

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS



**Facultad de Química-Farmacía
Departamento de Ingeniería Química.**

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Versión mejorada del sistema computacional para la realización de prácticas de Laboratorios Virtuales en la asignatura OPU V.

Diplomante: Loire Mustelier Ruiz.

Tutor: MSc. Serafin Machado Benavides.

Consultante: Ing. Ángel Santana Martines.

Curso 2004-2005

“Año de la Alternativa Bolivariana para las Américas”.

Resumen.

Este trabajo consiste en el mejoramiento y completamiento del sistema computacional existente para la realización de las prácticas de laboratorio (virtuales) de la asignatura Operaciones y Procesos Unitarios V sobre soporte Web mediante la elaboración de algoritmos que facilitaron la programación a partir de ecuaciones matemáticas, utilizando programas sencillos que permiten un mejor acople en el trabajo del estudiante y el profesor en conjunto.

Este Sitio Web va dirigido principalmente a estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.

Desde este Sitio Web mejorado, los estudiantes podrán acceder a temas relacionados con la transferencia de calor y podrán conseguir información acerca del uso de algunos equipos e instrumentos de medición. También, tendrán acceso a informaciones y materiales publicados por sus profesores con el objetivo de hacer más emotivo y eficiente el proceso de aprendizaje y en general constituye un primer paso en la informatización de la disciplina de igual nombre.

Summary.

This work consists on the improvement and complete of the system existent computation for the realization of the laboratory practices (virtual) of the subject Operations and Unitary Processes V on Web supports by means of the elaboration of algorithms that you/they facilitated the programming starting from mathematical equations, using simple programs that allow a better one it couples on the whole in the student's work and the professor.

This Place Web goes directed to students of the career of Chemical Engineering mainly.

From this Place improved Web, the students will be able to consent to topics related with the transfer of heat and they will be able to get information about the use of some teams and mensuration instruments. Also, they will have access to informations and materials published by their professors with the objective of making more moving and more efficient the learning process and in general it constitutes a first step in the computerize of the equal discipline it names.

Índice.

	Pág.
Introducción.	1
Capítulo I: Revisión bibliográfica.	4
1.0.0 Transferencia de calor vinculada a las prácticas de laboratorio.	4
1.0.1 Transferencia de calor.	4
1.0.2 Pérdida de calor en una tubería aislada.	7
1.0.3 Intercambiadores de calor.	9
1.0.4 Generalidades acerca del proceso de condensación.	12
1.0.5 Evaporación. Evaluación de evaporadores múltiple efecto sin extracción.	15
1.1.0 La computadora como medio del proceso de enseñanza y aprendizaje.	19
1.1.1 El algoritmo.	20
1.1.2 Anatomía del algoritmo.	21
1.2.0 Laboratorios virtuales. Definición y características principales.	22
1.2.1 Laboratorios virtuales con fines educativos.	24
1.2.2 La simulación como herramienta indispensable en la elaboración de buenas prácticas virtuales.	25
1.2.3 Prácticas de laboratorio.	26
Conclusiones parciales.	29
Capitulo II: Descripción del servicio Web mejorado de la asignatura OPU V.	30
2.0.1 Elaboración de un algoritmo para el laboratorio virtual de Transferencia de Calor.	30
2.0.2 Metodología para el desarrollo del algoritmo para el mejoramiento de los laboratorios virtuales.	32
2.0.3 Estructura del algoritmo.	32
2.0.4 Análisis de beneficios del algoritmo.	33
2.1.0 Aplicabilidad del laboratorio virtual.	34
2.2.0 Conformación de la Web.	35
2.2.1 Configuración.	35
Conclusiones parciales.	65
Conclusiones.	66
Recomendaciones.	67
Bibliografía.	68
Anexos.	71
Figura # 1A: Ambiente Web sin modificar.	71
Figura # 1B: Ambiente Web modificado.	72
Figura # 1C: Algoritmo; Práctica de laboratorio #1.	73
Figura # 1D: Algoritmo; Práctica de laboratorio #2.	74
Figura # 1E: Algoritmo; Práctica de laboratorio #2 parte 2.	75
Figura # 1F: Algoritmo; Práctica de laboratorio #3.	76
Figura # 1G: Algoritmo; Práctica de laboratorio #3 parte 2.	77
Figura # 1H: Algoritmo; Práctica de laboratorio #4.	78
Figura # 1I: Algoritmo; Práctica de laboratorio #4 parte 2.	79

Introducción.

En los últimos años en el país se han producido cambios con el objetivo de mejorar el proceso docente - educativo no solo de la enseñanza medio sino incluso de la enseñanza superior, a pesar de los inconvenientes que se han presentado debido al bloqueo y encarecimiento de aquellos equipos de laboratorios docentes que posibilitan a los estudiantes apropiarse de las habilidades experimentales necesarias para un desempeño exitoso en su vida profesional y que contribuyen en gran medida a elevar la calidad del egresado. A lo anterior se suma la necesidad de afrontar dos grandes retos de la educación:

- ✖ Desarrollar en el ámbito académico acciones que permitan preservar y recuperar el medio ambiente en nuestro país, asegurando de esta forma una cultura ambiental e humanista a las nuevas generaciones sobre el aseguramiento de los recursos naturales.
- ✖ Implantar y desarrollar estrategias de enseñanza, dirigidas al desarrollo de habilidades y actitudes en los educandos que les permita un mayor desenvolvimiento en la futura sociedad informática, donde deberán ser capaces profesionalmente de resolver genuinamente los problemas de economía, estado y medio ambiente derivados del desarrollo tecnológico, industrial y social de la última parte del siglo XX, demandando esto último el principio de compartir los recursos y conocimientos a través de la práctica aprendizajes - colaboración.

En este trabajo se refleja la preocupación por la didáctica de la enseñanza dirigida a la formación de un profesional capaz de resolver con profundidad e integralidad, independiente y creadoramente, los problemas básicos y generales que se le presentaran en las distintas esferas de actuación de su objeto de trabajo a partir del desarrollo de aplicaciones que permitan realizar el manejo y visualización de experimentos a distancia sin la necesidad de requerir de equipamiento o reactivos, la justificación se basa en los siguientes puntos:

- ✖ Compartir los recursos tecnológicos existentes.
- ✖ Hacer posible el ensayo de equipos no disponibles en el laboratorio.
- ✖ Posibilitar el ensayo "personal" del alumno y eliminar las limitaciones de tiempo de ensayo a pie de máquina.

- ✖ Apoyar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante ejemplos prácticos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se plantea el siguiente:

Problema Científico:

Existe un importante nivel de deterioro en el equipamiento y en la caldera de vapor del laboratorio de Operaciones Unitarias que hacen imposible la realización de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V, necesiéndose encontrar alternativas que posibiliten la adquisición de habilidades por parte de los estudiantes por esta vía.

Hipótesis:

Es posible la elaboración de algoritmos que permitan implementar con facilidad el espacio Web de los Laboratorios Virtuales de la asignatura OPU V (Transferencia de Calor) como nueva herramienta que contribuye al desarrollo de conocimientos y habilidades en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.

Para validar la hipótesis se plantea como **objetivo general**:

Elaborar los *algoritmos* que permitan la programación en soporte electrónico y el completamiento de los laboratorios virtuales para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje en la asignatura OPU V.

El objetivo general se cumplimentará a través de los siguientes **objetivos específicos**:

- ✖ Precisar los métodos de cálculo para cada práctica de laboratorio de la asignatura OPU V y proceder a su algoritmización y programación.
- ✖ Completar el sitio Web y las páginas Web correspondientes a las prácticas de laboratorio virtuales de la asignatura OPU V.
- ✖ Precisar las ventajas que tiene la introducción de las prácticas de laboratorio virtuales en la asignatura OPU V.
- ✖ Trazar pautas que permitan a posteriores confeccionar un sitio Web para la disciplina Operaciones y Procesos Unitarios.

Para cumplimentar los objetivos específicos se trabajará en las siguientes **tareas**:

1. Estudio bibliográfico acerca de la Transferencia de Calor como ciencia, algoritmización, práctica de laboratorios virtuales y sus características.

2. Precisar los métodos de calculo adecuados para satisfacer los requerimiento de cada práctica de laboratorio de la asignatura OPU V.
3. Algoritmizar todos los métodos de calculos correspondientes a las diferentes prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V.
4. Describir y explicar las características del sitio Web y las páginas correspondientes a las prácticas de los laboratorios virtuales de la asignatura OPU V.

Este trabajo a parte de resolver la problematica de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V, por sus características presenta en si determinados valores de tipo **metodologico**, a seber:

- ✧ Ofrece la posibilidad de introducir nuevos software y tecnología en la carrera de Ingeniería química.
- ✧ Amplia las posibilidades adquisición de conocimiento y habilidades por parte de los estudiantes.
- ✧ Sirve como referencia para la ejecución de proyectos similares, encaminados al desarrollo y diseño de entornos virtuales para la enseñanza de otras asignaturas de la disiplina OPU.



Capítulo I: Revisión bibliográfica.

1.0.0 Transferencia de calor vinculada a las prácticas de laboratorio.

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede llevarse a cabo entre cuerpos materiales (Holman, 1999), es decir, la transferencia de calor es el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuente de calor y receptor.

1.0.1 Transferencia de calor.

Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipos de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglos de las superficies que separan la fuente del receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema. (Q. Kern, 1979)

1.0.1.1 Mecanismos de transferencia de calor.

Existen tres vías por las cuales el calor puede pasar de la fuente al receptor, conducción, convección y radiación, aún cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de ellas.

Conducción: La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la Figura 1.1 donde la dirección del flujo será a ángulos

rectos con el cuerpo si las superficies de éste son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico.

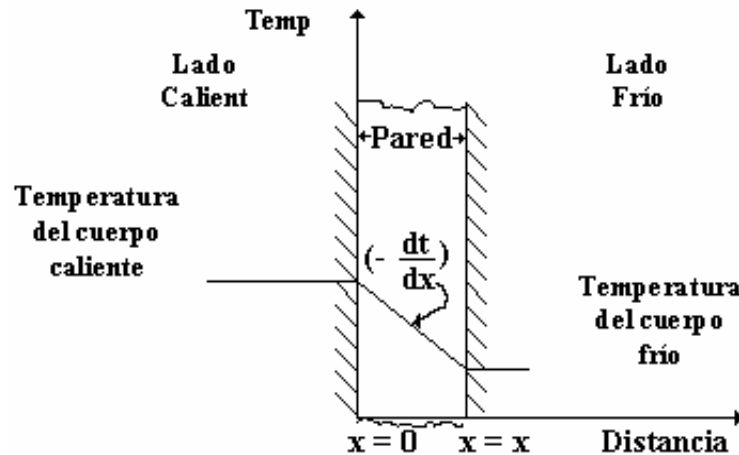


Figura 1.1 Flujo de calor a través de una pared.

Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Se conoce que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y el área de la pared (A). Si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por:

$$dQ = kA\left(-\frac{dt}{dx}\right) ; \text{ Btu/h} \quad (1.1)$$

El término $-\frac{dt}{dx}$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = x$. En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor dx . La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la ecuación (1.1). La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aún cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones. (Q. Kern, 1979)

Ley de Fourier.

Durante el estudio del proceso de conductibilidad térmica en los sólidos Fourier determinó, por consideraciones experimentales, que la cantidad de calor transmitida es proporcional al descenso de temperatura, al tiempo y al área de la sección orientada perpendicularmente a la dirección de propagación del calor. Si la cantidad del calor transmitido se refiere a una unidad del área de la sección por unidad de tiempo, entonces la dependencia establecida se puede escribir:

$$q = -\lambda * \nabla T$$

Esta ecuación no es más que la expresión matemática de la primera ley de la conductibilidad térmica, la Ley de Fourier. (I. M. Mijeeva y M. A. Mijeev, 1979)

Según Kreith, F.; Boehm, R.F. (1999): La ley que rige la transferencia de calor por conducción es la de Fourier, esta ley plantea la idea de que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura en cualquier dirección n . La conductividad térmica, k , es una propiedad de los materiales que depende de la temperatura y es a su vez la constante de proporcionalidad.

$$q_k = -k * A * \frac{dT}{dn}$$

Convección: La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o libre. Si se produce cualquier otra agitación, tal como la provocada por un agitador el proceso es convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y está dada por:

$$dQ = h * A * dT \quad (1.2)$$

La constante de proporcionalidad h es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, debe ser evaluada experimentalmente y se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la ecuación (1.2) se escribe en su forma integrada; $Q = h * A * \Delta t$ se le conoce como la Ley de enfriamiento de Newton. (Holman., 1999).

Radiación: La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann estableció que la velocidad a la cual una fuente da calor es:

$$dQ = \sigma * \varepsilon * dA * T^4$$

Esto se conoce como la ley de la cuarta potencia, T es la temperatura absoluta, σ es una constante dimensional, pero ε es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad, igual que la conductividad térmica k o el coeficiente de transferencia de calor h , debe también determinarse experimentalmente.

1.0.2 Pérdida de calor en una tubería aislada.

Supongamos que la superficie externa fría de un tubo aislado puede mantenerse a una temperatura definida para que Q y A_t sean conocidas y dependientes en una sola ecuación. En realidad, las temperaturas asignadas a la pared exterior dependen no solamente de las resistencias entre las superficies calientes y frías, sino también en la habilidad de la atmósfera más fría que lo rodea para remover el calor que llega a la superficie externa. Considere un tubo como el que se muestra en la Figura 1.2, cubierto con un aislante de lana mineral y que lleva vapor a la temperatura t_s considerablemente arriba de la temperatura atmosférica, t_a . La diferencia total de temperatura que origina el flujo de calor hacia afuera del tubo es $t_s - t_a$. (Q. Kern, 1979)

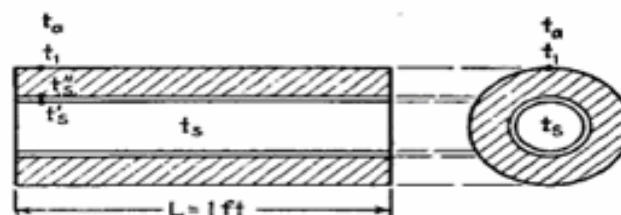


Figura 1.2 Pérdida de calor de un tubo aislado.

Las resistencias al flujo de calor tomadas en orden son (1) la resistencia del vapor al condensarse y dar su calor a la superficie interna del tubo, resistencia que

experimentalmente se ha encontrado muy pequeña, de manera que t_s y t_s'' son casi las mismas; (2) la resistencia del tubo metálico, que es muy pequeña, excepto para tuberías gruesas, de manera que t_s' y t_s'' son casi las mismas; (3) la resistencia del aislante de lana mineral, y (4) la resistencia del aire que lo rodea para eliminar el calor de la superficie externa. Ésta última es apreciable, aún cuando la remoción de calor se efectúa por convección natural del aire ambiente en adición a la radiación; y tiene como origen la diferencia de temperatura entre la superficie exterior y el aire frío. La convección natural resulta del entibiamiento del aire. En la Figura 1.3 se han graficado los coeficientes superficiales de transferencia para tubos de diferentes diámetros y temperaturas de superficie hacia aire ambiente a 70°F. Esta gráfica está basada en los datos de Heilman (1924), que han sido confirmados por experimentos posteriores de Bailey y Lyell (1939).

