de platos y como aplicaciones para el diseño de tales equipos.

El material educativo computarizado busca motivar el aprendizaje autodirigido en el estudiante por medio de la construcción de su propio conocimiento en el área de la operación de absorción de gases específicamente en modelos que involucran cambios de temperatura. Las aplicaciones desarrolladas pretenden dar al estudiante las bases necesarias para el diseño de torres de absorción empacadas y de platos ofreciendo un modo de obtener y comparar resultados.

Los requerimientos de hardware para su instalación son: velocidad de procesamiento de 300 MHz, memoria RAM de 64 MB y espacio libre en disco de 200 MB.

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.

Director: MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL COMPUTATIONAL MATERIAL FOR TEACHING OF NO ISOTHERMAL ABSORPTION OPERATION.

**AUTHORS:** García Bermudes, Miguel Ernesto; Jaimes Lizcano, Yuly Andrea\*\*

**KEY WORDS:** SOFTWARE, EDUCATIONAL, ABSORPTION, GAS, DESIGN, HEAT EFFECTS, NO ISOTHERMAL, PACKED TOWER, TRAY TOWER.

### DESCRIPTION:

A educational computational material has been developed as way of support to the learning of gas absorption operation that involves heat effects; it is constituted by an interactive electronic book which interface was developed in web content; besides there are a video-audio tutorial for code programming development intended to be used for packed and tray towers design and direct applications for such equipment design.

This educational computational material seeks to motivate the auto directed learning process in the student by means of construction of its own knowledge in gas absorption operation especially in models that involves temperature change. The developed applications pretend to give the student the required basis for tray tower and packed tower design offering a way to obtain and compare results.

The minimal hardware requirements for installing this software are: processor speed 300 MHz, RAM memory 64 MB and disk free space 200 MB.

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical-chemical Engineering. School of Chemical Engineering  
Director: Crisóstomo Barajas Ferreira

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
ANTECEDENTES	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
1 CONCEPTOS TEÓRICOS	5

1.1	TEORIAS DEL APRENDIZAJE	5
1.1.1	Descripción de enfoques de enseñanza	5
1.2	FORMAS SISTÉMICAS PARA CREAR AMBIENTES DE APRENDIZAJE	7
1.2.1	Enfoque educativo algorítmico	7
1.2.2	Enfoque educativo heurístico	7
1.3	EFFECTOS TÉRMICOS EN LA ABSORCIÓN DE GASES	8
1.3.1	Influencia de las variables de operación en los efectos térmicos	9
1.3.2	Consideraciones sobre el equipo	11
1.3.3	Diseño de torres empacadas para la absorción de gases no isotérmica	12

2	DISEÑO Y DESARROLLO DEL MEC	17
2.1	DISEÑO	17
2.1.1	Descripción del usuario	18
2.1.2	Contenido	20
2.1.3	Diseño de la interfaz	21
2.1.4	Revisión bibliográfica de las herramientas a utilizar	23
2.2	DESARROLLO	25
3	RESULTADOS Y ANALISIS	27
4	CONCLUSIONES	29

5	RECOMENDACIONES	29
6	BIBLIOGRAFIA	30
7	ANEXOS	33

## FIGURAS

	Pág
Figura 1. Esquema Conductismo	5
Figura 2. Esquema Cognoscitivismo	6
Figura 3. Esquema Conductismo-Cognoscitivismo	7
Figura 4. Esquema de la metodología para el diseño y desarrollo	17
Figura 5. Diagrama de la interfase	22

## ANEXOS

**Pág**

Anexo A. MANUAL DEL USUARIO

33

## INTRODUCCIÓN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las operaciones de transferencia de masa no isotérmicas, tanto la temperatura como las composiciones de las fases presentes en un equipo varían de una posición a otra en éste, presentándose así la participación simultánea y significativa de varios fenómenos de transporte, lo cual generalmente parece confuso y difícil de entender para muchos estudiantes, tanto los conceptos fisicoquímicos de la operación como su estructura matemática de diseño y solución.

La necesidad de poder visualizar de una forma más clara esta fenomenología (para generar así un aprendizaje más significativo del porqué realizar análisis y diseño de este tipo de operaciones) se debe satisfacer inicialmente en la operación de absorción no isotérmica, dado que generalmente es una de las primeras operaciones de transferencia de masa no isotérmica que el estudiante debe aprender en los cursos de operaciones de transferencia de masa.

Observando que los estudiantes:

No están utilizando todas las herramientas educativas posibles para realizar su proceso de aprendizaje, limitándose generalmente a una sola versión de la información bibliográfica existente, donde los esquemas son estáticos y el contenido no es actualizado.

Demuestran un gran interés en el empleo de programas para la solución de los problemas que implican una gran cantidad de cálculos, pero demuestran apatía

y desinformación en la construcción de códigos de programación que permitan solucionarlos.

Es claramente necesario que el estudiante tenga disponible una herramienta educativa que sea flexible y lo capacite para afianzar el conocimiento impartido en el aula de clases, empleando una guía estructurada e interactiva con gráficos realistas y dinámicos, que además lo oriente en la construcción del código de programación (preferiblemente en software especializados disponibles en la escuela de Ingeniería Química como MATLAB®) para las diferentes soluciones de los diversos problemas de esta operación.

## **ANTECEDENTES**

En los últimos años se ha visto en Colombia el desarrollo e implementación de materiales educativos computarizados (MECs), en diferentes instituciones educativas de nivel superior, debido a la necesidad de ofrecer herramientas complementarias al proceso de aprendizaje de los estudiantes.

En la Escuela de Ingeniería Química de la UIS se han desarrollado MECs que abarcan diversas áreas del programa de pregrado, en los cuales se ha logrado dar un aporte satisfactorio al proceso de aprendizaje.

Últimamente se desarrolló el MEC para la enseñanza de transferencia de masa, específicamente en las operaciones de absorción y desorción en condiciones isotérmicas, el cual está clasificado según su enfoque educativo como un MEC heurístico, basado en la teoría constructivista, el cual al hacer uso de la multimedia garantiza acceder a los estudiantes a una gran cantidad de información con posibilidades autodidácticas en diversos ambientes temáticos.

Actualmente la Escuela de Ingeniería Química de la UIS continua desarrollando diversos tipos de software educativos que le permiten al estudiante afianzar de una manera más profunda e interactiva diversas asignaturas y temas relacionados con la ingeniería química, promoviendo ambientes de aprendizaje acordes con las necesidades de cada estudiante.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Diseñar y desarrollar un material educativo computarizado para la enseñanza de la operación de absorción no isotérmica.

### **Objetivos Específicos**

- Elegir las técnicas educativas adecuadas para el diseño del MEC.
- Seleccionar y organizar el contenido teórico del MEC.
- Diseñar y desarrollar aplicaciones para la resolución de problemas relacionados con la absorción de gases no isotérmica.
- Elaborar un modulo interactivo donde se oriente al usuario en la construcción de códigos de programación en MATLAB® para la resolución de problemas relacionados con la absorción de gases no isotérmica.
- Evaluar el impacto inicial del MEC en los estudiantes dentro del proceso enseñanza aprendizaje.

- Contribuir con el desarrollo de materiales educativos computacionales (MEC) en la escuela de Ingeniería Química.

El material educativo desarrollado permite ampliar los horizontes cognoscitivos de los estudiantes, mostrando conceptos que van más allá del contenido que tradicionalmente se enseña, pero que gracias a las tecnologías informáticas actuales es posible avanzar en el grado de profundización de los contenidos de los cursos de pregrado.

# 1 CONCEPTOS TEÓRICOS

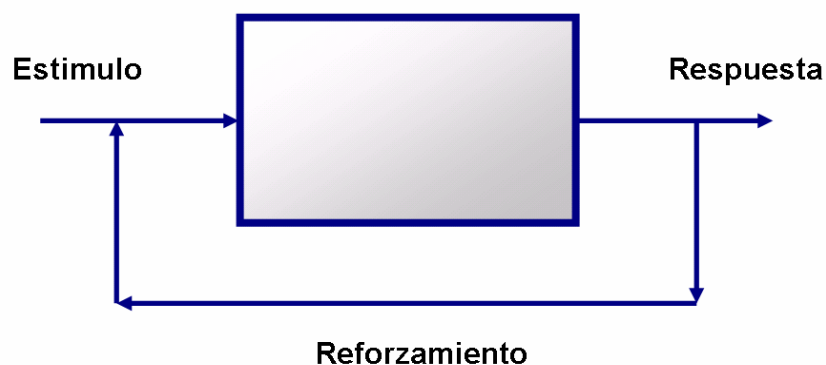
## 1.1 TEORIAS DEL APRENDIZAJE

### 1.1.1 Descripción de enfoques de enseñanza

**Conductismo:** En esta teoría el objeto de estudio es la conducta del individuo, es decir el individuo es considerado como una caja negra que tiene una información de entrada llamada estímulo y una información de salida llamada respuesta.

El conductismo parte de una concepción empirista del conocimiento; considerando la asociación como uno de los mecanismos centrales de aprendizaje, por tanto la secuencia básica de aprendizaje es la asociación estímulo-respuesta del individuo.

**Figura 1.** Esquema Conductismo



**Cognoscitivismo:** Bajo este nombre se engloban una multitud de teorías de aprendizaje que consideran al individuo y su entorno como su objeto de estudio, por tanto el cognoscitivismo se esfuerza en entender los procesos

mentales y la estructura de la memoria humana para poder comprender y explicar el comportamiento humano.

**Figura 2.** Esquema Cognoscitivismo



### **Conductismo Cognoscitivo: La Teoría De Gagné**

Esta teoría pretende ofrecer unos fundamentos teóricos que puedan guiar al profesorado en la planificación de la instrucción. Aquí, el aprendizaje y la instrucción se convierten en las dos dimensiones de una misma teoría, puesto que ambos deben estudiarse conjuntamente.

El fundamento básico es que para lograr ciertos resultados de aprendizaje es preciso conocer:

- Las condiciones internas que intervienen en el proceso.
- Las condiciones externas que pueden favorecer un aprendizaje óptimo.

**Figura 3.** Esquema Conductismo-Cognoscitivismo



## **1.2 FORMAS SISTÉMICAS PARA CREAR AMBIENTES DE APRENDIZAJE**

### **1.2.1 Enfoque educativo algorítmico**

Se orienta hacia la definición y realización de secuencias predeterminadas de actividades que, cuando se acierta en los supuestos sobre el nivel de entrada y las expectativas de los destinatarios y cuando se llevan a cabo las actividades en la forma esperada, conducen a lograr metas mensurables también predeterminadas. Este enfoque se enfatiza en un modelo de enseñanza, en el que el diseñador pretende lograr una transmisión eficiente del conocimiento que el considera que el estudiante debe aprender.

El enfoque algorítmico tiene la cualidad de dar estructura y precisión a lo que de otra forma podría ser un proceso confuso, y de capturar esa precisión de modo que sea reproducible.

### **1.2.2 Enfoque educativo heurístico**

Bajo este enfoque el aprendizaje se produce por discernimiento repentino a partir de situaciones experimentales y conjeturales, por descubrimiento de aquello que interesa aprender, no mediante transmisión de conocimientos.

El estudiante debe llegar al conocimiento interactuando conjeturalmente con el objeto de conocimiento o con un ambiente de aprendizaje que permita llegar a él. Esto no indica que el profesor no enseñe, sólo que el conocimiento no lo proporciona él directamente al estudiante. Es necesario que el profesor utilice una serie de estrategias heurísticas basadas en psicología cognitiva, que promuevan el desarrollo de las capacidades de autogestión del estudiante.

### 1.3 EFECTOS TÉRMICOS EN LA ABSORCIÓN DE GASES

En las operaciones de transferencia de masa gas-líquido generalmente se presentan efectos térmicos que pueden producir variaciones en la temperatura durante la operación; en la absorción de gases estos principalmente se deben a:

- **Calor de disolución del soluto:** que puede manifestarse en una variación en la temperatura del líquido (generalmente está se incrementa) disminuyendo así la solubilidad del soluto. También se considera en este ítem los calores de mezcla, reacción y condensación del soluto.
- **Calor de vaporización o condensación del disolvente:** la evaporación parcial del solvente absorberá algo del calor sensible. Este efecto es particularmente importante con el solvente menos costoso de todos, el agua.
- **Intercambio de calor sensible entre las fases gas-líquido:** debido a la diferencia de temperaturas entre las fases líquida y gaseosa.
- **Pérdida de calor sensible:** desde los fluidos hacia dispositivos de enfriamiento interiores o exteriores, o a la atmósfera a través de las paredes de la columna.

Generalmente, no se satisfacen las circunstancias necesarias para poder despreciar los anteriores efectos térmicos en el diseño de equipos de absorción de gases. Si no se tiene un sistema de intercambio de calor, tales como serpentines de enfriamiento, generalmente es posible despreciar el último efecto térmico, puesto que se puede mostrar que las torres de absorción de escala industrial operan predominantemente en condición adiabática debido a que los incrementos de temperatura en las torres de absorción pueden alterar las solubilidades muy drásticamente pero generalmente no son lo suficientemente grandes para causar una transferencia de calor apreciable a los alrededores.