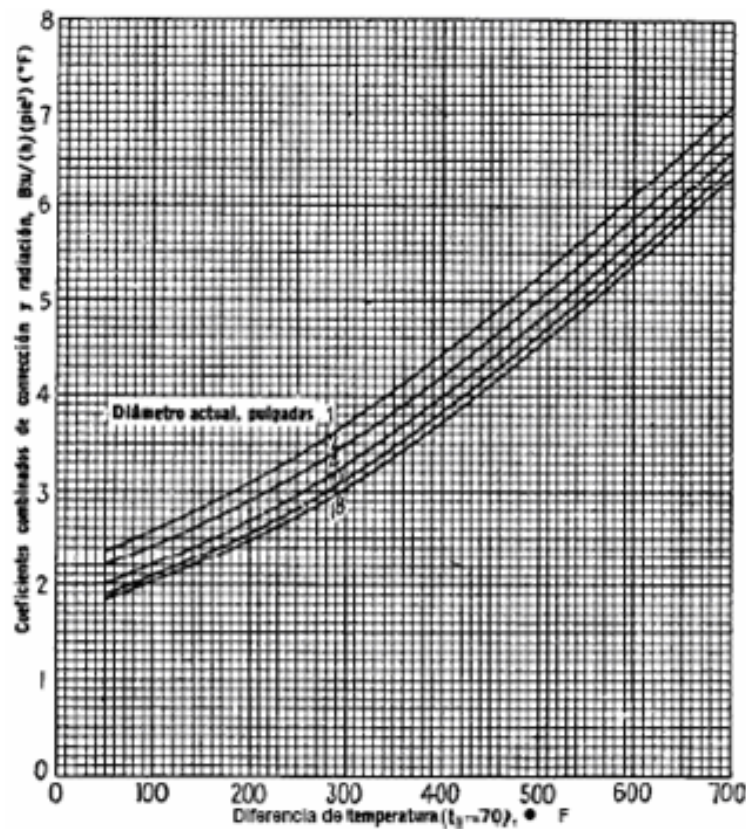


Figura 1.3 Transferencia de calor por convección y radiación de tubos horizontales a temperatura t_1 a aire a 70°C

Las cuatro resistencias en forma de ecuación son:

Condensación del vapor:

$$q = h_s * \pi * D'_s * (t_s - t'_s) \quad (1.3)$$

Pared del tubo:

$$q = \frac{2 * \pi * k_b}{2.3 * \log\left(\frac{D''_s}{D_s}\right)} * (t'_s - t''_s) \quad (1.4)$$

Aislante:

$$q = \frac{2 * \pi * k_c}{2.3 * \log\left(\frac{D_1}{D''_s}\right)} * (t''_s - t_1) \quad (1.5)$$

Radiación y convección al aire:

$$q = h_a * \pi * D_1 * (t_1 - t_a) \quad (1.6)$$

Combinando las ecuaciones nos queda:

$$q = \frac{\pi * (t_s - t_a)}{\frac{2.3}{2 * k_c} * \log\left(\frac{D_1}{D''_s}\right) + \frac{1}{h_a * D_1}} \quad (1.7)$$

Siendo: h_aCoeficiente combinado de convección y radiación el cual se puede hallar por la Figura 1.3 o mediante la siguiente ecuación:

$$h_a = 9.4 + 0.052 * (t_1 - t_a) \quad (1.8)$$

El coeficiente h_a no sólo depende de la diferencia de temperatura, sino de las temperaturas actuales en el exterior del aislante y del aire. Su recíproco es también una de las resistencias necesarias para el cálculo de la diferencia total de temperatura, por lo tanto, el coeficiente de superficie h_a no puede ser computado, excepto por métodos de prueba y error. (Q. Kern, 1979)

1.0.3 Intercambiadores de calor.

Un intercambiador de calor es un dispositivo para mantener la transferencia de energía térmica interna (entalpía) entre dos o más fluidos, entre una superficie sólida y un fluido, o entre partículas sólidas y un fluido, en contacto térmico sin calentamiento externo e interacciones de trabajo. Los fluidos pueden ser compuestos simples o mezclas.

Las aplicaciones típicas involucran el calentamiento o enfriamiento de una corriente de flujo en particular, evaporación o condensación de una corriente de flujo de uno o múltiples componentes y la recuperación o rechazo de calor de un sistema. En otras aplicaciones, el objetivo puede ser esterilizar, pasteurizar, fraccionar, destilar, concentrar, cristalizar, o

controlar el fluido de un proceso. En algunos intercambiadores de calor, los fluidos que transfieren el calor están en contacto directo. (K. Shah, 1999)

La transferencia de energía térmica entre los fluidos es uno de los procesos más importantes y frecuentemente usados en la ingeniería. La transferencia de calor es normalmente llevada a cabo por medio de un dispositivo conocido como intercambiador de calor. Las aplicaciones más comunes de los intercambiadores de calor en el campo industrial son: calderas, ventiladores enfriadores, condensadores y intercambiadores de calor de agua fría.

El diseño básico de un intercambiador de calor normalmente tiene dos fluidos de temperaturas diferentes separados por algún medio conductor. El diseño más común tiene un fluido que fluye a través de los tubos de metal y el otro fluido que fluye alrededor de los tubos. En cualquier lateral del tubo, el calor se transfiere por convección. El calor se transfiere a través de la pared del tubo por conducción.

Los intercambiadores de calor pueden ser divididos en varias categorías o clasificaciones. En el tipo de intercambiador de calor más comúnmente usado, dos fluidos de diferente temperatura fluyen en espacios separados por la pared de un tubo. Ellos transfieren el calor por convección y por conducción a través de la pared. Este tipo de intercambiador de calor se le denomina "ordinario", comparado con los otros tipos denominados regeneradores y torres de enfriamiento. (U.S. Department of Energy, 1992)

1.0.3.1 Métodos de cálculo de intercambiadores de calor.

El cálculo del área de Transferencia de calor para una aplicación determinada es el aspecto principal del dimensionamiento de un intercambiador de calor y se aplica:

$$Q = U_D * A * \Delta t; \text{ [W]}$$

Siendo:

Q ----- Cantidad de calor transferido; W

U_D ----- Coeficiente total de Transferencia de Calor; $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A ----- Área de transferencia de calor; m^2

Δt ----- Flujo de temperatura; $^\circ C$

Por otra parte, en relación con los intercambiadores se realizan otros tipos de cálculo, como es la evaluación que tiene el propósito de valorar las condiciones de operación de un equipo existente y su operación a partir del conocimiento de sus parámetros de operación.

El chequeo se aplica cuando se quiere conocer si un equipo existente y en operación es apropiado para nuevas condiciones de operación. En relación con los equipos intercambiadores de calor se aplican diferentes métodos de cálculo siendo los más utilizados los conocidos como:

- **Método de efectividad – NTU.**

Se basa en el conocimiento de la efectividad de un intercambiador de calor como la relación entre la cantidad de calor real intercambiada y la máxima posible y otras definiciones como:

NTU: El número de unidades de transferencia es un parámetro unidimensional indicativo de la capacidad para transferir calor de un equipo, $NTU = \frac{U * A}{C_{mínima}}$

C: Capacidad calorífica determinada por el producto del flujo másico (kg/s) y el calor específico, W/kg-°C, por tanto C se expresa en W/°K.

Para algunos intercambiadores de calor se puede demostrar que:

$$\varepsilon = f\left(NTU, \frac{C_{mínimo}}{C_{máximo}}\right)$$

Para diferentes equipos intercambiadores de calor existen ecuaciones y gráficos para determinar ε en función de NTU y $C_{mín.}/C_{máx.}$

- **Método de la diferencia verdadera de temperatura – MLDT.**

Es el método más universalmente utilizado e implica utilizar la ecuación de diseño $Q = U_D * A * \Delta t$ en la cual, sobre la base del conocimiento las cuatro temperaturas del proceso t_1, t_2, T_1, T_2 se determina la MLDT.

Con otros parámetros de operación en término de propiedades físicas y geométricas del sistema se determinan los demás parámetros necesarios:

- *Balance térmico: Q*

- *Ecuaciones o gráficas:* Coeficientes individuales de transferencia de calor interior (h_i) y exterior (h_o).
- *Coeficiente total de transferencia de calor limpio:* U_c .
- *Coeficiente total de transferencia de calor sucio de diseño:* U_D .
- *Factor de depósito real:* $R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c * U_D}$; $m^2 \cdot ^\circ C/W$

Los valores de la cantidad de calor, los coeficientes y el factor de depósito permiten valorar la situación de operación del equipo.

1.0.4 Generalidades acerca del proceso de condensación.

Cuando un vapor entra en contacto con una pared cuya temperatura es inferior a su temperatura de saturación, entonces el vapor condensa y precipita sobre la pared. Simultáneamente se ven dos tipos de condensación:

En gotículas donde el precipitado en forma de gotas separadas y en película cuando en la superficie se forma una película continua del líquido.

La condensación en forma de gotas ocurre cuando el condensado no moja la superficie de transferencia de calor. Pocos vapores condensan espontáneamente en forma de gotas, siendo un ejemplo el vapor de agua bajo determinadas condiciones. Sin embargo, este tipo de condensación se puede lograr usando promotores, es decir, disponiendo sobre la superficie o alimentando con el vapor a condensar aceites, kerosén o ácidos grasos, siempre y cuando la superficie de transferencia de calor esté bien pulida.

Por su parte la condensación pelicular se obtiene cuando el condensado moja la superficie de transferencia de calor, formando una película estable que se constituye en la principal resistencia al paso del calor, debido a lo cual se obtienen coeficientes de condensación entre cuatro y ocho veces inferiores a los correspondientes a la condensación en forma de gotas. (A. Meejev y M. Meejeva, 1979)

La condensación pelicular es susceptible de tratar matemáticamente bajo determinados principios. Varios investigadores la estudiaron y establecieron sus teorías fundamentalmente Nusselt (1916).

Según Nusselt (1916) durante el proceso de condensación en el límite exterior de la capa de condensado, el vapor y el líquido se encuentran en equilibrio termodinámico y por tanto la

única resistencia al paso del calor es la que ofrece la película de condensado que escurre en flujo laminar bajo la acción de la gravedad.

Al aplicar su teoría a la condensación sobre una superficie vertical tiene en cuenta otras nueve suposiciones (Q. Kern, 1979), entre otras que el condensado comienza a formarse en la parte superior de la superficie y que su espesor aumenta con rapidez. Adicionalmente el calor pasa a través de la película de condensado por conducción. (A. Meejev y M. Meejeva, 1979)

La metodología de calculo consiste entonces en determinar una expresión para el a partir de un balance de fuerzas según la figura 1.4, aplicado a un cubo dx, dy, dz dando las siguientes expresiones.

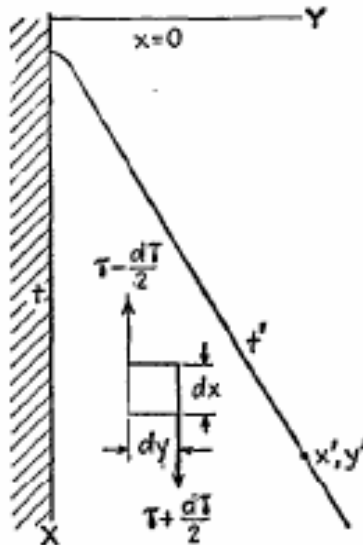


Figura 1.4 Película de condensado vertical.

Superficie vertical.

$$\bar{h}_{nsl} = 0.943 * \left(\frac{K_f^3 * \rho_f^2 * \lambda * g}{\mu_f * l * \Delta t_f} \right)^{1/4}$$

$$\Delta t_f = t_f - t_w \dots\dots t_f = \frac{1}{2} * (t_v + t_w)$$

Superficie horizontal.

$$\bar{h}_{nsl} = 0.725 * \left(\frac{K_f^3 * \rho_f^2 * \lambda * g}{\mu_f * d_0 * \Delta t_f} \right)^{1/4}$$

Corrección por dependencia de la propiedad física del condensado de la temperatura:

Debido a que cambian las propiedades físicas del fluido con la temperatura se hace necesario introducir un factor de corrección ε_t para ajustar el valor del coeficiente de condensación teórico a su valor real. Es decir: $\bar{h} = \bar{h}_{nsl} * \varepsilon_t$

El valor del factor de corrección se calcula en función de la conductividad térmica K y la viscosidad del fluido μ a la temperatura de la pared t_w y de saturación t_s .

$$\varepsilon_t = \frac{\bar{h}}{\bar{h}_{ns}} = \left[\left(\frac{K_w}{K_s} \right)^3 * \frac{\mu_s}{\mu_w} \right]^{1/8}$$

Corrección por efecto del movimiento ondulatorio:

Según Nusselt (1916) el condensado escurre en régimen laminar, lo cual se cumple casi siempre en el caso de condensación sobre superficies horizontales. En el caso de superficies verticales el régimen de flujo puede ser transitorio u ondulatorio necesitándose la introducción ε_v mediante el cual se tiene en cuenta esta situación, éste factor de corrección

se puede obtener mediante la siguiente ecuación: $\varepsilon_v = \left(\frac{Res}{4} \right)^{0.04}$, en la cual el valor del

número de Reynold se obtiene a través de:

$$Res = \frac{\bar{h}_{ns} * \Delta t * l}{\lambda * \mu} * 4$$

Si $Res \leq 4$ ----- $\varepsilon_v = 1$.

Finalmente el valor del coeficiente de condensación corregido se obtiene implicando los factores de corrección por efectos de la temperatura y del movimiento ondulatorio mediante la siguiente expresión:

$$\bar{h} = \bar{h}_{nsl} * \varepsilon_t * \varepsilon_v$$

Para superficies verticales grandes existe la posibilidad de que el flujo llegue a ser turbulento. En el caso de que el flujo sea turbulento el valor del coeficiente de condensación no se obtiene por las ecuaciones de Nusselt sino a través de:

$$\bar{h} = 400 * \frac{\lambda * \mu_s}{l * \Delta t} \left[1 + 0.625 * Pr^{0.5} * \left(\frac{l * \Delta t}{(l * \Delta t)_{crít}} - 1 \right) \right]^{4/3}$$

La ecuación anterior está en función de propiedades físicas del fluido en forma de líquido y vapor; así como de las propiedades geométricas del sistema.

Para conocer si el movimiento del condensado es turbulento se compara el producto de $(l \Delta t)_{\text{crít}}$ y $(l \Delta t)_{\text{real}}$:

Si $(l \Delta t)_{\text{real}} \leq (l \Delta t)_{\text{crít}}$. ----- No turbulento.

$(l \Delta t)_{\text{real}} > (l \Delta t)_{\text{crít}}$ ---- Turbulento.

Particularmente el valor de $(l \Delta t)_{\text{crít}}$ se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$(l \Delta t)_{\text{crít}} = 2300 * \frac{\lambda * \mu_s}{K_s} * \left(\frac{v_s^2}{g} * \frac{\rho'}{\rho' - \rho''} \right)^{1/3}$$

Existen otras expresiones de cálculo del coeficiente de condensación dadas por McAdams (1942) para superficies horizontales, inclinadas y verticales, incluyendo gráficos¹. (Q. Kern, 1979)

1.0.5 Evaporación. Evaluación de evaporadores múltiple efecto sin extracción.

El objetivo de la operación de evaporación es concentrar una solución que consta de un soluto no volátil y un disolvente volátil y se llevaba a cabo vaporizando una parte del disolvente con el fin de obtener una solución concentrada. La evaporación, como operación unitaria de ingeniería química, difiere de la destilación en que la sustancia disuelta no es volátil y se puede lograr la evaporación completa en otra etapa.