Existe un gran número de sistemas comunes en los que no es posible ignorar efectos térmicos, casos bien conocidos de estos sistemas son:

- Absorción de  $\text{NH}_3$  en agua.
- Absorción de  $\text{HCL}$  en agua.
- Absorción de  $\text{SO}_3$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
- Absorción de acetona en agua; este sistema presenta efectos térmicos suaves pero no despreciables.

Diversos autores<sup>1</sup> han logrado demostrar de forma tanto teórica como experimental, que cuando el solvente es volátil, la temperatura en la columna puede alcanzar un valor máximo, dicho comportamiento se le conoce como “zona caliente”.

### **1.3.1 Influencia de las variables de operación en los efectos térmicos**

---

<sup>1</sup> BOURNE y otros. Gas Absorption with Heat Effects: 1. A New Computational Method. En: Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop.,. Vol. 13, No. 2, 1974; p. 115-123.

A continuación se exponen observaciones generales respecto a las variables de operación:

- **Presión de Operación:** el aumento de la presión puede producir un considerable aumento de la eficacia de la separación.
- **Temperatura de entrada del disolvente:** Sorprendentemente esta variable tiene muy poca influencia en el grado de absorción o en los perfiles interiores de temperatura de una columna de absorción cuando los efectos térmicos se deben principalmente al calor de disolución o a la vaporización del disolvente. En estos casos, el perfil de temperatura de la fase líquida se rige, aparentemente sólo por los efectos térmicos anteriores.
- **Temperatura y humedad del gas concentrado:** el enfriamiento y la consiguiente deshumidificación del gas que ha de alimentarse a una columna de absorción puede ser muy beneficioso. Un elevado grado de humedad (o saturación relativa con el disolvente) limita la capacidad de la fase gas para aceptar calor latente y, por tanto, resulta desfavorable para la absorción. Así pues, en el diseño de sistemas de absorción con grandes efectos térmicos debe considerarse interesante la deshumidificación del gas alimento antes de entrar a la columna.
- **Razón entre los flujos de líquido y gas:** la razón  $L/G$  puede tener una influencia significativa en el desarrollo de los perfiles de temperatura en una columna de absorción. Valores elevados de  $L/G$  tienden a producir perfiles de temperatura menos intensamente desarrollados, debido a la elevada capacidad calorífica de la fase líquida. A medida que el valor de  $L/G$  aumenta, la línea de operación se aleja de la de equilibrio y aparece una tendencia a absorber más soluto en cada piso. Sin embargo, existe un efecto de compensación, consistente en que cuanto más calor se libere en

cada piso, más tenderá a aumentar su temperatura, produciendo un desplazamiento hacia arriba de la línea de equilibrio.

A medida que disminuye el valor de  $L/G$ , la concentración de soluto tiende a aumentar en la parte superior de la columna y el punto de máxima temperatura tiende a desplazarse hacia arriba en la columna, hasta que el máximo de temperatura tiene lugar solamente en el piso más elevado. Por supuesto, la capacidad de la fase líquida para absorber soluto cae progresivamente a medida que el valor de  $L/G$  se reduce.

- **Número de etapas:** cuando los efectos térmicos se combinan para producir en la columna una extensa zona en que tiene lugar muy poca absorción (es decir una zona crítica), la adición de pisos a la columna no surtirá efecto útil sobre la eficacia de separación. La solución para este tipo de problema puede estar en el aumento del caudal de disolvente, la introducción de dispositivos de enfriamiento estratégicamente situados, el enfriamiento y deshumidificación del gas alimento y/o el aumento de la presión de operación de la columna.

### 1.3.2 Consideraciones sobre el equipo

Cuando el soluto posee un elevado calor de disolución y el gas alimento contiene un gran porcentaje de soluto, como ocurre en la absorción de HCl en agua, los efectos de la liberación de calor durante la absorción pueden ser tan intensos que la instalación de superficie de intercambio térmico para eliminar el calor de absorción puede llegar a ser tan importante como proporcionar suficiente área interfacial para el proceso de transferencia de materia. La superficie de intercambio térmico puede proporcionarse en forma de serpentines interiores en los platos, o en forma de un intercambiador exterior (enfriador intermedio), por el que hace circular la corriente de disolvente

extraída en un punto intermedio de la columna, para enfriarla antes de devolverla al absorbedor.

En muchos casos, la velocidad de liberación de calor es mayor cerca del fondo de la columna, donde la absorción del soluto es más rápida, de modo que la superficie de intercambio térmico se requiere sólo en pocos de los pisos inferiores, junto al fondo. Sin embargo Bourne y Coggan<sup>2</sup>, encontraron que la posición óptima para un único enfriador intermedio no coincide, necesariamente, con la posición del máximo de temperatura ni con el centro de una zona crítica. Dichos autores encontraron que dos enfriadores intermedios situados estratégicamente en una columna de 12 platos triplicaron la concentración admisible de amoníaco en el gas de entrada para una misma especificación del gas de salida. En la absorción de metanol se encontró que era posible obtener mayor separación en una columna de 12 platos con dos enfriadores intermedios que en otra de 100 platos sin enfriamiento.

En el caso de la absorción de HCl es frecuente utilizar un intercambiador de calor de carcasa y tubos como columna de absorción de paredes verticales mojadas, de forma que el calor desprendido en la reacción exotérmica pueda ser eliminado continuamente, a medida que se libera en la película de líquido.

La instalación de equipo de intercambio térmico para enfriar y deshumidificar el gas antes de entrar a la columna permite, también, aprovechar los efectos creados por la vaporización del disolvente en la sección inferior de la columna.

### **1.3.3 Diseño de torres empacadas para la absorción de gases no isotérmica**

Existen diferentes enfoques de diseño que pueden considerarse al tratar la absorción de gases que involucra efectos térmicos significativos, tales como:

---

<sup>2</sup> BOURNE y COGGAN. En: Trans. Inst. Chem. Eng. Vol. 47, No T96, T160, 1969.

- **Proveer al absorbedor de un dispositivo de intercambio de calor:** esto tiene como fin retirar calor para así lograr un perfil de temperatura aproximadamente constante en el equipo, y de esta forma lograr que el proceso sea casi isotérmico y por tanto pueda modelarse como tal. Esta alternativa de diseño resulta inconvenientemente práctica, ya que debe diseñarse un equipo de intercambio de calor acoplado al absorbedor y por tanto este nuevo elemento generaría un costo mayor del equipo.

- **Método clásico para diseño en condiciones isotérmicas**

Cuando el gas que entra a la columna se encuentra suficientemente diluido, la solución exacta de las ecuaciones de diseño puede aproximarse por la correspondiente a condiciones isothermas en un amplio intervalo de valores de razón  $L/G$ , puesto que los efectos térmicos suelen ser poco importantes. El problema está en la definición de la expresión “suficientemente diluido” en cada caso concreto. En cada nuevo problema de absorción, la hipótesis de operación isoterma debe verificarse analizando los resultados obtenidos por aplicación de un método riguroso de diseño.

Cuando, en el diseño de un sistema de absorción, se decide introducir dispositivos para intercambio de calor, éstos se pueden especificar de forma que sea aceptable la isothermicidad del sistema y, por tanto, el método de diseño basado en tal hipótesis. Si el área de intercambio es elevada y el acercamiento entre temperaturas estrecho, la operación isoterma está garantizada.

Para estimaciones preliminares, se puede suponer que la temperatura del líquido en cualquier punto de la columna es igual a su temperatura de entrada. En un análisis de diversos diseños de columna de relleno, Von Stockar y Wilke<sup>3</sup> probaron que el método de cálculo basado en condiciones

---

<sup>3</sup> STOCKAR, Urs. y WILKE, Charles. Rigorous and Short-Cut Design Calculations for Gas Absorption Involving Large Heat Effects: 1. A New Computational Method for Packed Gas Absorbers. En: Ind. Eng. Chem., Fundam. Vol.16, No 1, 1977; p. 88-93

isotermas tiende a subestimar la altura necesaria de relleno en un factor que, puede tomar un valor entre 1,5 y 2,0; por tanto, para estimaciones aproximadas, se puede utilizar la hipótesis de sistema isotérmico a la temperatura de entrada del líquido y, a continuación, aplicar al resultado un factor de seguridad.

Otra forma de utilizar el método de temperatura constante consiste en la aplicación directa de datos experimentales de  $K_Ga$  obtenidos en las condiciones especificadas de temperatura de entrada, presión de operación, caudales y composiciones de las corrientes. Se debe actuar con precaución al extrapolar tales datos a condiciones alejadas de las que le sirvieron de base y, además, utilizar siempre datos de equilibrio compatibles.

- **Método clásico simple para diseño en condiciones adiabáticas.**

En este caso se considera que el calor de disolución solo se manifiesta completamente como calor sensible en la fase líquida, es decir aumentando su temperatura y por tanto no lo toma como calor latente, lo que lleva a que no se produzca vaporización de disolvente.

Esta hipótesis hace posible relacionar los incrementos de temperatura de la fase líquida con los incrementos de concentración de soluto, mediante un sencillo balance de entalpía. La curva de equilibrio puede ajustarse, en un diagrama  $X$ - $Y$ , para tener en cuenta los correspondientes aumentos de temperatura. Dicha curva aumentará su concavidad hacia arriba a medida que la concentración aumenta, tendiendo a disminuir la fuerza impulsora cerca del fondo de la columna.

Las comparaciones efectuadas por Von Stockar y Wilke<sup>4</sup> entre cálculos de columnas de relleno realizados por el método riguroso y por el método adiabático simple, indican que este último subestima la altura de relleno necesaria en un factor comprendido aproximadamente entre 1,25 y 1,5. Por

---

<sup>4</sup> Ibid., p. 8.

tanto, cuando se utilice el método adiabático clásico se debe considerar la aplicación de un factor de seguridad al diseño.

Una modificación al método consiste en tener en cuenta el aumento de la concentración de disolvente en el gas entre su entrada y su salida de la columna y suponer que la evaporación del disolvente tiende a enfriar el líquido. Este procedimiento compensa, en parte, el aumento de temperatura que se habría predicho sin admitir la evaporación del disolvente y conduce a la estimación de una altura menor para la columna.

- **Métodos Teóricos Rigurosos.**

Estos procedimientos se basan completamente en principios teóricos y tratan de incluir toda la fenomenología significativa del proceso tales como los balances de masa y energía, equilibrio de fases, las ecuaciones constitutivas, las velocidades de transferencia, etc. Conllevan el desarrollo de la solución de conjuntos de ecuaciones simultáneas acopladas de concentración y temperatura y si el absorbedor es de contacto continuo, algunas de las ecuaciones serán diferenciales. Dada la gran cantidad de cálculos que se requieren en estos métodos, es necesario resolverlos empleando el computador; por esto se han desarrollado algoritmos estandarizados que buscan minimizar el tiempo para realizar tal cantidad de cálculos y al mismo tiempo obtener una convergencia aceptable de los valores calculados.

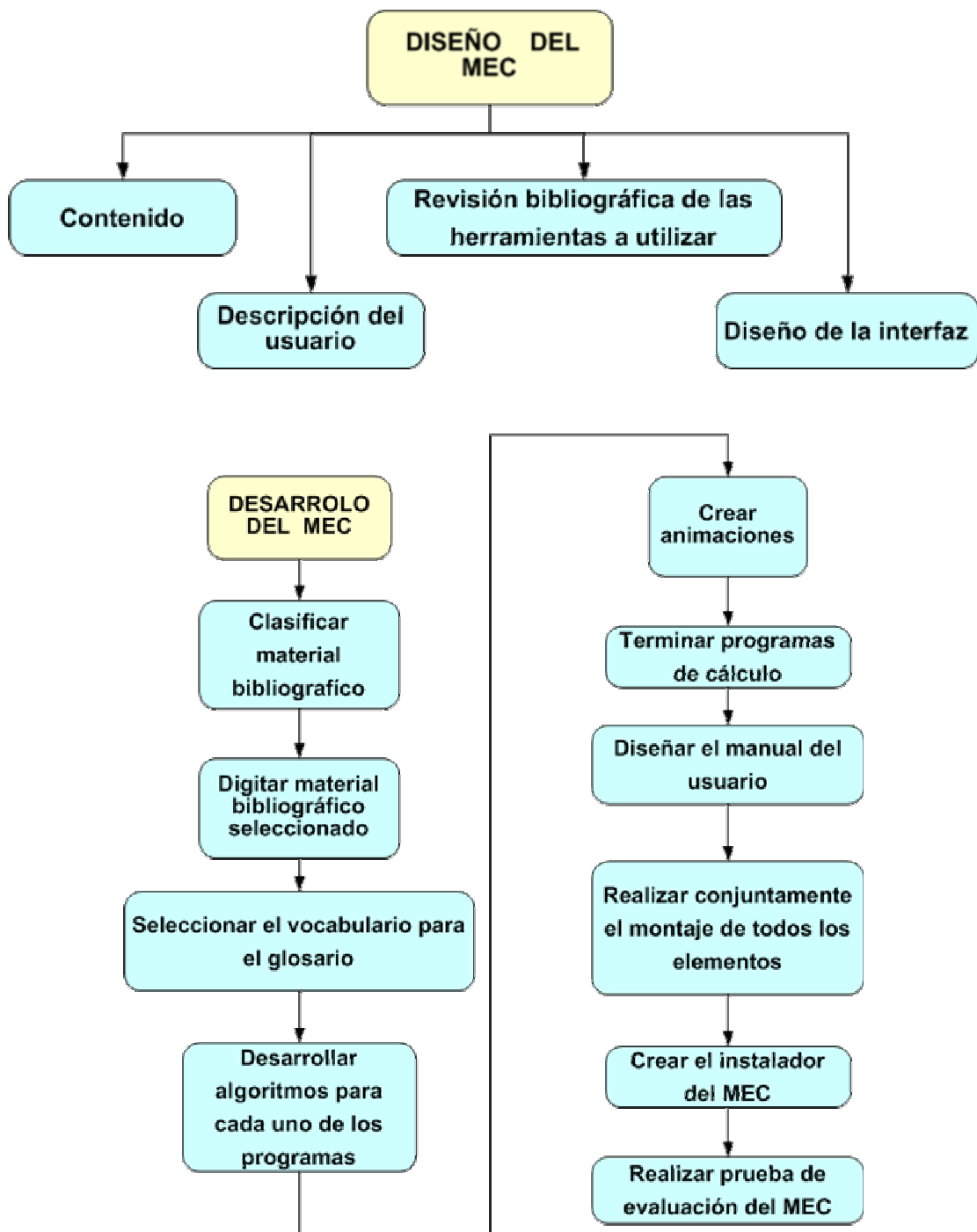
- **Métodos Abreviados (Semiteóricos y Empíricos).**