Los evaporadores y vaporizadores transforman líquidos a vapor por medio de la aplicación de calor. En la tecnología de los procesos convencionales se consideran los evaporadores como secadores o concentradores de líquidos, ideados para separar disolventes de las sustancias disueltas por evaporación. En la mayor parte de las aplicaciones el disolvente es agua. (Ulrich, 1990)

Básicamente, un evaporador debe consistir en un intercambiador de calor capaz de hacer hervir la solución y un dispositivo para separar la fase de vapor del líquido hirviente.

1. Ver pág. 314..... Ec. 12.42 pág. 317 y fig. 12.9 pág. 318 Kern.

1.0.5.1 Clasificación y estructura.

Existen dos tipos principales de equipos tubulares vaporizadores usados en la industria.

- 1 **Caldera de vapor:** Equipo tubular que por principio convierte la energía de un combustible en calor latente de vaporización de un fluido.
- 2 **Intercambiadores vaporizadores:** Equipos tubulares que convierten el calor latente o sensible de un fluido en calor latente de vaporización de otro fluido.

Los equipos tubulares vaporizadores tienen su clasificación:

- a) Hervidor: suministra los requerimientos de calor al fondo de una columna de destilación.
- b) Vaporizador: Cuando no se usa en la formación de vapor agua, sino que se evapora otra sustancia.
- c) Evaporador: Se evapora agua a partir de una solución.
- d) Evaporadores para plantas de fuerza: Evaporadores relacionados con los sistemas de plantas de fuerza para producir agua pura.

En particular, el evaporador para concentrar una solución mediante la evaporación del solvente (agua) se llama evaporador químico, los cuales tienen la siguiente clasificación.

- ✧ **Evaporador químico con circulación natural:** Éstos pueden ser de tubos verticales largos o cortos y de tubos horizontales.
- ✧ **Evaporador químico con circulación forzada:** Pueden ser de elemento calefactor horizontal y de elemento calefactor vertical.
- ✧ **Evaporador químico tipo canasta.**
- ✧ **Evaporador químico de película descendiente gravitacional.**
- ✧ **Evaporador químico de película descendiente agitada.**
- ✧ **Evaporador químico de híbridos.**

Según los autores norteamericanos McCabe y Smith (1979), los principales tipos de evaporadores calentados por vapor que se usan son:

- ✧ **Evaporador de tubos cortos.**
 - De tubos horizontales.
 - De tubos verticales.
- ✧ **Evaporador de tubos largos.**
 - Con circulación forzada.

- De flujo ascendente (Película Ascendente).
- De flujo descendente (Película Descendente).
- ✧ **Evaporadores de serpentín.**
- ✧ **Evaporadores de película agitada.**

1.0.5.2 Evaluación de un múltiple efecto evaporador.

Para conocer las condiciones de operación del equipo evaporador, es decir la eficiencia del mismo se realiza su evaluación, para ello se debe tener información mínima necesaria tales como:

- ✧ Presiones de operación.
- ✧ Temperatura de operación.
- ✧ Concentración de operación.
- ✧ Áreas de transferencia de calor.
- ✧ Flujos.

Con la información pertinente y aplicando balance de masa y energía se calculan:

- ✧ **Economía:** Relación entre evaporación total y consumo de vapor. No tiene unidad de medida es adimensional.

$$e = \frac{V_r}{S}$$

Desde el punto de vista teórico lo ideal es tener altos valores de economía indicativos de un bajo consumo de vapor para el calentamiento. Existen valores teóricos y prácticos en dependencia del número de efectos del equipo.

Equipo	Valor teórico	Valor práctico
Simple efecto	1	0.95
Doble efecto	2	1.95
Triple efecto	3	2.85
Cuádruple efecto	4	3.9
Quíntuple efecto	5	4.8

- ✧ **Coeficiente de evaporación:** Relación entre la evaporación total y el área de transferencia de calor. Su unidad de medidas es kg/h-m².

$$Co.e = \frac{V_T}{A_T}$$

Éste parámetro indica la eficiencia en el uso del área de transferencia de calor, siendo más eficiente el equipo con valores mayores. Para diferentes equipos existen valores teóricos y prácticos.

Equipo	Valor teórico	Valor práctico
Doble efecto	50	-
Triple efecto	33	45
Cuádruple efecto	25	30
Quíntuple efecto	20	22.2

- ✧ **Coefficiente de transferencia de calor:** Si el coeficiente está basado en la diferencia de temperatura a través de la superficie de calentamiento entre el vapor de calefacción y el líquido que se evapora (Kern, 1979): $U_D = \frac{Q}{A * \Delta t}$ Su unidad de medida es $W/m^2-^{\circ}C$.

Según Hugot (1980), se obtiene valores teóricos para diferentes equipos de evaporación.

Efecto	Triple	Cuádruple	Quíntuple
1	2100	2000	2000
2	1450	1400	1400
3	650	950	1000
4	-	450	725
5	-	-	425

- ✧ **Eficiencia del área de evaporación:** Relación de la cantidad de vapor al condensado y la producida en el evaporador. Su unidad de medida es en %.

$$E_f = \left(1 - \frac{V_{con}}{V_T} \right) * 100$$

Este es un parámetro importante para conocer si se usa intensivamente el vapor producido en el múltiple efecto. Se debe tender a valores altos superiores al 90%.

Para decidir a cerca de la eficiencia de funcionamiento de un múltiple efecto evaporador se valoran todos los parámetros anteriores en su conjunto, teniendo en cuenta las condiciones y características del esquema de evaporación.

1.1 La Computadora como mediadora del proceso de enseñanza y aprendizaje.

En el transcurso de los años escolares se presenta el modo de enfrentarse a ciertos problemas, los cuales se tienen que solucionar y no se mencionan las operaciones necesarias para encontrar el resultado correcto.

La causa de esto es que en general no se ha sido educado al respecto, la educación tradicional se dedica a depositar conocimientos en la cabeza del estudiante.

Es decir, no se piensa en cómo encontrar estrategias propias para resolver diversos problemas, "es por tal razón que los estudiantes generalmente sólo piensan en el contenido que tienen que aprender y no en cómo asimilarlo".

Actualmente varios especialistas en Educación han encontrado en la computadora una herramienta didáctica, descubriendo en ella ciertos datos que ayudan al desarrollo cognoscitivo, muchos de estos estudios se han basado en la enseñanza de un lenguaje de programación.

En las nuevas teorías para el aprendizaje a través de la computadora, tiene mucha importancia el desarrollo de algoritmos que faciliten la elaboración de sistemas interactivos entre el estudiante y la máquina, y de sistemas colaborativos entre grupos de estudiantes.

La elaboración de algoritmos ha facilitado que el hombre tenga una mejor visión a la hora de elaborar un programa o simular un proceso.

Por ello el mundo se encuentra ante el nacimiento de la "sociedad de la red", una red centrada en las tecnologías de la información y la comunicación (Internet). El empleo de esta sociedad de la información con fines educativos es un campo abierto a la reflexión y a la investigación.

Una característica de la sociedad actual es el aumento exponencial del volumen de información que diariamente se produce y transmite en el mundo. Para tener una idea puede decirse que, en un solo día, se elabora y distribuye un volumen de datos mayor que el que

una persona puede asimilar o dar sentido en toda su vida. Lo anterior significa también que es muy difícil tener el conocimiento actualizado en cualquier esfera del saber. Por eso, hay que buscar formas rápidas y efectivas de enseñar, que requieran mucho menos tiempo que el que hasta hoy se invierte en cualquier esfera del conocimiento. Lo antes expuesto apunta a que sea la computadora el centro de este proceso.

1.1.1 El algoritmo.

Un algoritmo es el conjunto de [operaciones](#) y [procedimientos](#) que deben seguirse para resolver un problema, resumiendo es un procedimiento seguro y mecánico que logra un cierto resultado, especialmente en matemáticas y en informática; el concepto es también aplicable en otros campos, como la economía, la ingeniería e incluso la biología. La palabra "algoritmo" deriva del nombre latinizado del gran matemático árabe Mohamed Ibn Moussa Al Kow Rizmi, el cual escribió entre los años 800 y 825 su obra Quitab Al Jabr Al Mugabala, donde se recogía el [sistema](#) de numeración hindú y el [concepto](#) del cero. Fue Fibonacci, el que tradujo su obra al latín y la inició con las palabras: Algoritmi dicit.

Los algoritmos son modos de resolución de problemas, cabe aclarar que no sólo son aplicables a la actividad intelectual, sino también a todo tipo de problemas relacionados con actividades cotidianas.

Según los matemáticos podemos establecer que algo es un algoritmo si y solo si se trata de un proceso con las siguientes características:

Sus pasos constituyen una secuencia finita, están claramente especificados y son independientes unos de los otros (digitalidad).

- ✖ Un mismo agente (no necesariamente humano) determina qué es lo que corresponde hacer en cada momento (secuencialidad y control).
- ✖ El agente es capaz de recabar la descripción operacional de la secuencia así como de almacenar resultados en el camino (interpretación y memoria).
- ✖ La ejecución de una secuencia específica produce siempre los mismos resultados en cada paso para cada conjunto de datos iniciales (determinismo).
- ✖ Finalmente, la secuencia concluye con un resultado final (terminación).

La penúltima condición prohíbe al agente actuar en una forma probabilística o de manera arbitraria, por ejemplo tirando una moneda al aire para que eso decida si ejecuta o no la próxima instrucción. El último requisito es obligatorio solamente en los casos en que se espera obtener un resultado concreto, como el valor de una función (por ejemplo dividir 7.834 entre 555, con un determinado número de decimales) o la preparación de un cierto número de raciones de un plato de comida o de una droga sintética.

Es importante señalar que el concepto de algoritmo no incluye en sí la especificación de algún material preciso del que deban estar contruidos. En puridad, no son contruidos de ningún material particular, salvo el de que están hechos los sueños: nuestras ideas. Pero para tener efecto en el mundo deben "encarnarse" de alguna manera.

1.1.2 Anatomía del algoritmo.

Los diagramas de flujo, como su nombre lo indica, son gráficas que representan la dirección que sigue la información que contiene un algoritmo; los datos se encierran en diferentes figuras, éstas se llaman figuras lógicas. Existen cinco figuras lógicas únicas utilizadas en el diagrama de flujo: Inicio, Proceso, Pregunta, Ciclo y Fin.

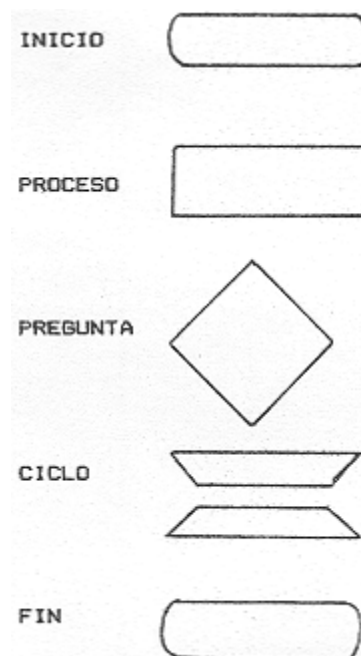


Figura 1.5 Símbolos convencionales para la elaboración de algoritmos.

Lo que pretende un algoritmo es sintetizar de alguna forma una tarea, [cálculo](#) o mecanismo antes de ser transcrito al ordenador. Los pasos que hay que seguir son los siguientes:

- ✧ [Análisis](#) previo del problema.
- ✧ Primera visión del [método](#) de resolución.
- ✧ Descomposición en módulos.
- ✧ [Programación](#) estructurada.
- ✧ Búsqueda de [soluciones](#) parciales.
- ✧ Ensamblaje de [soluciones](#) finales.

1.2 Laboratorios Virtuales. Definición y características principales.

Ha quedado definido un laboratorio virtual como “un área electrónica de trabajo para la colaboración a distancia y la experimentación en investigaciones u otra actividad creativa, para generar y entregar resultados usando información distribuida y tecnologías de comunicación.” Un laboratorio virtual es distinguido de un laboratorio real o un laboratorio tradicional. Sin embargo, un laboratorio virtual no se ve como un reemplazo o un competidor para el laboratorio real. En cambio, los laboratorios virtuales son posibles extensiones a laboratorio real que abren nuevas oportunidades no realizables completamente dentro de un laboratorio real a un costo más económico.

Los términos alternativos que acompañan el concepto de un laboratorio virtual son "Colaboratorio", "Grupo de trabajo virtual", "Empresa Virtual", "Grupos inter-organizaciones" y "Grupos de Colaboración a Distancia".

Un colaboratorio, como lo definió el científico en computación William Wulf quien acuñó la palabra en 1989, es un "centro sin paredes" en que los usuarios pueden realizar su investigación sin tener en cuenta la situación geográfica - actuando recíprocamente con los colegas, accediendo a la instrumentación, compartiendo datos y recursos de cálculo, y accediendo a la información en las bibliotecas digitales. Apuntando hacia una estructuración no es más que un programa de computación que permite a personas desde varios sitios trabajar colaborativa y simultáneamente.

En el sentido más amplio, un laboratorio virtual es una colaboración enfocada a lograr creadores particulares y/u objetivos de apoyo de decisión. De aquí que el laboratorio virtual puede abarcar casi todas las esferas de esfuerzos intelectuales humanos.

Como su nombre lo indica, son laboratorios donde se simula diversas actividades experimentales. Su ventaja radica en que multiplican las posibilidades de repetición de experimentación que tiene un laboratorio convencional pues no requieren instrumental, equipo o insumo físico o químico. Permiten, además, trabajar con muchas variables o con graduaciones de variables o fenómenos que no son posibles de manejar en el mundo real y todo ello dentro de un entorno de seguridad absoluta. Los laboratorios virtuales están impulsados por la filosofía básica de la red (compartir toda la información de forma libre y gratuita) y apoyados en el desarrollo de herramientas de autor cada día más fáciles de operar. En consecuencia tienen enormes posibilidades de expansión en Internet. <http://www-unix.mcs.anl.gov/~minkoff/Collabtools.html>.

El desarrollo de herramientas abiertas de software para simular, visualizar y programar equipos o instalaciones costosas, permitirán a estudiantes, maestros e investigadores, mejorar el proceso de aprendizaje e investigación. <http://www.vetl.uh.edu/>.

1.2.1 Laboratorios Virtuales con fines educativos.

Aunque en los últimos años diversos grupos de investigación están haciendo un gran esfuerzo en el desarrollo de software dirigido a la enseñanza de la Ciencia e Ingeniería (Grupo Europeo COLOS, proyecto Norteamericano, CUPS, etc., Software desarrollado por D. Ángel Franco y los Proyectos INSIMU y DELILA del Grupo TEP 149 de la Junta de Andalucía de la Universidad de Córdoba), con lo cual existe Software en el mercado a nivel de enseñanza de las Ciencias Físicas, sin embargo el desarrollo de aplicaciones informáticas en Química e Ingeniería, en particular, es escaso. Por otra parte, Los laboratorios que se muestran y otros desarrollados por el grupo, tienen las características, no observados en otros, de incorporar tutoriales interactivos, unidades de evaluación y visualizaciones animadas de los procesos realizados, con lo cual se aúna la resolución numérica con el proceso experimental como si de un laboratorio real se tratara. Complementando estos laboratorios, se han desarrollado dos aplicaciones: un Sistema Gestor que permite al profesor introducir y almacenar sus cuestiones, incorporando figuras y

pudiendo generar exámenes, y una herramienta gestora de tutoriales que permite crear éstos con animaciones, toolbox, etc., como si de un libro animado se tratara.