Estos procedimientos se basan tanto en leyes teóricas como en correlaciones empíricas de los resultados de los métodos teóricos rigurosos; por tanto se obtienen resultados aproximadamente concordantes con los métodos rigurosos pero con una reducción significativa de los cálculos requeridos, tanto que no es necesario recurrir a un computador para realizar los cálculos.

Los inconvenientes que tiene este enfoque son los mismos que para cualquier correlación ajustada, y es que sólo es aplicable en los rangos de las propiedades, condiciones operacionales y sistemas empleados para la deducción de esta correlación.

## 2 DISEÑO Y DESARROLLO DEL MEC

Figura 4. Esquema de la metodología para el diseño y desarrollo



El diseño del MEC estudia la disponibilidad de los recursos necesarios para el desarrollo del prototipo y el diseño de la interfaz; el desarrollo del MEC constituye la elaboración y programación del MEC.

## **2.1 DISEÑO.**

Aquí se deben tener en cuenta: la descripción del usuario, el contenido, la disponibilidad de los recursos necesarios para el desarrollo del prototipo y el diseño de la interfaz.

### **2.1.1 Descripción del usuario**

Las características de los usuarios del material educativo computarizado (MEC) para la enseñanza de la operación de absorción no isotérmica son:

- Estudiantes de últimos semestres de Ingeniería Química, interesados en adquirir o complementar sus conocimientos sobre la operación de absorción no isotérmica.
- Docentes a cargo de un curso de operaciones de transferencia de masa donde se incluya el tema de absorción no isotérmica que deseen complementar sus explicaciones a los estudiantes mediante el uso del MEC.

**Declaración de conocimientos previos.** Los conocimientos previos que el usuario debe tener para poder usar eficientemente el MEC pueden clasificarse en dos tipos:

Conceptos mínimos necesarios para el aprendizaje de transferencia de masa no isotérmica, específicamente en los siguientes temas:

- Termodinámica

- Equilibrio de solubilidad de gases en líquidos.
- Cálculo de propiedades termodinámicas de mezclas líquidas y gaseosas.
- Balances de energía.

- Transferencia de calor

- Cálculo de coeficiente de convección y conductividad.
- Mecanismos de transferencia de calor por conducción y convección.

- Mecánica de Fluidos

- Ecuación de la conservación de la energía mecánica.
- Calculo de pérdidas debidas al flujo.

- Transferencia de Masa

- Concepto de potencial de transferencia de masa.
- Mecanismos de transferencia de masa.
- Calculo de difusividades y coeficientes de transferencia.
- Ecuaciones de variación.
- Principios básicos de transferencia de masa por absorción isotérmica.

Habilidades mínimas en la manipulación de herramientas computacionales:

- Nociones básicas sobre navegación en hipertexto.
- Destreza en el manejo de sistemas operativos Windows.

### 2.1.2 Contenido.

El contenido comprende la profundización en el conocimiento de la operación de absorción de gases, especialmente lo que comprende el aspecto no isotérmico de la operación; se presenta a continuación el contenido general del MEC:

- Introducción.
- Absorción no isotérmica.
  - Métodos de diseño de torres empacadas.
    - Simplificados.
    - Rigurosos.
  - Métodos de diseño de torres de platos.
    - Simplificados.
    - Rigurosos.
- Absorción isotérmica multicomponentes.
- Absorción reactiva.

**Revisión bibliográfica del contenido teórico.** Se revisaron las referencias dadas en el Manual del Ingeniero Químico <sup>5</sup> y diversos libros de operaciones unitarias, se consultaron bases de datos de la Biblioteca de la UIS.

Se seleccionaron los métodos de diseño de equipos para absorción no isotérmica teniendo en cuenta su capacidad convergente, su diversidad y su grado de complejidad de acuerdo con las características del usuario, dado que en este campo existe un alto grado de especialización del conocimiento.

---

<sup>5</sup> PERRY, Robert; GREEN, Don W. Manual del Ingeniero Químico. 7ª edición. España. Mc Graw Hill. 2001. Tomo I y III.

**2.1.3 Diseño de la interfaz.** Se decide conservar el diseño propuesto en el MEC de Absorción – Desorción Isotérmica<sup>6</sup>, pero con ciertas modificaciones que le dan una apariencia más dinámica.

La elaboración del MEC obedece a los parámetros mínimos fijados por Sistemas de Información de la UIS (letra Arial; tamaño mínimo de 10 puntos, fondo blanco, logotipo de la Universidad Industrial de Santander en el extremo superior izquierdo, suprimir en lo posible la barra de desplazamiento horizontal), todo esto encaminado a mantener la armonía y uniformidad con el sitio Web de la Universidad. Se decide elaborar el MEC en formato HTML pensando en una futura publicación en Internet.

Se decide trabajar con dos marcos, como se muestra en la Figura 5. El primero esta ubicado en la parte superior y contiene un encabezado, el cual identifica el material y su procedencia (con enlace a la pagina Web principal de la UIS) y una barra de herramientas, el segundo marco esta ubicado en la parte inferior; en él se presenta el contenido.

---

<sup>6</sup> ARDILA, Nury. y MERCHÁN Edgar. Desarrollo de un material educativo computacional (MEC) para uso en la enseñanza de transferencia de masa, específicamente en las operaciones de absorción y desorción. Bucaramanga, 2004, p. 111. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química

**Figura 5.** Diagrama de la interfase



Se mantienen ciertos iconos de la barra de herramientas que tienen por objeto facilitar la navegación del usuario a temas específicos de consulta.

La barra de herramientas esta compuesta por nueve iconos que son:

- **Icono Contenido.** Presenta el contenido del MEC, agrupando las secciones, los capítulos y los subtemas que se decidieron tratar en cada uno de ellos, permitiendo al usuario su libre desplazamiento
- **Icono de animaciones.** Para hacer más interactivo el MEC se decidió hacer animaciones, teniendo en cuenta los temas que más se prestaban y justificaban su elaboración; pretendiendo a través de estas una mejor visualización de los ítems allí expuestos. Las animaciones en su totalidad se presentan a través de éste icono, pero también se encuentran ubicadas en cada uno de los temas que las contienen.
- **Icono Glosario.** Es necesario implementar un glosario que agrupe los términos empleados en el desarrollo de los temas y que puedan ser

desconocidos por el usuario, pero también se debe ofrecer la posibilidad de conocer el significado de los términos desconocidos desde el lugar donde están escritos.

- Icono Manual del Usuario. Permite el conocimiento previo a la manipulación del MEC.
- Icono de Nomenclatura. Presenta la simbología utilizada en las ecuaciones planteadas dentro del MEC, facilitando al usuario observar o aclarar el significado, dimensiones y unidades.
- Icono de Bibliografía. Reúne todas las fuentes utilizadas en la elaboración del MEC.
- Icono de Programas. Permite el acceso al software para diseño de columnas empacadas y columnas de platos.
- Icono Tutorial de Video. Permite el acceso a una página que contiene los tutoriales de video que orientan en la construcción de código de programación en MATLAB®
- Icono de Información. Ofrece a los usuarios la posibilidad de comunicarse con los desarrolladores del MEC, o con las personas que están encargadas de su actualización, para hacer las sugerencias que consideren necesarias sobre el material consultado y así actualizar y mejorar el MEC.

**2.1.4 Revisión bibliográfica de las herramientas a utilizar.** Se seleccionaron los recursos de software y hardware necesarios para el adecuado desarrollo del MEC.

Se inició la búsqueda de los softwares necesarios para la elaboración del MEC, dando prioridad a aquellos de fácil acceso, manejo, aplicación y acoplamiento, teniendo en cuenta que se desea un producto terminado liviano, apto para su posible publicación en Internet. Todo esto encaminado a la creación del sitio Web de la escuela de Ingeniería Química, el cual estará conformado, entre otros elementos, por varios materiales educativos de este tipo. Se decidió trabajar con los siguientes softwares:

- Camtasia Studio 2. Este software permite la captura, edición y control de la información mostrada en el monitor, lo que la hace ideal para mostrar ejemplos y rutinas en formato de video.
- CorelDRAW Graphics Suite 12. Este conjunto de aplicaciones permite la creación y edición de imágenes en un amplio campo de formatos.
- Macromedia Dreamweaver MX 2004. Es un editor HTML profesional para diseñar, codificar y desarrollar sitios, páginas y aplicaciones Web. Tanto si el usuario desea controlar manualmente el código HTML como si prefiere trabajar en un entorno de edición visual.
- Macromedia Flash MX 2004. Es el estándar profesional para la creación de animaciones, sitios Web completos de Flash o aplicaciones Web. Action Script es el lenguaje de creación de scripts de Flash. Mediante su manipulación se puede controlar objetos en las películas de flash con el fin de crear elementos interactivos y de navegación, consiguiendo de este modo crear películas altamente interactivas.
- Macromedia Fireworks MX 2004. Concebido como medio para la realización y edición de imágenes así como para la creación de botones.
- MathType 5. Un versátil editor de ecuaciones.

- MATLAB 7.0. Es una aplicación que permite la creación de diversos códigos de programación en un lenguaje sencillo, pero con un gran poder de cálculo y una amplia variedad de funciones incorporadas. Además, MATLAB permite la compilación de los archivos creados en objetos COM, lo cual permite incorporar las funciones creadas en MATLAB en lenguajes de programación como Visual Basic.
- Microsoft Office. Contiene a Microsoft Word, un versátil procesador de texto.
- Microsoft Visual Studio. De los diversos lenguajes de programación que posee, Visual Basic es un lenguaje cuya principal característica es la interfase gráfica de usuario, la cual permite que los programas sean fáciles de aprender y de usar.
- Acrobat Reader. PDF es un formato de fácil acceso diseñado para facilitar un sencillo desplazamiento en línea y poder leer documentos utilizando lectores de pantalla de terceros compatibles con Windows

## **2.2 DESARROLLO**

Constituye la elaboración y programación del MEC, es decir, la puesta en marcha del diseño. Para llegar al montaje y diseño final de la interfaz fue necesario:

1. Clasificar la información recolectada del material bibliográfico y consultas electrónicas, además seleccionar las imágenes y plantear las posibles animaciones que se podían realizar.

2. Digitar organizadamente la información en un formato predeterminado para su incorporación posterior en el lenguaje HTML. Durante este proceso se definieron las secciones en que se dividiría la información al interior del MEC. A su vez se generó la plantilla en el editor HTML, la cual permitiría mantener el diseño de la interfaz así como su organización y la posible actualización de datos.
3. Seleccionar el vocabulario para el glosario y los vínculos que relacionarían la información presentada dentro del MEC.
4. Se desarrollaron los algoritmos correspondientes a cada uno de los programas disponibles en el MEC.
5. Creación de las animaciones en Flash MX 2004.
6. Se terminaron los programas de diseño y/o de cálculo, verificando la veracidad de sus resultados.
7. Se realizó conjuntamente el montaje de todos los elementos (texto, imágenes, animaciones, comportamientos) en el editor HTML; se verificaron enlaces y comportamientos.
8. Se diseñó el manual del usuario, teniendo en cuenta todas las ventajas y limitaciones del MEC.
9. Se creó el instalador del MEC, adicionando los archivos ejecutables de algunas aplicaciones que son necesarias y que no se encuentran instaladas en todos los equipos.
10. Se hizo una prueba de evaluación del MEC con una muestra representativa de estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El desarrollo de un software educativo en donde se abarquen temas de la Ingeniería Química que tradicionalmente no se enseñan en el actual programa de pregrado causó un gran interés en los estudiantes, puesto que la utilización del MEC, permite el aprendizaje de una manera más amena de un tema de gran complejidad como lo es la absorción de gases no isotérmica.