Los tipos de trabajos que se vienen desarrollando son de tres tipos:

- ✧ Aplicaciones informáticas en las cuales todas las tareas que se realizan en el proceso educativo quedan englobadas en un único Software cerrado en el que se incluyen: Tutoriales dirigidos, cuestiones previas y posteriores al proceso de aprendizaje, y simulaciones analíticas y numéricas (Proyecto INSIMU).
- ✧ Aplicaciones desarrolladas dentro del denominado Proyecto DELILA : Que es el desarrollo de una librería de herramientas para diseño y creación de Laboratorios personalizados interactivos de simulación; se inspira en las conocidas librerías de rutina tipo IMSL, en forma tal que cualquier profesor-investigador puede crearse su propio laboratorio de Simulación. En estos Software los módulos de Laboratorios de Simulación, Tutoriales y evaluación son concebidos como unidades independientes, que pueden ser enlazadas y utilizadas según las necesidades del usuario.
- ✧ Laboratorios Virtuales en los que se visualice todo el proceso operacional mediante animaciones y como si el usuario manipulara en el interior del laboratorio.

Las aplicaciones realizadas son:

- ✧ Estudio multimedia de vibraciones amortiguadas.
- ✧ Óptica Física.
- ✧ Campos Magnéticos.
- ✧ Resolución de Sistemas de partículas.
- ✧ Estudio de circuitos eléctricos.
- ✧ Estudio integrado de Física: óptica geométrica, cinemática, oscilaciones eléctricas y mecánicas, movimientos ligados, etc.
- ✧ Electrostática.
- ✧ Oscilaciones lineales y no lineales del péndulo simple.
- ✧ Laboratorios básicos de química.
- ✧ Estudio de elasticidad.

- ✕ Oscilaciones y ondas mecánicas.

1.2.2 La simulación como herramienta indispensable en la elaboración de buenas prácticas virtuales.

“Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos), para el funcionamiento del sistema”. (R.E. Shannon; 1995)

1.2.2.1 Anatomía de una presentación Web.

La terminología básica vinculada al desarrollo de una presentación Web es la siguiente:

Presentación Web: consiste en una o más páginas Web, vinculadas en forma significativa y que, en conjunto, describen un cuerpo de información o crean un efecto general uniforme.

Cada presentación Web se almacena en un Sitio Web, el cual es la máquina real, que está en Web y que contiene la presentación. Algunas personas hablan de presentación y de Sitio como si fueran la misma cosa; es preferible mantener separados estos términos, ya que un solo Sitio Web puede contener muchas presentaciones diferentes, cada una con su propio objetivo y desarrollada por diferentes personas.

Página Web: es un elemento individual de una presentación Web, del mismo modo como una página impresa es un solo elemento de un libro o periódico (aunque a diferencia de las páginas impresas, las páginas Web pueden ser de cualquier extensión). En ocasiones se les llama documentos Web a estas páginas. Ambos términos se refieren a la misma cosa; una página Web es un archivo único, con su propio nombre, el cual es recuperado del servidor y formateado por el navegador Web.

Navegador Web (también conocido por explorador Web): es un programa que proporciona una interfaz capaz de acceder y de visualizar los archivos que se encuentren disponibles en servidores de Internet. Los navegadores básicamente hacen que la utilización de Internet sea una tarea cómoda y sencilla.

1.2.3 Prácticas de Laboratorio.

Para el completamiento de la asignatura los estudiantes deben desarrollar 4 prácticas de laboratorio en función de contribuir al afianzamiento de determinados conocimientos.

1.2.3.1 Laboratorios reales.

Según el plan de estudio las Prácticas de laboratorio que se deben realizar son las siguientes:

Práctica de laboratorio No1: Cálculo de sistemas térmicos aislados.

En su desarrollo se determinarán experimentalmente las pérdidas de calor al medio ambiente en un sistema de tubería aislado; vinculándose a la determinación del espesor de aislante adecuado y su repercusión económica mediante el uso de un sistema computacional.

Práctica de laboratorio No2: Cálculo del coeficiente individual de transferencia de calor por el interior de una tubería.

Se determinarán los parámetros necesarios para el cálculo experimental de los coeficientes peliculares por el interior de tuberías, aplicándose el tratamiento matemático necesario.

Práctica de laboratorio No3: Cálculo de coeficientes de condensación de vapores puros.

A partir de un equipo condensador se obtendrán los parámetros para calcular el coeficiente de condensación, el cual será comparado con valores teóricos a través de las ecuaciones de Nusselt.

Práctica de laboratorio No4: Evaluación de un equipo evaporador.

A partir de un equipo de evaporación funcionando con agua como fluido a evaporar y vapor de agua como medio de calentamiento, se obtendrán los parámetros que miden la eficiencia de operación del mismo.

Todas las actividades se organizarán para 2 horas. Para la realización de estas prácticas se debe disponer de ciertas condiciones y recursos que son costosos para la Facultad de Química-Farmacia e incluso no se tienen, por lo que el estudiante y el profesor muchas veces se ven obligado a buscar métodos para la realización de los laboratorios de OPU V que son insatisfactorios para el cumplimiento de los objetivos.

Solución:

Debido a todo lo planteado anteriormente se han realizado una serie de trabajos con el objetivo de implantar un laboratorio virtual donde se lleven a cabo las prácticas de laboratorio de la asignatura Operaciones Unitarias V con los cuales ya se ha logrado instalar un sitio Web que contiene información sobre la característica de cada una de las

prácticas y cómo emplear el software en cada caso. Este Laboratorio virtual permite eliminar gastos por el empleo de materiales caros y difíciles de obtener, incluso es interactivo, permite que se realicen comparaciones entre diferentes sistemas sin necesidad de emplear ningún recurso material que el soporte electrónico y no es más que un ambiente colaborativo e interactivo entre estudiantes y profesores que contribuye a una mejor formación del futuro profesional en cuanto a la comprensión a fondo de los fenómenos estudiados.

La Presentación Web denominada Laboratorio Virtual OPU V, a la cual puede accederse con la dirección <http://Calor.qf.uclv.edu.cu> (Ver figura 1A del Anexo), tiene una página principal (*home page*), desde la cual se puede acceder a contenidos relacionados con la asignatura y en particular con las prácticas.

Hay que tener en cuenta que a pesar de ser una ventaja el laboratorio virtual está montado en un Sitio Web, el cual aún no está completo a pesar de que ya se puede emplear, con este fin se quiere fortalecer mediante la realización de algoritmos que ayuden a mejorar su uso y permitan que el usuario tenga una idea del método de cálculo empleado en cada una de las prácticas.

Las prácticas están montadas sobre CHECAD, el cual es un programa que requiere de mucha capacidad de memoria y resulta imposible trabajarlo en los laboratorios si antes no se encuentra instalado en la máquina. Como una solución se podrían montar en otro software como el Excel, Visual Basic o una combinación de ambos, los cuales son más flexibles y menos complejos a la hora de ejecutarlos. También se podría programar directamente en PHP.

Conclusiones parciales:

1. Creemos, por tanto, que nuestro trabajo amplía, complementa e introduce una mejora en los Software existentes hasta la fecha, como queda demostrado en la aceptación a nivel internacional que está teniendo algunos de los realizados hasta el momento.
2. Están establecidos los métodos de cálculo que responden a las necesidades de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V.
3. La digitalización de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V permitirían realizar análisis más integrales y diversos en cada caso en comparación con las realizadas con el equipamiento existentes en el laboratorio de OPU.
4. Se comprobó y se dispone de los elementos teóricos necesarios que permitirán la algoritmización de los métodos de cálculo de todas las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V.
5. Existe una primera versión del sistema computacional para la realización de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V pero incompleta y por tanto sin responder completamente a las necesidades de la asignatura.
6. Con los laboratorios virtuales se obtienen beneficios económicos y ambientales en los Centros de Educación Superior al no consumirse materiales y reactivos gastables incluyéndose combustibles.
7. Como los laboratorios virtuales están realizados sobre CHEMCAD resulta algo engorroso el trabajo con el mismo, ya que es necesaria la instalación de este software antes de comenzar a realizar los laboratorios, por ello se quiere montar sobre otro software que sean más flexibles y permitan un uso más fácil del mismo.



Capitulo II. Descripción del servicio Web mejorado de la asignatura OPU V.

2.0.0 Elaboración de un algoritmo para el laboratorio virtual de Transferencia de calor.

En la carrera de ingeniería química se utilizan los laboratorios para que los estudiantes adquieran habilidades y experiencias partiendo del trabajo experimental que se realiza en los mismos, pero en la asignatura relacionada con la Transferencia de calor dentro de la disciplina Operaciones y Procesos Unitarios (OPU), no es económica, ni físicamente posible reproducir en un laboratorio toda la riqueza y complejidad de las situaciones reales posibles a presentarse en los distintos proceso de transferencia de calor.

En este sentido resulta muy conveniente el empleo de un algoritmo para la simulación discreta de laboratorios virtuales que puedan ser realizados mediante computadoras personales con lo cual se facilita que el estudiante pueda interactuar con diversos escenarios analizando, tomando decisiones y evaluando el impacto de los mismos.

2.0.1 Metodología para el desarrollo del entorno Web de las prácticas virtuales.

Para desarrollar el entorno Web de las prácticas virtuales se tomó como referencia la metodología propuesta por Hisnostroza S. Pedro, Hepp K. Pablo, Straub B. (1996).

Para la confección de un software educativo en términos generales y de acuerdo a la metodología referida, se siguieron los siguientes pasos:

- a. Definición del proyecto:** incluye objetivos y contenidos docentes del producto (qué y por qué), caracterización de los usuarios (quién), ambiente de uso (dónde y cuándo), recursos de desarrollo (cómo) y recursos de uso (con qué).
- b. Confección del modelo de desarrollo del software educativo, el cual debe tener presente:**

- *Perceptivo*: Referente a lo que el usuario podrá percibir al usar el software.
 - ✖ Tiene que ser sugerente, que invite a hacer algo.
 - ✖ Atractivo: que motive a utilizarlo, con una apariencia llamativa y conocida.
 - ✖ Que invite al uso y la explotación.
 - ✖ Relevante: Que ofrezca cosas útiles para la vida diaria.
 - *Metodológico*: En relación a los principios que sustentan el diseño de la forma de uso de la aplicación en el aula.
 - ✖ Es colaborativo: para trabajo grupal, en grupos geográficamente dispersos (en red), o en el aula.
 - ✖ Es complementario: el sistema, no reemplaza al profesor, sino que le sirve de apoyo. Este principio apoya la concepción de la computadora como una herramienta al servicio del profesor, facilitando su integración a la práctica pedagógica.
 - *Funcional*: Qué podrá hacer el usuario con la aplicación.
 - ✖ Interactivo: el usuario tiene el control del software la mayor parte del tiempo.
 - ✖ Entrega un resultado: el usuario puede llevarse consigo algo producido por el software. Este es un aspecto de retroalimentación que se basa en el reforzamiento de los logros del usuario, lo cual es importante desde la perspectiva psicológica.
- c. Secuencia de actividades o pasos que comprende el modelo:** Aquí se define concretamente la forma en que se desarrollará la aplicación, con la secuencia de pasos a seguir, la selección adecuada de los contenidos, las herramientas de software a utilizar y por qué esas y no otras, tratando de poner en práctica todo lo referido anteriormente.
- d. Construcción del producto:** Elaboración del software para la realización de los laboratorios virtuales sobre la base de los métodos de cálculo algoritmizados.

2.0.2 Metodología propuesta en el desarrollo del algoritmo para el mejoramiento de los laboratorios virtuales.

Para la elaboración de los algoritmos se emplearon los métodos presentes en Procesos de Transferencia de Calor by Donald Q. Kern. pdf y Fundamentos de termotransferencia A. M. Mijeev, I. M. Mijeeva (1979). Esto facilita que el estudiante tenga una mejor visión de los sistemas de ecuaciones que emplea el sistema para simular el proceso incluso permite que el profesor no tenga la necesidad de cambiar el método empleado en clases, para que sus estudiantes lleguen a entender el problema que se esta dando a lugar.

Teniendo en cuenta la metodología empleada se siguieron los siguientes pasos:

- a. **Características de la práctica:** Incluye el análisis de objetivos que se desean cumplir en las prácticas de laboratorio virtuales llevadas a cabo, así como contenidos docentes (qué y por qué) a dominar por el estudiante que las realiza. También se ve qué condiciones debe tener cada práctica (cómo y bajo qué condiciones) para su ejecución.
- b. **Ecuaciones a emplear en la simulación:** Este punto incluye las ecuaciones a emplear para que el algoritmo sea lo más sencillo y práctico posible, es decir, emplear ecuaciones que permitan minimizar el uso de gráficos y tablas a tal punto que se cometa el menor margen de error posible al tener que interpolar o extrapolar datos en la simulación.
- c. **Datos a procesar:** El algoritmo empleado en el proceso de simulación debe ser flexible a tal punto que permita al estudiante variar los datos y comparar los resultados.
- d. **Variables a analizar:** Debe mostrar las variables que permite analizar el programa, así como la tabulación de información para su futuro análisis.

2.0.3 Estructura del algoritmo.

La estructura del algoritmo a elaborar debe ser de forma tal, que permita el entendimiento del programador, así como una visión del mismo de los objetivos que se desean cumplir con el programa. Para lograr lo antes planteado debe utilizarse un método convencional para la realización de dicho algoritmo.

Un esquema metodológico que se puede aplicar para la concepción y el desarrollo de un algoritmo que permita la programación de laboratorios virtuales es el siguiente:

a. *Análisis preliminar de la situación existente en el laboratorio real:*

- ✖ Equipos y servicios no disponibles.
- ✖ Estado actual del equipamiento existente.
- ✖ Disponibilidad de espacio o área de trabajo.

b. *Creación de un algoritmo que permita facilitar la programación del sistema a estudiar:*

- ✖ Datos a entrar.
- ✖ Variables a procesar.
- ✖ Posibles resultados.
- ✖ Análisis de las variables.

c. *Debe facilitar la programación de un laboratorio virtual capaz de permitir un entorno cliente-servidor donde el usuario encuentre toda la información requerida para la correcta realización de las prácticas asociadas al sistema en cuestión, éste debe cumplir con los siguientes requisitos:*

- ✖ Debe tener un amplio contenido didáctico.
- ✖ Su uso debe ser fácil.
- ✖ El interfaz será estandarizado.
- ✖ Existirá un tratamiento de entrada de datos incorrectos.
- ✖ Incluirá tutoriales interactivos.
- ✖ Se ofrecerá la posibilidad de evaluar al alumno mediante cuestionarios.

2.0.4 Análisis de beneficios del algoritmo.

Con el empleo de algoritmos se logran beneficios claros e inmediatos en los Laboratorios Virtuales incorporados al Sitio Web:

- ✖ **Flexibilidad de tiempo y lugar.**
- ✖ **Compartición y rehúso de recursos.**
- ✖ **Trabajo colaborativo.**

- ✧ **Protección del medio ambiente.**
- ✧ **Evitar accidentes durante la ejecución.**
- ✧ **Ahorro significativo de recursos.**

El laboratorio de operaciones unitarias con el que se cuenta en la Facultad de Química-Farmacía se encuentra en condiciones muy desfavorables para la realización de las prácticas, esto se debe principalmente al deterioro de los equipos y hasta su total inexistencia, lo cual tendría una pronta y barata solución al girar los intereses hacia las prácticas virtuales, pero si se va a tomar en consideración la opción de comprar y remodelar el laboratorio, se hablaría ya de cifras apreciables para dar respuesta al capital financiero que habría que mover para volver el laboratorio real a las condiciones idóneas para el trabajo de los estudiantes, cifra a la cual habría que agregar los gastos anuales en mantenimiento, accesorios y otros servicios. Esta inversión se podría reducir apreciablemente mediante el uso de los laboratorios virtuales, pues solo se necesita disponer de un laboratorio dotado de computadoras, sistema actualizado y condiciones de trabajo previamente creadas.

2.1.0 Aplicabilidad del laboratorio virtual.

Para corroborar el nivel de aplicabilidad de las prácticas virtuales se necesitaba ponerlas a disposición de los estudiantes, debido a lo cual se experimentó con un grupo de trece estudiantes del cuarto año, los cuales actualmente están en 5to año de la carrera de Ingeniería Química. En general hubo un grado de aceptación dentro del rango que se esperaba, se pudo comprobar el alto grado de flexibilidad de las simulaciones así como un nivel de creatividad bastante elevado en los estudiantes, o sea, que la aplicación luego de ser de fácil uso y manejo hace crecer en el estudiante el deseo de investigar y comprobar el efecto provocado por diversas alteraciones de los sistemas en estudio, lo cual da indicios de prácticas menos rígidas y más abiertas al razonamiento del estudiante.

Se realizó a fondo la práctica de laboratorio #1 que lleva por título "Determinación de la conductividad térmica de aislantes en tuberías", más del 50% de los estudiantes llegaron al propósito final de las prácticas sin necesidad de instrucciones, luego se dejó al estudiante escoger por sí solo los parámetros que se iban a variar y los que se mantendrían constante observándose buena aplicación de los conocimientos adquiridos en la asignatura, de forma general se determinaron los materiales aislantes más propicios a una temperatura

determinada, el comportamiento de la conductividad térmica con la temperatura, las pérdidas de calor y la conductividad con respecto al espesor de aislante, etc.

Para la elaboración del informe se exige una pequeña introducción, una hoja de datos, otra de resultados y las conclusiones. Este informe es enviado luego por el estudiante al profesor mediante su correo electrónico.

2.2.0 Conformación de la Web.

Para acceder a la Web deben ir a Internet explore y colocar la siguiente dirección <http://calorm.gf.uclv.edu.cu> (Ver figura 1B del Anexo) una vez dentro de la Web podemos acceder a los diferentes sitios que nos brinda.

2.2.1 Configuración.

Al abrir el sitio Web de Transferencia de Calor podemos encontrar una serie de sitios a los que podemos acceder de forma directa, a continuación mostramos los sitios y qué se debe encontrar en cada uno de ellos:

-La asignatura OPU V.

Podemos ver una serie de páginas Web que nos hablan e instruyen sobre la asignatura, los objetivos que se deben cumplir y las horas clases que tendrá la misma.

☞ *Objetivos de la asignatura:*

Aquí el estudiante tiene la oportunidad de ver los objetivos que se desean alcanzar en la asignatura.

Qué se debe encontrar en él:

La asignatura **Operaciones Unitarias V** permite a los estudiantes de Ingeniería Química adquirir conocimientos teóricos y prácticos, que son fundamentales para el dominio del control de los procesos de transferencia de calor en cualquier industria química. Esta asignatura es teórico-práctica del ejercicio de la profesión y permitirá al alumno conocer los complejos fenómenos que se desarrollan en los equipos de transferencia de calor, así como conocer las principales características constructivas de estos. Cuando el alumno se apropie de los conocimientos que se imparten en esta asignatura, estará preparado para satisfacer los siguientes objetivos generales:

- a. Tener una concepción científica del mundo a través del estudio de los fenómenos y leyes de la transferencia de calor, y en particular de la presentación de la relación entre la teoría y la práctica.
- b. Contribuir a formar en los estudiantes una cultura de productor y transformador del medio mediante su acercamiento a la aplicación de la transferencia de calor en la industria química de la región central del país, utilizándose siempre que sea posible, ejemplos reales en las actividades docentes, principalmente en las clase prácticas y talleres.
- c. Contribuir a formar en los estudiantes una base científica sólida y el desarrollo de hábitos y capacidades relacionados con la constancia en el estudio, el trabajo independiente reflexivo y a la autosuperación mediante el trabajo independiente, la relación con otras asignaturas, el uso de la computación, un idioma extranjero y la búsqueda y uso de la información científico técnica (ICT).
- d. Contribuir a que los estudiantes reconozcan la importancia de la profesión a través del conocimiento de los contenidos de la transferencia de calor y su aplicación en la industria química para beneficio de la misma en el incremento de su eficiencia y la salvaguarda del medio ambiente.
- e. Explicar, interpretar y aplicar los vínculos de la asignatura con otras precedentes y subsecuentes sobre toda con la termodinámica técnica y las operaciones unitarias básicas.
- f. Describir las características principales que fundamentan los mecanismos que gobiernan la transferencia de calor a través de la formulación y discusión de las leyes que rigen cada una de las formas en que el calor es transferido en la materia.
- g. Resolver problemas aplicando la **Ley de Fourier** en sistemas estacionarios sobre todo lo relacionado con el cálculo de las pérdidas de calor en sistemas aislados y las consideraciones económicas correspondientes.
- h. Explicar los principios básicos y las características fundamentales de los procesos convectivos a través de la formulación de la **Ley de enfriamiento de Newton y la descripción cualitativa de la capa límite térmica y de Prandtl**.
- i. Aplicar métodos de cálculo para conocer los valores de los coeficientes de transferencia de calor individuales y totales; así como el uso de diferentes mecanismos para incrementarlos.

- j. Formular las leyes fundamentales de la radiación térmica y aplicar la ley general a situaciones industriales reales, particularmente a los hornos químicos.
- k. Integrar los procesos y formas de transferencia de calor a procesos industriales y/o equipos de intercambio de calor comunes instalados en fábricas químicas.
- l. Conocer las características constructivas fundamentales de los equipos de transferencia de calor (Intercambiadores de calor, evaporadores y otros) desde el punto de vista mecánico y con la aplicación de una norma utilizada internacionalmente (TEMA).
- m. Realizar diseños tecnológicos y evaluación de equipos de transferencia de calor en diferentes condiciones de procesos solos y/o formando parte de un esquema térmico determinado.
- n. Conocer los principios básicos en que se basan los evaporadores químicos; así como su función dentro de un esquema térmico en fábricas químicas.
- o. Realizar dimensionamientos tecnológicos y evaluaciones de los evaporadores químicos formando parte o no de un esquema térmico general.
- p. Confeccionar e interpretar diagramas de flujo, esquemas térmicos y tecnológicos de fábricas químicas y hacer uso de los mismos.
- q. Utilizar criterios técnico-económicos primarios para análisis termoenergético de equipos de transferencia de calor que forme parte de un esquema térmico determinado; así como el análisis del propio sistema estudiado.

☞ ***Profesores que la imparten.***

En esta sección debe aparecer el nombre de cada uno de los profesores que imparten la asignatura, los cuales son:

- ✕ MSc. Serafín Machado Benavides.
- ✕ MSc. Juan Pablo Hernández Tousset

☞ ***Materiales complementarios.***

Este sitio le permite al estudiante tener un acceso directo a materiales que le permiten profundizar en cada uno de los temas de las prácticas de laboratorio.

- Prácticas virtuales.

☞ **Información general.**

Aquí el estudiante tendrá la posibilidad de conocer con que objetivo se realizó la Web y que papel cumple en la enseñanza de nivel superior. A continuación se muestra parte de lo que podemos hallar en él.

El sitio virtual de la asignatura Operaciones Unitarias V ha sido elaborado para reforzar el aprendizaje y lograr una mayor comprensión de la Operación de transferencia de calor de forma experimental, tratando por todos los medios de que el alumno se lleve una idea bastante completa de lo que sucede en si en los procesos reales ya sea industrialmente o a escala de laboratorio; además de contribuir al adiestramiento de este con las NTIC (Nueva Tecnología de la Información y la Comunicación).

En él podrás encontrar la información que a continuación se muestra:

- ✧ [Consultar plan de la asignatura OPU V.](#)
- ✧ [Realizar prácticas virtuales mediante los programas de simulación.](#)
- ✧ [Calculadora científica para químicos.](#)
- ✧ [Consultar información acerca del Sistema Internacional de unidades.](#)
- ✧ [Descargar documentación de apoyo a las prácticas.](#)

☞ **Realizar prácticas virtuales.**

Para la correcta realización de las prácticas virtuales este sitio nos brinda una guía para su correcta ejecución.

Para servirse de las guías para la realización de las prácticas solo tiene que hacer clic en los enlaces que se presentan a continuación:

- ✧ [Pérdidas de calor en tuberías aisladas.](#)
- ✧ [Intercambiador de calor de tubos concéntricos.](#)
- ✧ [Intercambiadores de calor de tubo y coraza.](#)
- ✧ *Coeficiente de condensación de vapores puros.*
- ✧ *Evaporación de múltiple efecto sin extracción.*

En cada una de las prácticas indicadas anteriormente se pueden encontrar los siguientes aspectos:

- ✧ *Pre-Requisitos.*
- ✧ *Objetivos.*
- ✧ *Fundamento teórico.*
- ✧ *Esquema.*
- ✧ *Como realizar la práctica.*
- ✧ *Informe posterior.*
- ✧ *Estudio independiente.*

Las prácticas de laboratorio de condensación y la de evaporación se encontraban incompletas pero ya se han programado cumpliéndose uno de los objetivos de este trabajo. A continuación se muestran como esta concebido el laboratorio virtual en el Sitio Web.

Práctica de laboratorio # 1:

Determinación de pérdidas de calor en tuberías aisladas.

Pre-requisitos: Con preparación de la PL el alumno previamente deberá estar informado de los siguientes aspectos:

- ✧ Reconocer la forma de transferencia de calor frente a la cual nos encontramos.
- ✧ Tener conocimiento acerca de las leyes que la rigen (ley de Fourier).
- ✧ Tener conocimiento de los conceptos de Presión, Temperatura, Cantidad de calor, estados correspondientes, metales y no metales, capacitancia y resistencia, conductividad térmica, régimen estable y no estable.
- ✧ Actualizar los conocimientos acerca del trabajo con ecuaciones en derivadas parciales y totales.

Objetivos: Para la realización de esta PL se persigue los siguientes objetivos.

- ✧ Determinación pérdidas de calor en tuberías aisladas.
- ✧ Ejercitar un método para la determinación experimental de la conductividad térmica en sólidos porosos.

Fundamento teórico: Para la correcta realización de esta práctica el alumno debe estudiar el siguiente material complementario:

Conducción: La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la figura 1.1 donde la dirección del flujo será a ángulos rectos con el cuerpo si las superficies de este son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico.

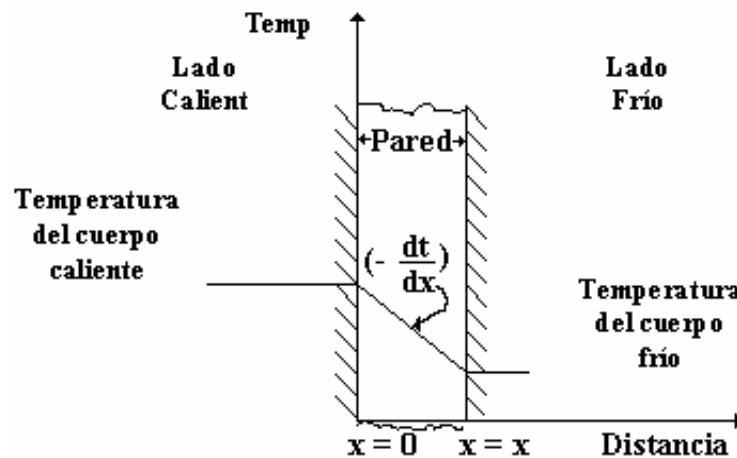


Figura 1.1 Flujo de calor a través de una pared.

Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Se conoce que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y el área de la pared (A). Si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por:

$$dQ = kA\left(-\frac{dt}{dx}\right) ; \text{ Btu/h} \quad (1.1)$$

El término $-\frac{dt}{dx}$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = x$. En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor dx . La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la ecuación (1.1). La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen

conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aún cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

Ley de Fourier.

Durante el estudio del proceso de conductibilidad térmica en los sólidos Fourier determinó, por consideraciones experimentales, que la cantidad de calor transmitida es proporcional al descenso de temperatura, al tiempo y al área de la sección orientada perpendicularmente a la dirección de propagación del calor. Si la cantidad del calor transmitido se refiere a una unidad del área de la sección por unidad de tiempo, entonces la dependencia establecida se puede escribir:

$$q = -\lambda * \nabla T$$

Esta ecuación no es más que la expresión matemática de la primera ley de la conductibilidad térmica, la Ley de Fourier.

Esta ley plantea la idea de que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura en cualquier dirección n . La conductividad térmica, k , es una propiedad de los materiales que depende de la temperatura y es a su vez la constante de proporcionalidad.

$$q_k = -k * A * \frac{dT}{dn} \quad (1.2)$$

Pérdida de calor en una tubería aislada.

Supongamos que la superficie externa fría de un tubo aislado puede mantenerse a una temperatura definida para que Q y A_t sean conocidas y dependientes en una sola ecuación. En realidad, las temperaturas asignadas a la pared exterior dependen no solamente de las resistencias entre las superficies calientes y frías, sino también en la habilidad de la atmósfera más fría que lo rodea para remover el calor que llega a la superficie externa. Considere un tubo como el que se muestra en la Figura 1.2, cubierto con un aislante de lana mineral y que lleva vapor a la temperatura t_s considerablemente arriba de la temperatura atmosférica, t_a . La diferencia total de temperatura que origina el flujo de calor hacia afuera del tubo es $t_s - t_a$.

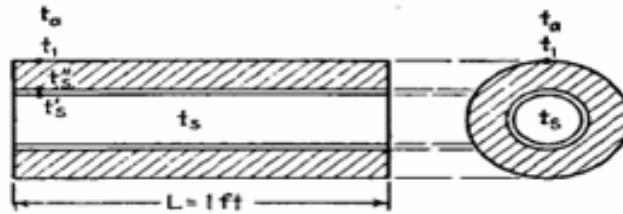


Figura 1.2 Pérdida de calor de un tubo aislado.

Las resistencias al flujo de calor tomadas en orden son (1) la resistencia del vapor al condensarse y dar su calor a la superficie interna del tubo, resistencia que experimentalmente se ha encontrado muy pequeña, de manera que t_s y t_s'' son casi las mismas; (2) la resistencia del tubo metálico, que es muy pequeña, excepto para tuberías gruesas, de manera que t_s' y t_s'' son casi las mismas; (3) la resistencia del aislante de lana mineral, y (4) la resistencia del aire que lo rodea para eliminar el calor de la superficie exterior. Esta última es apreciable, aun cuando la remoción de calor se efectúa por convección natural del aire ambiente en adición a la radiación; y tiene como origen la diferencia de temperatura entre la superficie exterior y el aire frío. La convección natural resulta del entibiamiento del aire. En la Figura 1.3 se han graficado los coeficientes superficiales de transferencia para tubos de diferentes diámetros y temperaturas de superficie hacia aire ambiente a 70°F. Esta gráfica está basada en los datos de Heilman (1924), que han sido confirmados por experimentos posteriores de Bailey y Lyell (1939).