Los usuarios responden favorablemente a las animaciones interactivas, dado que participan en un proceso activo de aprendizaje donde ellos ejercen cierto nivel de control sobre el flujo de información.

Se logró la construcción de objetos COM a partir de funciones de MATLAB®; estos objetos pudieron incorporarse en códigos de programación de Visual Basic 6.0, esto permite construir aplicaciones que realizan cálculos y presentan gráficas con formato de MATLAB® ; estas aplicaciones pueden instalarse en computadores que no tengan instalado MATLAB®.

Los usuarios reaccionaron favorablemente a la animación que presenta la barra de presentación animada y especialmente les agrada el logo tridimensional de la UIS.

La animación de programación guiada produjo un impacto positivo en los usuarios, quienes manifestaron un gran interés en la orientación de enseñanza de código de programación mediante este medio.

#### 4. CONCLUSIONES

El desarrollo de un software educativo en donde se abarquen temas de la Ingeniería Química que tradicionalmente no se enseñan en el actual programa de pregrado causó un gran interés en los estudiantes, puesto que la utilización del MEC, permite el aprendizaje de una manera más amena de un tema de gran complejidad como lo es la absorción de gases no isotérmica.

La orientación mediante videos animados guiados es una alternativa muy poderosa e interesante para la enseñanza de resolución de problemas en la construcción de código de programación, porque los estudiantes demuestran un gran interés en la utilización de esta herramienta.

Si se requiere construir una aplicación que requiera rutinas de cálculos que involucren matrices o funciones matemáticas de relativa complejidad, estas rutinas pueden escribirse fácilmente como funciones en MATLAB<sup>®</sup>, luego estas funciones pueden convertirse en objetos COM mediante el compilador de MATLAB<sup>®</sup> para así ser interpretados como funciones en códigos de lenguajes compatibles con estos objetos como lo es Visual Basic.

## **5. RECOMENDACIONES**

Promocionar el uso de los MECs en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander para así lograr que los estudiantes conozcan las herramientas desarrolladas y promover una cultura del empleo y el desarrollo continuo de éstas para la educación.

Aumentar el número de computadores en la sala de cómputo de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander para lograr un mayor acceso de los estudiantes a los softwares especializados allí instalados.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ARDILA, Nury. y MERCHÁN Edgar. Desarrollo de un material educativo computacional (MEC) para uso en la enseñanza de transferencia de masa, específicamente en las operaciones de absorción y desorción. Bucaramanga, 2004, p. 111. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química

ASTARITA, Giovanni, Mass Transfer with Chemical Reaction. 1ª edición . The Netherlands. Elsevier Publishing Company. 1967.

BOURNE, John; STOCKAR, Urs; COGGAN, George. Gas Absorption with Heat Effects: 1. A New Computational Method. En: Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop., Vol. 13, No. 2, 1974; p. 115-123.

BOURNE, John; STOCKAR, Urs; COGGAN, George. Gas Absorption with Heat Effects: 2. Experimental Results. En: Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop., Vol. 13, No. 2, 1974; p. 124-132.

DANCWERTS, P.V, Gas Liquid Reactions. 1ª edición. New York. Mc Graw Hill. 1975.

FOUST, Alan, Principios de Operaciones Unitarias. Editorial J. Wiley.

GALVIS, Alvaro. Ingeniería de Software Educativo. Ediciones Uniandes. 1ª edición. Bogotá. 1992.

GOMES, Edmundo; LICHTENHALER, Rüdiger; PRAUSNITZ, John, Termodinámica Molecular de los equilibrios de fases. 3ª edición. New York. Prentice may. 2000. p. 473-512.

KING, Cary; Separation Process. 2ª edición. New York. Mc Graw Hill. 1971.

MC CABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Petter. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4ª edición. España. Mc Graw Hill. 1991.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Visual Basic 6.0 Manual del Programador. Mc Graw Hill. 1ª edición. España. 1998. p. 920.

PERRY, Robert; GREEN, Don W. Manual del Ingeniero Químico. 7ª edición. España. Mc Graw Hill. 2001. Tomo I y III.

SHERWOOD, Thomas; PIGFORD, Robert; WILKE, Charles. Mass Transfer. 1ª edición. New York. Mc Graw Hill. 1975. p. 255-297; 301-383.

STOCKAR, Urs. y WILKE, Charles. Rigorous and Short-Cut Design Calculations for Gas Absorption Involving Large Heat Effects: 1. A New

Computational Method for Packed Gas Absorbers. En: Ind. Eng. Chem., Fundam., Vol.16, No 1, 1977; p. 88-93

STOCKAR, Urs. y WILKE, Charles. Rigorous and Short-Cut Design Calculations for Gas Absorption Involving Large Heat Effects: 2. Rapid Short-Cut Design Procedure for Packed Gas Absorbers. En: Ind. Eng. Chem., Fundam., Vol.16, No 1, 1977; p. 94-103.

TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª edición. México. Mc Graw Hill. 1988.

TREYBAL, Robert. Adiabatic Gas Absorption and Stripping in Packed Towers. En: Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 61, No 7, 1969; p. 36-41.

## ANEXOS

### ANEXO A.

#### MANUAL DEL USUARIO

Este capítulo está dedicado a la presentación del MEC elaborado, y de la forma como se instala y utiliza. Antes de comenzar, es conveniente señalar que para acceder a la aplicación se debe contar con la autorización de la Universidad Industrial de Santander o de los autores.

#### REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA EJECUCIÓN DEL MEC

Para que el MEC tenga un funcionamiento óptimo se deben cumplir los siguientes requisitos:

- **Requisitos de Hardware.** Se debe contar con un PC con mínimo 32 MB (se recomienda 64 MB) de memoria de acceso aleatorio (RAM), procesador Pentium II o superior y tarjeta de video de 8 MB o superior; unidad de CD-ROM; se recomiendan parlantes, para aprovechar las propiedades multimedia.
- **Requisitos de Software.** Se debe contar con sistema operativo Windows 98, Millenium. NT, 2000, XP o superior. La versión 4.0 o posterior de Microsoft Internet Explorer o Netscape Navigator.
- **Requisitos de instalación.** Para poder instalar este MEC, es necesario disponer por lo menos de 100 MB de espacio en el disco duro.