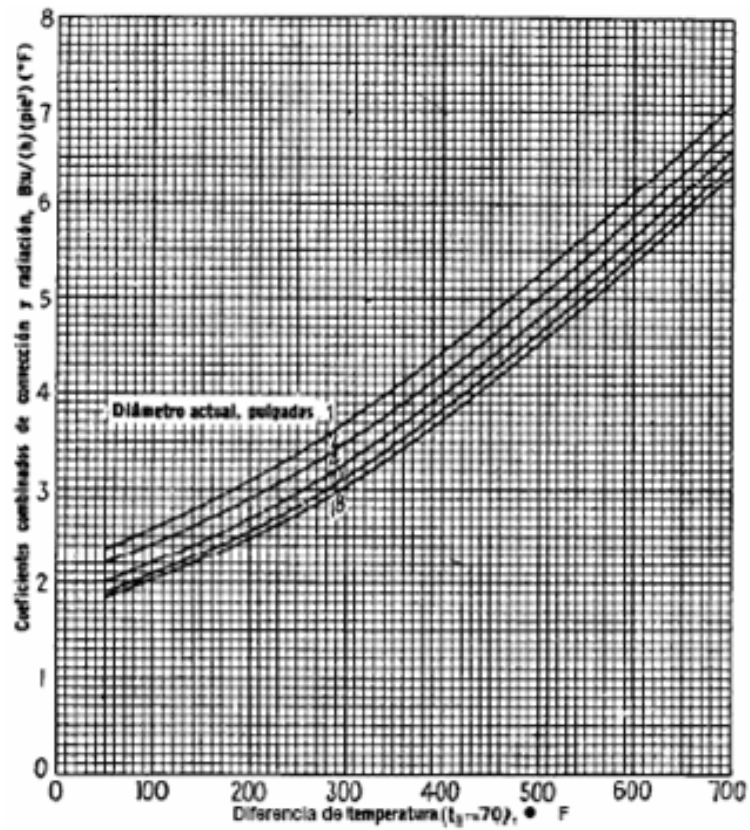


Figura 1.3 Transferencia de calor por convección y radiación de tubos horizontales a temperatura t_1 a aire a 70°C

Las cuatro resistencias en forma de ecuación son:

Condensación del vapor:

$$q = h_s * \pi * D'_s * (t_s - t'_s) \quad (1.3)$$

Pared del tubo:

$$q = \frac{2 * \pi * k_b}{2.3 * \log\left(\frac{D''_s}{D_s}\right)} * (t'_s - t''_s) \quad (1.4)$$

Aislante:

$$q = \frac{2 * \pi * k_c}{2.3 * \log\left(\frac{D_1}{D''_s}\right)} * (t''_s - t_1) \quad (1.5)$$

Radiación y convección al aire:

$$q = h_a * \pi * D_1 * (t_1 - t_a) \quad (1.6)$$

Combinando las ecuaciones nos queda:

$$q = \frac{\pi * (t_s - t_a)}{\frac{2.3}{2 * k_c} * \log\left(\frac{D_1}{D_s}\right) + \frac{1}{h_a * D_1}} \quad (1.7)$$

Siendo: h_aCoeficiente combinado de convección y radiación el cual se puede hallar por la Figura 1.3 o mediante la siguiente ecuación:

$$h_a = 9.4 + 0.052 * (t_1 - t_a) \quad (1.8)$$

El coeficiente h_a no sólo depende de la diferencia de temperatura, sino de las temperaturas actuales en el exterior del aislante y del aire. Su recíproco es también una de las resistencias necesarias para el cálculo de la diferencia total de temperatura, por lo tanto, el coeficiente de superficie h_a no puede ser computado, excepto por métodos de prueba y error.

Esquema: Para la realización de esta práctica en un laboratorio real usted debe conocer:

- ✧ Las partes fundamentales de las que consta el sistema instalado (Tubo aislado).
- ✧ Tener conocimiento sobre el correcto manejo de los instrumentos de medición, así como su correcta lectura.

En el anexo figura 1C se muestra algoritmo realizado para esta práctica.

Cómo realizar la práctica de laboratorio: El estudiante puede ver como debe acceder a la práctica para su realización (Preguntas de entrada, Software y manual del usuario).

Informe: El informe deberá estar conformado por.

- ✧ Presentación (asignatura, título, nombre)
- ✧ Introducción (Aislante, ecuaciones de cálculo, resumen teórico)
- ✧ Desarrollo (cálculo de resultados y análisis de los resultados)
- ✧ Conclusiones.
- ✧ Bibliografía.

Estudio independiente: Para la profundización del tema se recomienda ver los documentos que se encuentran en la carpeta de la asignatura así como realizar los ejercicios propuestos en clase.

Preguntas de entrada:

Como comprobación de la preparación del estudiante para la práctica deben responder un cuestionario constituido por tres preguntas:

- ✘ Sobre forma de transferencia de calor vinculadas con las pérdidas de calor.
- ✘ Un verdadero y falso relacionado con conceptos sobre conducción.
- ✘ Sobre materiales aislantes.

Práctica de laboratorio # 2:

Evaluación de un intercambiador de calor de de tubos y coraza.

Pre-requisitos: Con preparación de la práctica de laboratorio el alumno previamente deberá estar informado de los siguientes aspectos:

- ✘ Conocer que variante de equipo es mejor para determinado proceso.
- ✘ Tener conocimiento acerca del cálculo de equipos ya existentes.
- ✘ Familiarizarse con las características principales de los intercambiadores de tubos y coraza.
- ✘ Dominar los aspectos relacionados con la caída de presión de fluidos en entradas de tubos y tuberías.
- ✘ Trabajo con calibre (BWG e IPS).
- ✘ Trabajo con exponenciales y logaritmo.
- ✘ Dominar los conceptos de diámetro equivalente y radio hidráulico.
- ✘ Tener nociones generales sobre el uso de **CC-therm**.

Objetivos:

- ✘ Determinación de los coeficientes individuales para ambos flujos con datos experimentales.
- ✘ Determinación del coeficiente total de transferencia de calor para el sistema con datos experimentales.
- ✘ Determinación experimental del factor de depósito para ambos fluidos.
- ✘ Determinación de la caída de presión para el lado de los tubos.

Fundamento teórico: Para la correcta realización de esta práctica el alumno debe estudiar el siguiente material complementario.

El intercambiador de calor de tubos y concha constituye uno de los modelos básicos de equipos de transferencia de calor; estos están constituidos por un haz tubular rodeado por una coraza o envoltura. Uno de los fluidos circula por el interior de los tubos y el otro por el exterior de estos a través del espacio comprendido entre estos y la pared interna de la coraza. Con este diseño se consigue una superficie de calor muy superior a la que puede lograrse con un intercambiador de doble tubo del mismo tamaño.

Para realizar la evaluación de un intercambiador de calor de tubos y coraza se procede como sigue:

Balance de calor:

$$Q = W * C_p * \Delta t = W * \lambda$$

Calculo de la $\Delta t_{\text{verdadera}}$:

$$\Delta t_{\text{verdadera}} = (MLDT) * F_t$$

$$MLDT = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)}$$

Cálculo de los coeficientes peliculares:

$h_0 = 10^4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Se asume este valor para vapor de agua saturado).

El cálculo de h_i se realiza a través de la ecuación siguiente:

$$Nu = 0.021 * Re^{0.8} * Pr^{0.43} * \left(\frac{Pr_f}{Pr_p}\right) * \epsilon_1$$

Donde:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} \quad Pr = \frac{C_p * \mu}{K}$$

Calculo del coeficiente total limpio (U_c):

$$U_c = \frac{h_{i0} * h_0}{h_{i0} + h_0} \quad h_{i0} = h_i * \frac{d_i}{d_0}$$

Calculo del coeficiente total sucio o de diseño (U_D):

$$U_D = \frac{Q}{A * \Delta t_{verdadera}}$$

Cálculo de R_d :

$$R_{dcalculado} = \frac{U_C - U_D}{U_C * U_D}$$

Esquema: Para la realización de esta práctica en un laboratorio real usted debe conocer:

- ✧ Las partes fundamentales de las que consta el sistema instalado (Intercambiador de tubos y coraza).
- ✧ Tener conocimiento sobre el correcto manejo de los instrumentos de medición, así como su correcta lectura.

Ver anexo 1D y 1E algoritmo para la programación de la práctica de laboratorio.

Cómo realizar la práctica de laboratorio:

- ✧ Para la realización de esta práctica se utilizará el software profesional **CC-therm** el cual funciona sobre **ChemCad**, para localizar el fichero a ejecutar primero tendrá que responder a la [pregunta de entrada!!!](#)
- ✧ Cómo utilizar el [CC-therm?](#)
- ✧ [Procedimiento para abrir los ficheros de la simulación.](#)

Informe: El informe deberá estar conformado por.

- ✧ Presentación (asignatura, título, nombre)
- ✧ Introducción (Aislante, ecuaciones de cálculo, resumen teórico)
- ✧ Desarrollo (cálculo de resultados y análisis de los resultados)
- ✧ Conclusiones.
- ✧ Bibliografía.

Estudio independiente: Para la profundización del tema se recomienda ver los documentos que se encuentran en la carpeta de la asignatura así como realizar los ejercicios propuestos en clase.

Práctica de laboratorio # 3:

Calculo del Coeficiente de condensación en vapores puros.

Pre-requisitos: Con preparación de la práctica de laboratorio el alumno previamente deberá estar informado de los siguientes aspectos:

- ✕ Cambio de fase.
- ✕ Saturación y temperatura de saturación.
- ✕ Entalpía y calor latente.
- ✕ Presión parcial de vapor.
- ✕ Conocer las tablas para la estimación de propiedades de vapores puros.

Objetivos:

Calcular el coeficiente de condensación teórico de un vapor puro a partir de las ecuaciones de Nusselt y las correcciones de Kapitsa.

- ✕ Calcular el coeficiente de condensación experimental y compararlo con el valor teórico.
- ✕ Estudiar la influencia que ejerce la geometría del sistema y cambios en los parámetros físicos del vapor.

Fundamento teórico: Para la correcta realización de esta práctica el alumno debe estudiar el siguiente material complementario:

Condensación.

Si un vapor entra en contacto con una superficie a una temperatura inferior que su temperatura de saturación, el vapor condensa, es decir, pasa al estado líquido. Esta condensación puede efectuarse de dos formas:

- ✕ *En forma de goteos:* El condensado se forma sobre la superficie de Transferencia de Calor (TC) formando pequeñas gotas, las cuales se reúnen, crecen y deslizan sobre la superficie dejándola libre para admitir otra condensación.
- ✕ *En forma de película:* El condensado forma una película fina y estable sobre la superficie de TC.

La condensación en forma de gotas ocurre cuando el condensado no moja la superficie de TC. Pocos vapores condensan espontáneamente en forma de gotas, siendo un ejemplo, el vapor de agua bajo determinadas condiciones. Sin embargo, este tipo de condensación se puede lograr usando promotores es decir, disponiendo sobre la superficie o alimentando con el vapor a condensar aceites, Kerosén o ácidos grasos, debiendo estar la superficie de TC bien pulida.

Por su parte la condensación pelicular se obtiene cuando el condensado moja la superficie de TC, formando una película estable que se constituye en la principal resistencia al paso del calor, debido a lo cual se obtienen coeficientes de condensación entre cuatro y ocho veces inferiores a los correspondientes a la condensación en formas de gotas.

En la práctica industrial ocurre por tanto la condensación pelicular que sería la estudiada en la asignatura con mayor profundidad.

Condensación pelicular sobre superficies horizontales, inclinadas y verticales.

La condensación pelicular es susceptible de tratar matemáticamente bajo determinados principios. Varios investigadores la estudiaron y establecieron sus teorías fundamentalmente Nusselt.

Según Nusselt durante el proceso de condensación en el límite exterior de la capa de condensado, el vapor y el líquido se encuentran en equilibrio termodinámico y por tanto la única resistencia al paso del calor es la que ofrece la película de condensado que escurre en flujo laminar bajo la acción de la gravedad.

Al aplicar su teoría a la condensación sobre una superficie vertical tiene en cuenta otras nueve suposiciones (Pág. 306 Kern) entre otras que el condensado comienza formarse en la parte superior de la superficie y que su espesor aumenta rápidamente. Adicionalmente que el calor pasa a través de la película de condensado por conducción. (Ec. 4.17 Pág.155 Meejev).

La metodología de cálculo consiste entonces en determinar una expresión para el h a partir de un balance de fuerzas según la fig.12.2 Kern, aplicado a un cubo dx, dy, dz dando las siguientes expresiones.

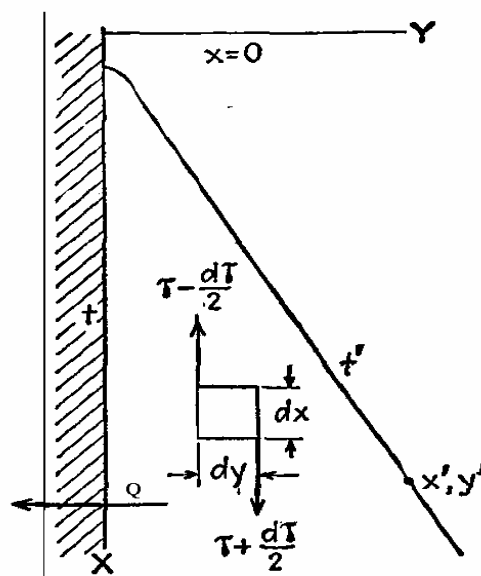


FIG. 12.2. Película de condensado vertical

✱ Superficie vertical.

$$\bar{h} = 0.943 * \left(\frac{K_f^3 * \rho_f^2 * \lambda * g}{\mu_f * l * \Delta t_f} \right)^{1/4}$$

Siendo:

K_f ----- Conductividad térmica del condensado.

ρ_f ----- Densidad.

μ_f ----- Viscosidad.

λ ----- Calor latente.

g ----- Aceleración de la gravedad.

l ----- Longitud.