#### INSTALACIÓN DEL MEC

Para un óptimo desempeño del MEC, es necesaria la instalación tanto de Acrobat Reader como Macromedia Flash Player, inicialmente es necesario realizar lo siguiente:

- Paso 1. Inserte el CD-ROM del MEC, y verifique en su explorador de Windows la ubicación del directorio COMPLEMENTOS, en donde podrá encontrar los instaladores de los software anteriormente nombrados. Haga doble Click sobre cada uno de ellos y siga los pasos descritos. Si usted ya posee los programas anteriores continúe con el paso 2.
- Paso 2. Una vez verificada la instalación de Acrobat Reader y Macromedia Flash Player, inserte el CDROM del MEC y siga los pasos que se muestren en el momento en que aparezca la ventana de instalación.

Se recomienda que el usuario active el modo pantalla completa del navegador (Internet Explorer), esto se puede hacer de dos formas:

- En la ventana del navegador seleccione **Ver / Pantalla Completa**.
- Presionando la tecla **F11**.

Esto tiene como objetivo disponer del máximo espacio en la pantalla.

## **ESTRUCTURA DEL MEC**

A continuación se describe brevemente el contenido general del MEC y la interfaz que permiten la comunicación entre éste y el usuario.

**Contenido.** El MEC se encuentra dividido en cuatro módulos de información independientes, denominados secciones. Se recomienda el siguiente orden:

- Introducción.
- Absorción Multicomponentes Isotérmica.
- Absorción No Isotérmica.
- Absorción Reactiva.



**Introducción.** Aquí se presenta una idea general del contenido del MEC, y se plantean argumentos que sustentan la importancia del estudio de los modelos planteados. Dentro de esta sección se presentan los siguientes títulos:

- El modelamiento de la operación de absorción de gases
- Temperatura de operación
- Errores originados en el modelamiento inapropiado de la operación de Absorción de Gases.

**Absorción Multicomponentes Isotérmica.** Este módulo presenta el modelamiento de la absorción de gases multicomponentes. En esta sección se presentan los siguientes títulos:

- Absorción Multicomponentes.

- Ecuaciones de Kremser.

**Absorción No Isotérmica.** Se presentan varios métodos para el modelamiento de esta operación en las situaciones que amerite este enfoque. Se muestra una descripción detallada de los diversos procedimientos de cálculo:

- Método Simplificado.
- Método Riguroso.

**Absorción Reactiva.** Este modulo presenta una idea introductoria general de los enfoques de modelamiento de la absorción reactiva.

## **RECURSOS Y LIMITACIONES PARA LOS USUARIOS**

Los usuarios del MEC tienen a su disposición, además de toda la información presentada en forma de hipertexto, imágenes y animaciones (en formato Web), algunos recursos especiales que le ayudan a navegar mejor por el MEC. Estos recursos son:

**Barra de Herramientas.** Se compone por un conjunto de iconos que permiten al usuario navegar libremente por el MEC sin importar el sitio donde se encuentren.

**Programa de diseño para columnas empacadas.** Permite que el usuario fácilmente determine las dimensiones (altura y diámetro) en columnas de absorción empacadas y los perfiles de concentración y temperatura a lo largo de éstas, y por tanto permite hacer comparaciones variando las diversas condiciones operacionales, sistemas gas-líquido y tipos de empaques empleados. En el programa de diseño se presentan las propiedades de los

empaques empleados. En el Anexo F se presenta el algoritmo desarrollado para este programa.

**Programa de diseño para columnas de platos.** Permite que el usuario fácilmente determine entre otros parámetros los siguientes: altura de la columna, longitud del derramadero y del vertedero, diámetro de la columna, área total del plato, entre otros. En el Anexo F se presenta el algoritmo desarrollado para este programa.

**Menú principal.** Mediante este recurso el usuario puede acceder a los subtemas especificados en cada módulo que desee consultar.

**Glosario.** Mientras se navega en el MEC se encuentran palabras escritas con color rojo, estas están vinculadas a su significado y el usuario puede tener acceso al significado de esa palabra o expresión.

**Animaciones.** El MEC presenta al usuario animaciones que facilitan la comprensión de los fenómenos que se explican, y otros que permiten visualizar esquemas o algoritmos.

**Sonido.** Permite un canal de comunicación adicional con el usuario que motiva el proceso de aprendizaje.

**Gráficas.** Se presentan gráficas a color, esto favorece la distinción de los elementos que la componen.

## INTERFAZ

La estructura de la página en general consta de:











**Encabezado de página.** Contiene en el margen superior izquierdo el logotipo de la Universidad Industrial de Santander, acompañado de su nombre completo. En la parte central el título del proyecto y en el extremo derecho el logo que lo identifica. El encabezado de página presenta la opción de enlazar con la página Web principal de la UIS, al dar click sobre éste.

**Área de trabajo.** Es el área donde se presenta la información que el usuario solicita. De acuerdo al diseño de marcos del MEC esta área se encuentra debajo de la barra de herramientas.

**Barra de Herramientas.**



Esta compuesta por nueve iconos que permiten al usuario diferentes opciones de navegación. Esta barra se encuentra fija bajo el encabezado. Los iconos que la conforman son:

-  • Contenido. Agrupa los títulos contenidos en el MEC, permitiendo su manipulación de manera no lineal.
-  • Programas. Permite el acceso al software para diseño de columnas empacadas y columnas de platos.
-  • Animaciones. Presenta una página donde se encuentran listadas las animaciones.
-  • Tutorial de programación: Permite el acceso al tutorial de programación.
-  • Glosario. Compila el significado de una serie de términos que se consideran complejos para el usuario.
-  • Manual del usuario. Contempla una guía de manejo del MEC.
-  • Nomenclatura. Reúne el significado, dimensiones, y unidades de las diferentes ecuaciones que se presentan en el MEC.
-  • Bibliografía. Agrupa la información (libros, artículos, documentos electrónicos, sitios WEB, etc.) que ha servido de base para el desarrollo del presente MEC.



Información. Ofrece información general sobre el MEC y las personas que han participado en el desarrollo del mismo. Además permite al usuario comunicarse con los autores, o con las personas encargadas de su actualización.

**Otras herramientas.** También se han desarrollado herramientas como el hipertexto y algunos iconos adicionales que le dan al usuario mayores posibilidades de comprensión y navegabilidad.



- **Atrás.** Este icono se desplaza a la página anterior en el orden secuencial propuesto para un conocimiento progresivo.



- **Siguiente.** Este icono se desplaza a la página siguiente en el orden secuencial propuesto para un conocimiento progresivo.

- **Vínculo.** Durante la consulta en el MEC el usuario encontrará palabras escritas en verde y con negrilla, estas palabras son vínculos que lo conducen a páginas con mayor información dentro del mismo MEC.
- **Ayuda.** Durante la consulta en el MEC el usuario encontrará palabras escritas en rojo, estas son las palabras contenidas en el glosario. Click sobre ellas se remite a la página de glosario.