Δt_f ----- Diferencia de temperatura.

$$\Delta t_f = t_f - t_w \dots\dots t_f = \frac{1}{2} * (t_v + t_w)$$

✱ Superficie horizontal.

$$\bar{h} = 0.725 * \left(\frac{K_f^3 * \rho_f^2 * \lambda * g}{\mu_f * d_0 * \Delta t_f} \right)^{1/4}$$

En la práctica los valores de h obtenidos fueron mayores que los obtenidos por la ecuación de Nusselt sobre todo para superficies verticales, se desprende que Nusselt no consideró la posibilidad de movimiento del condensado en flujo:

✱ *Ondulatorio.*

✱ *Turbulento.*

✱ *Dependencia del factor de conducción de la temperatura.*

Corrección por dependencia de la propiedad física del condensado de la temperatura:

$$\bar{h} = \bar{h}_{ns1} * \varepsilon_t$$

Siendo:

$\bar{h}_{ns1}$ ----- Coeficiente según Nusselt a t_s

ε_t ----- Factor de corrección.

$$\varepsilon_t = \frac{\bar{h}}{h_{ns}} = \left[\left(\frac{K_w}{K_s} \right)^3 * \frac{\mu_s}{\mu_w} \right]^{1/8}$$

Corrección por efecto ondulatorio:

Se aplica a superficies verticales e inclinadas.

$$\bar{h} = \bar{h}_{ns1} * \varepsilon_t * \varepsilon_v$$

Siendo:

ε_v ----- Factor de corrección.

$$\varepsilon_v = \left(\frac{Res}{4} \right)^{0.04} \quad \text{Si } Res \leq 4 \text{ ----- } \varepsilon_v = 1 \quad \text{y} \quad Res = \frac{G}{\mu} * 4 \quad \text{ó} \quad Res = \frac{\bar{h}_{ns} * \Delta t * l}{\lambda * \mu} * 4$$

Para superficies verticales grandes existe la posibilidad de que el flujo llegue a ser turbulento lo cual se puede comprobar mediante la comparación de $(l * \Delta t)_{real}$ y $(l * \Delta t)_{crít.}$.

Si $(l * \Delta t)_{real} \leq (l * \Delta t)_{crít.}$ ----- No turbulento.

$(l * \Delta t)_{real} > (l * \Delta t)_{crít.}$ ---- Turbulento y entonces el valor de $\bar{h}$ se obtiene por:

$$\bar{h} = 400 * \frac{\lambda * \mu_s}{l * \Delta t} \left[1 + 0.625 * Pr^{0.5} * \left(\frac{l * \Delta t}{(l * \Delta t)_{crít}} - 1 \right) \right]^{4/3}$$

$$\text{Y particularmente } (l * \Delta t)_{crít} = 2300 * \frac{\lambda * \mu_s}{K_s} * \left(\frac{v_s^2}{g} * \frac{\rho'}{\rho' - \rho''} \right)^{1/3}$$

Para agua y su vapor la Tabla 4.5 pág.162 del Meejev da valores de $(l * \Delta t)_{crít}$ y A_s entrándose con t_s .

Existen otras expresiones de cálculo dadas por McAdams para superficies horizontales, inclinadas y verticales, incluyendo gráficos.

Ver pág. 314..... Ec. 12.42 pág. 317 y fig. 12.9 pág. 318 Kern

Comparación entre condensación en superficie vertical y horizontal.

Los equipos condensadores generalmente en posición horizontal, al presentarse como ventajas:

- Mayor valor del coeficiente promedio de TC (condensación), debido a que el espesor promedio de la película de condensado (resistencia fundamental) es menor.
- Mejor distribución del vapor dentro del equipo.
- Mayores facilidades para la extracción de los condensados.
- Menor costo para el mantenimiento.

- e. Menores exigencias para el soporte estructural.

Si además de condensar se puede subenfriar el condensado, los condensadores verticales son más apropiados.

Parámetros influyentes en la condensación.

Las correlaciones estudiadas para la obtención del coeficiente de correlación son justas cuando se trata de un vapor puro condensando sobre una superficie limpia.

En otras circunstancias hay que tener en cuenta otros aspectos influyentes, tales como:

- ✖ Sobrecalentamiento del vapor.
 - El vapor se satura a medida que contacta con la superficie fría siendo por tanto posible dividir el equipo en una parte para sobrecalentamiento y otra para condensación.
 - Hay que incluir en los cálculos el calor de sobrecalentamiento $q_R'' = L_R'' - L_S''$ [J/kg] y en vez de λ en la fórmula de cálculo incluir $\lambda' = \lambda + q_R''$.
 - La cantidad de calor intercambiado es algo mayor, que en vapor saturado.
- ✖ El estado de la superficie.
 - Si la superficie es áspera o está cubierta con una capa de óxido como consecuencia de una resistencia adicional al flujo de condensado, el espesor de la película de condensado crece y se reduce $\bar{h}$.
- ✖ Hay acumulación de incondensable cerca de la superficie de transferencia cambiándose los mecanismos de transferencia de calor o combinándose con mecanismos de transferencia de masa (difusión pág. 398 Kern; 1979).
- ✖ Velocidad y dirección del flujo de vapor
 - Si la velocidad del vapor es grande ejerce una acción dinámica sobre la película del condensado: Si el sentido es hacia abajo favorece el escurrimiento del condensado haciendo más fina la película y aumentando $\bar{h}$, si el sentido entre ambos es contrario perjudica hasta tanto la velocidad del vapor no venza la acción de la gravedad.
- ✖ Composición de la superficie.
 - Superficie de haces de tubos verticales.
 - Superficie de haces de tubos horizontales.
 - Superficie de tubos verticales con casquete.

Preguntas de entrada:

1. ¿Explique las formas de condensación existentes? ¿Cuál es la mejor para la transferencia de calor?
2. ¿Explique la teoría de de Nusselt a cerca de la condensación de un vapor puro sobre una superficie vertical?
3. ¿Cuales factores de corrección se aplican para obtener el valor del coeficiente de condensación a partir de las ecuaciones de Nusselt?
4. ¿Qué características tiene la condensación de vapores puros sobre una superficie vertical muy grande?
5. Haga la comparación entre la condensación sobre superficie horizontales y verticales.

Simulación:

En este punto se podrá correr la práctica entrando los datos que le pide el propio programa.

Esquema: Para la realización de esta práctica en un laboratorio real usted debe conocer:

- ✖ Las partes fundamentales de las que consta el sistema instalado. Tener conocimiento sobre el correcto manejo de los instrumentos de medición (termómetro, flujómetro), así como su correcta lectura.

Anexo 1F y 1G algoritmo de programación.

Cómo realizar las prácticas de laboratorio: El estudiante puede ver como debe acceder a la práctica para su realización (Preguntas de entrada, Software y manual del usuario).

Informe: El informe deberá estar conformado por.

- ✖ Presentación (asignatura, título, nombre)
- ✖ Introducción(condensación, ecuaciones de cálculo, resumen teórico)
- ✖ Desarrollo(calculo de resultados y análisis de los resultados)
- ✖ Conclusiones.
- ✖ Bibliografía.

Estudio independiente: Para la profundización del tema se recomienda ver los documentos que se encuentran en la carpeta de la asignatura así como realizar los ejercicios propuestos en clase.

Practica de Laboratorio #4:

Evaluación de evaporadores múltiple efecto sin extracción.

Pre-Requisitos: Como preparación de la práctica de laboratorio previamente se deben conocer los siguientes aspectos.

- ✧ Cambio de fase.
- ✧ Regla de la fase.
- ✧ Punto de ebullición.
- ✧ Temperatura de saturación y presión de saturación.
- ✧ Saber hacer los balances de masa y energía así como los parámetros que rigen el comportamiento de un múltiple efecto.
- ✧ Características constructivas de los equipos donde se lleva a cabo la evaporación.

Objetivos:

- ✧ Determinar los parámetros que rigen el comportamiento de un múltiple efecto evaporador.
- ✧ Valorar las condiciones de funcionamiento del equipo.

Fundamento teórico: Para la correcta realización de esta práctica el alumno debe estudiar el siguiente material complementario:

Evaluación de evaporadores múltiple efecto sin extracción.

Definimos la evaporación como el proceso de concentración de una solución por separación del solvente por medio del calor. Esta operación se caracteriza por el intercambio de calor que se establece.

Clasificación y estructura.

Existen dos tipos principales de equipos tubulares vaporizadores usados en la industria.

- 3 Caldera de vapor:** Equipo tubular que por principio convierte la energía de un combustible en calor latente de vaporización de un fluido.
- 4 Intercambiadores vaporizadores:** Equipos tubulares que convierten el calor latente o sensible de un fluido en calor latente de vaporización de otro fluido.

Los equipos tubulares vaporizadores tienen su clasificación:

- a) **Hervidor:** suministra los requerimientos de calor al fondo de una columna de destilación.
- b) **Vaporizador:** Cuando no se usa en la formación de vapor agua, sino que se evapora otra sustancia.
- c) **Evaporador:** Se evapora agua a partir de una solución.
- d) **Evaporadores para plantas de fuerza:** Evaporadores relacionados con los sistemas de plantas de fuerza para producir agua pura.

En particular, cuando el evaporador para concentrar una solución mediante la evaporación del solvente (agua) se llama evaporador químico, los cuales tienen la siguiente clasificación.

- ✧ *Evaporador químico con circulación natural:* **Tubos verticales largos o cortos.**
Tubos horizontales.
- ✧ *Evaporador químico con circulación forzada:* **Elemento calefactor horizontal.**
Elemento calefactor vertical.
- ✧ *Evaporador químico tipo canasta*
- ✧ *Evaporador químico de película descendiente gravitacional.*
- ✧ *Evaporador químico de película descendiente agitada.*
- ✧ *Evaporador químico de híbridos.*

En nuestro país esta muy extendido en la industria azucarera y papelera los evaporadores de circulación natural y tubos verticales cortos.

Características de la solución a concentrar.

La solución práctica de un problema de evaporación esta profundamente afectada por el carácter del líquido que se concentra y sus propiedades, entre las cuales se pueden citarse:

- ✧ **Concentración:** A medida que la solución se concentra adquiere un carácter particular al variar algunas de sus propiedades físicas (C_p , μ , λ) y tiempo de ebullición.
- ✧ **Formación de espuma:** Algunos materiales principalmente sustancias orgánicas forman espuma durante la evaporación. Con el vapor sale espuma que arrastra el líquido.
- ✧ **Sensibilidad a temperatura:** Existen productos químicos cuya propiedades organolépticas se afectan por la temperatura.
- ✧ **Formación de costra:** Algunas soluciones depositan costra sobre la superficie de transferencia de calor disminuyendo U y dificultando la limpieza cuando son duras.

- ✧ **Materiales de construcción:** Siempre que se posible los evaporadores se construyen de hierro fundido, acero, existen soluciones que solo admiten materiales especiales.

El diseño de un evaporador debe tener en cuenta otros aspectos, tales como:

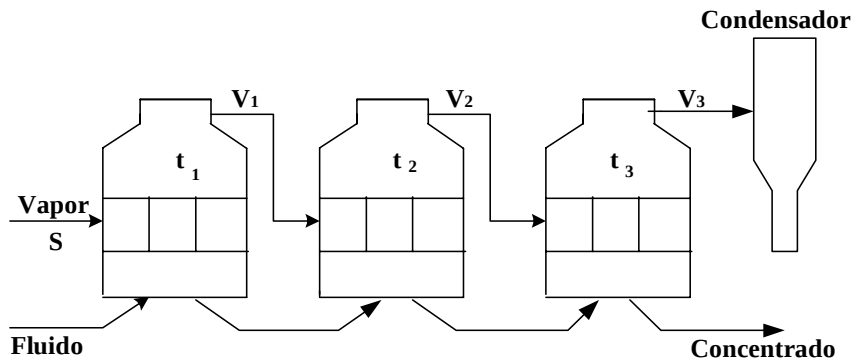
- ✧ **Toxicidad.**
- ✧ **Explosividad.**
- ✧ **Radioactividad.**
- ✧ **Esterilidad.**

La variedad de diseños de evaporadores obedece a la variedad de características de los líquidos a concentrar.

El múltiple efecto evaporador.

La aparición del múltiple efecto se debe a Radienx (1850) el cual razonó la posibilidad de utilizar la evaporación de un fluido para calentar otro fluido o continuar el calentamiento del mismo. Es así que se acostumbra a combinar 2, 3, 4, 5 hasta 6 vasos evaporadores en la conformación del múltiple efecto.

Para un triple efecto la estructura seria:

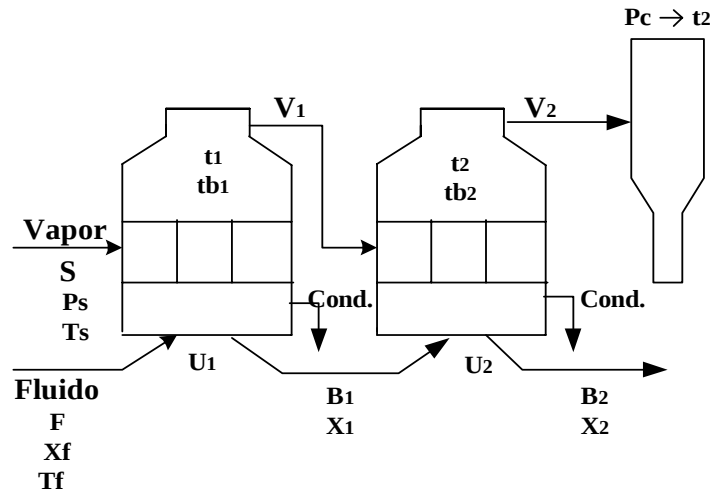


Para lograr el múltiple efecto hubo que resolver lo referente a la diferencia de temperatura necesaria: Introducción del vacío.

Ventajas:

- ✧ Aumento de la Δt .
- ✧ Ocurre la evaporación a temperatura menos peligrosa para sustancias sensibles al calor.
- ✧ Ahorro de combustible apreciable.

La aplicación de balances de masa y energía resulta importante por cuanto permite la obtención de la información necesaria para el dimensionamiento y evaluación de los equipos evaporadores.



Se conoce:

- Presión del vapor de alimentación, P_s .
- Tipo, cantidad, concentración y temperatura de la solución alimentada (F , x_f , t_f).
- Concentración final, x_2 .
- Presión en condensador, P_c .

a) Balance total:

$$F = B_2 + V_T \quad \text{I}$$

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \text{II}$$

b) Balance de sólidos:

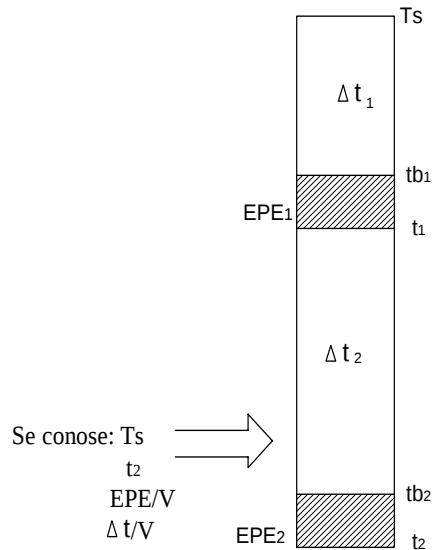
$$F * x_f = B_2 * x_2 \quad \text{-----} \quad B_2 = \frac{F * x_f}{x_2} \quad \text{III}$$

c) Distribución de temperatura:

$$\Delta t_{\text{aparente}}: T_s - t_2$$

$$\Delta t_{\text{útil}} = \Delta t_{\text{aparente}} - \sum \text{EPE} \quad \text{-----} \quad \text{EPE} = f(x)$$

$$\Delta t_n = \Delta t_T * \frac{1/U_n}{1/\sum U}$$



$$\Delta t_T = \Delta t_1 + \Delta t_2$$

$$Ts - tb_1 \quad t_1 - tb_2$$

d) Balance de energía:

$$S * \lambda_s = F * C_{p_F} * (tb_1 - t_F) + V_1 * \lambda_1$$

IV

$$V_1 * \lambda_1 = B_1 * C_p * (tb_2 - tb_1) + V_2 * \lambda_2$$

V

$$V_T = V_1 + V_2$$

II

Son tres ecuaciones con tres incógnitas (V_1 , V_2 , S) las cuales se calculan.

e) Q por efecto:

$$Q_1 = S * \lambda_s \quad Q_1 = V_1 * \lambda_1$$

f) Obtención del coeficiente total de transferencia de calor:

- Literatura (Kern; 1979, Hugott; 1980).

- Ecuaciones: Para azúcar $U_D = \frac{49.2 * (t_j - 32)}{B}$

U_D ----- BTU/h-p²-°F.

t_j ----- temperatura de ebullición, °F.

B ----- Concentración, °Bx.

g) Determinación de A:

$$A_1 = \frac{Q_1}{U_1 * \Delta t_1} \quad \text{-----} \quad A_2 = \frac{Q_2}{U_2 * \Delta t_2}$$

- ✧ Si $A_1 \approx A_2$ diseño concluido.
- ✧ Si se prevé extracción de vapor, se realiza la adición de área necesaria.
- ✧ Si $A_1 \neq A_2$: Se rectifica Δt :

$$\Delta t'_1 = \frac{A_1}{A_{promedio}} * \Delta t_1 \text{ ----- } \Delta t'_2 = \frac{A_2}{A_{promedio}} * \Delta t_2$$

- ✧ Se distribuye de nuevo las temperaturas y se repite el proceso a partir del paso d).

Evaluación de un múltiple efecto evaporador.

Para conocer las condiciones de operación del equipo evaporador, es decir la eficiencia del mismo se realiza su evaluación, para ello se debe tener información mínima necesaria tales como:

- ✧ Presiones de operación.
- ✧ Temperatura de operación.
- ✧ Concentración de operación.
- ✧ Áreas de transferencia de calor.
- ✧ Flujos.

Con la información pertinente y aplicando balance de masa y energía se calculan:

- ✧ **Economía:** Relación entre evaporación total y consumo de vapor.

$$e = \frac{V_T}{S}$$

- ✧ **Coeficiente de evaporación:** Relación entre la evaporación total y el área de transferencia de calor.

$$Co.e = \frac{V_T}{A_T}$$

- ✧ **Coeficiente de transferencia de calor:** $U_D = \frac{Q}{A * \Delta t}$

- ✧ **Eficiencia del área de evaporación:** Relación de la cantidad de vapor al condensado y la producida en el evaporador.

$$E_f = \left(1 - \frac{V_{con}}{V_T} \right) * 100$$

Como se aprecia:

- ✖ Al valorar la eficiencia de operación del múltiple efecto se tiene en cuenta los aspectos anteriores en su conjunto.
- ✖ Los aspectos anteriores el equipo analizado se comparan con los establecidos con la literatura.
- ✖ Para los equipos evaporadores resultan validas la evaluación sobre la base de la variación de U_D y el establecimiento del ciclo de limpieza.

Pregunta de entrada:

1. ¿Esquematice un triple efecto evaporador de circulación natural y plantee los balances de masa y energía?
2. ¿Cuál debe ser el valor teórico de la economía de un cuádruple efecto? ¿Por qué?
3. ¿Cómo afectan las incrustaciones el trabajo y eficiencia de un múltiple efecto?
4. ¿Qué parámetros se tienen en cuenta para valorar las condiciones de operación de un múltiple efecto evaporador?
5. ¿Cuál será la fuerza impulsora total y cuales las individuales en relación con el flujo de calor para un triple efecto?

Simulación:

En este punto se podrá correr la práctica entrando los datos que le pide el propio programa.

Esquema: Para la realización de esta práctica en un laboratorio real usted debe conocer:

- ✖ Las partes fundamentales de las que consta el sistema instalado. Tener conocimiento sobre el correcto manejo de los instrumentos de medición (termómetro, manómetro), así como su correcta lectura.

Cómo realizar las prácticas de laboratorio: El estudiante puede ver como debe exceder a la práctica para su realización (Preguntas de entrada, Software y manual del usuario).

Informe: El informe deberá estar conformado por.

- ✖ Presentación (asignatura, título, nombre)
- ✖ Introducción(condensación, ecuaciones de calculo, resumen teórico)
- ✖ Desarrollo(calculo de resultados y análisis de los resultados)
- ✖ Conclusiones.

- ✕ Bibliografía.

Estudio independiente: Para la profundización del tema se recomienda ver los documentos que se encuentran en la carpeta de la asignatura así como realizar los ejercicios propuestos en clase.

Indicación para la realización de las prácticas de laboratorio de OPU V.

Ya se conoce que la virtualización de las prácticas de laboratorio en el caso de la asignatura OPU V y principalmente para cualquier otra, permite explotar más intensivamente las posibilidades de comprobar conocimiento y habilidades.

Por tanto se considera oportuno dejar sentado para cada una de las prácticas de laboratorio las indicaciones que debe hacer el profesor a fin de que los estudiantes se preparen antes de ejecutarlas:

Práctica de laboratorio No1.

Los estudiantes recibirán previamente la presión del vapor de agua que circula por la tubería y deberá tener lista la información que permita.

- ✕ Calcular las pérdidas de calor al medio ambiente para diferentes situaciones:
 - Cambio de material aislante.
 - Cambio de espesor de aislante.

Práctica de laboratorio No2.

Los estudiantes deben prepararse para la obtención de la información que posibilite valorar las condiciones de operación de un intercambiador de calor, lo cual implica:

- ✕ Calcular valores del coeficiente pelicular.
- ✕ Calcular el valor del coeficiente total de transferencia de calor limpio, U_C .
- ✕ Calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor sucio, U_D .
- ✕ Calcular el valor del factor de depósitos, $R_{d\text{calculado}}$.

Se de interés que al estudiante previamente se le indicaran la combinación de fluidos y deberían llegar a la práctica de laboratorio con definiciones acerca de:

- ✕ Propiedades físicas de los fluidos.
- ✕ Factor de depósito requerido, $R_{d\text{requerido}}$.
- ✕ Características contractivas del IC (d_i , d_o , DI , L , Pt y otros).
- ✕ Ubicación de los fluidos por dentro y fuera de los tubos.

Práctica de laboratorio No3.

La práctica de laboratorio tiene como propósito calcular el coeficiente de condensación de un vapor puro determinadas condiciones.

Por tanto el estudiante deberá conocer la influencia que tiene sobre el coeficiente de condensación parámetros tales como la geometría del sistema, propiedades del fluido y las condiciones de operación.

Con el fin de facilitar el trabajo, el estudiante recibirá previo a la realización de la práctica de laboratorio información acerca del tipo de vapor y las condiciones de operación (P_v , T_v) disponiendo de las propiedades físicas del vapor y el condensado a esas condiciones y otras informaciones necesarias para que el estudiante tenga que:

- ✕ Calcular el coeficiente de condensación de un vapor sobre una superficie horizontal.
- ✕ Calcular el coeficiente de condensación de un vapor sobre una superficie vertical larga.
- ✕ Calcular el coeficiente de condensación de un vapor sobre una superficie vertical corta.
- ✕ Comparar resultados con los reflejados en la literatura.

Práctica de laboratorio No4.

Esta práctica de laboratorio tiene como propósito evaluar las condiciones de operación de un múltiple efecto evaporador sobre la base del cálculo de los parámetros que lo definen.

Por tanto el estudiante recibirá previo a la realización de la práctica de laboratorio un juego de datos que contempla la información mínima necesaria:

- ✕ Flujo.
- ✕ Concentración.
- ✕ Temperatura.
- ✕ Presión.
- ✕ Área de transferencia de calor.

Los estudiantes deberán realizar búsquedas acerca de lo que ofrece la literatura sobre economía, coeficiente total de transferencia de calor, coeficiente de evaporación, eficiencia para múltiple efecto que dan valores teóricos para comparar.

En general deberán probar la influencia que tiene en el trabajo del equipo diferentes valores de:

- ✕ T_f : Temperatura de alimentación del fluido.
- ✕ P_s : Presión del vapor de calentamiento.
- ✕ X_{mel} : Concentración final de la solución.

Para cada práctica se realizaron algoritmos de cálculo para facilitar su programación, en la realización de cada algoritmo se trato de emplear el mismo método de cálculo que utilizan los estudiantes a lo largo de la asignatura facilitando la labor del profesor a la hora de explicar la metodología de calculo empleada en cada laboratorio virtual.

Información sobre el software.

Aquí se pude encontrar cada uno de los software que se emplearon para simular cada una de las prácticas y de que modo se pueden descargar para su ejecución.

I. Prácticas.

Esta página Web brinda un acceso directo a las guías para la realización de cada una de las prácticas de los Laboratorios virtuales.

Para servirse de las guías para la realización de las prácticas solo tiene que clic en los enlaces que se presentan a continuación:

- ✧ [Conductividad térmica.](#)
- ✧ [Intercambiador de calor de tubos concéntricos.](#)
- ✧ [Intercambiadores de calor de tubo y coraza.](#)
- ✧ Coeficientes de condensación de vapores puros.
- ✧ Evaporación de simple efecto con circulación forzada.

II. Enlaces.

En esta sección se tendrán enlaces directos a algunos Sitios Web, literatura y trabajos que sean de interés o tengan relación con la asignatura OPU V.

III.Contactos.

Aquí se pueden encontrar enlaces directos para contactar a los profesores que imparten la asignatura o que imparte asignaturas relacionadas con las OPU.

Conclusiones parciales:

1. La elaboración de algoritmos permite un ahorro considerable de tiempo al programador en el momento de plantearse el problema y llevar a cabo su ejecución.

2. En el completamiento de la Web ya existente, el algoritmo facilita:
 - a) Una mejor visión a la hora de programar o simular en este caso los laboratorios virtuales de OPU V y permite que el programador tenga un mejor planteamiento del algoritmo general para la elaboración de la Web.
 - b) La estructuración y completamiento de cada una de las prácticas así como del sitio Web.
 - c) Una mejor manipulación por parte de los estudiantes del programa instalado, permitiendo que el profesor tenga un mayor control sobre el trabajo que realiza cada uno de sus estudiantes.
3. Las metodologías propuestas pueden ser fácilmente extendidas a prácticas de otras asignaturas dentro de la disciplina Operaciones y Procesos Unitarios, posibilitando esto la flexibilidad y aparición de nuevas vías para la comprensión de fenómenos de diversa naturaleza, ahorrando además tiempo espacio y recursos.

Conclusiones.

1. En la actualidad se cuenta con un sistema computacional que permite la ejecución de 4 prácticas de laboratorio para la asignatura OPU V con el consiguiente cumplimiento de sus objetivos en términos de habilidades y conocimientos.
2. Se lograron precisar los métodos de cálculos necesarios y más convenientes a emplear en función de cada práctica de laboratorio facilitándose así el trabajo de elaboración de los algoritmos y la posterior programación en cada caso.
3. Con el mejoramiento y completamiento del Sitio Web de las prácticas virtuales de la asignatura OPU V se logra poseer una herramienta informática más completa y efectiva que contribuye en gran medida a la enseñanza de los procesos de transferencia de calor

tanto teórica como experimentalmente a la vez que ayuda a fomentar el interés y la motivación por esta asignatura.

4. La existencia de un sistema de prácticas de laboratorio virtuales para la asignatura OPU V permite al profesor y los estudiantes ampliar el perfil de actividades y pruebas a realizar con la ventaja adicional de menor tiempo necesario y los ahorros en recursos de todo tipo.

5. La realización de este trabajo de informatización de las prácticas de laboratorio de la asignatura OPU V sienta las bases para en el futuro establecer un sitio Web con las prácticas de las restantes asignaturas de la disciplina Operaciones y Procesos Unitarios.

Recomendaciones.

1. Continuar el trabajo de mejoramiento del sitio Web de la asignatura OPU V, con la introducción de otros aspectos de las Nuevas Técnicas de Información y Comunicación (NTIC):
 - a. Enriquecer las prácticas con elementos multimedia como son voz, video e imágenes.
2. Extender la algoritmización y programación de laboratorios virtuales a otras asignaturas de la disciplina OPU con el fin de utilizar las ventajas de estos sistemas en función de la obtención de conocimientos y habilidades con el consiguiente ahorro de recursos.

3. Valerse de lenguajes de programación menos complejos para la programación de los laboratorios virtuales con el fin de lograr un manejo más dinámico y fácil por parte de los profesores y estudiantes.
4. Aprovechar las posibilidades que brindan los lenguajes de programación en el servidor como son PHP y ASP para programar todos los códigos de simulación on-line, o sea crear el software sobre la base de la tecnología del Hipertexto.

Bibliografía.

F. P. Incropera y D. P. Sewitt. (1995). *Fundamentals of Heat and mass transfer*. Soporte electrónico. [2005]

G. D. Ulrico. (1985). *Diseño y Economía de Procesos Químicos*. Edición interamericana. [2005]

Kreith, F.; Boehm, R.F. (1999). *Heat and Mass Transfer*. 3-8 y 15-118. Mechanical Engineering Handbook Ed. Frank Kreith. [2005]

U.S. Department of Energy. (1992). *DOE Fundamentals Handbook Thermodynamics, Heat transfer, and Fluid Flow*. Soporte electrónico. [2005]

Martines Santana Ángel. (2004). *Elaboración de un laboratorio virtual de Transferencia de calor en soporte Web usando software de simulación*. Informe final de investigaciones terminadas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villa, Santa Clara. [2005]

Q. Kern, Donald (1979). *Procesos de transferencia de calor*. 12-35 y [155]-495. Trigésima primera reimpresión México 1999. Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V. México. [2005]

Holman P. J. (1999). *Transferencia de calor*. Octava edición (primera en español). 1-9. Editora Concepción Fernández Madrid. Compuesto e impreso en Fernández Ciudad, S. L. impreso en España. [2005]

Martínez, F. (1996). *La enseñanza ante los nuevos canales de comunicación*. En F.J. Tejedor y A. G. Valcárcel (Eds.). *Perspectivas de las nuevas tecnologías en la educación*. Madrid: Narcea, págs. 101-119. [2005]

Herrera Omar y Blanco Alejandro. (1985). *Equipos de transferencia de calor*. 5-45, 146-178 y 246-307. ISPJA Facultad de energética. Departamento de termoenergética. Ministerio de Educación. La Habana. [2005]

E. Hugot (1980). *Manual para ingenieros azucareros*. Editorial Pueblo y Educación. [2005]

Mijeeva I.M. y Mijeev M. A.(1979). *Fundamentos de termotransferencia*. 151-173. Editorial Mir. [2005]

Lienhard IV John H., 2004. *A heat transfer textbook*. 3th edition. 3-48. Soporte electrónico. [2005]

<http://www.monografias.com/trabajos/algoritmo/algoritmo.shtml>.

http://www.galeon.com/luisjaimes/pagina_nueva_4.htm.

http://es.wikibooks.org/wiki/Fundamentos_de_programaci%C3%B3n.

<http://caerenad.teluq.quebec.ca/colloque/presentation/tex-mrivas.htm>.

<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/main?readform>.

<http://labvirtual.unalmz.edu.co/htmls>.

<http://tecnologiaedu.us.es/>

<http://usuarios.tripod.es/smaug>.

<http://www.virtual-educa.net/actas2001/1.htm>

<http://www.virtualsimlab.dep.ufscar.br/alfa/presentacion.htm>.

<http://www.vetl.uh.edu/>.

<http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj>

http://www.areaint.com/paginas_cursos_personales.htm

<http://www.soloasp.com.ar/ejemplos.asp>

<http://www.elguruprogramador.com.ar/>

<http://www.solotuweb.com/>

<http://www.linhadecodigo.com.br/codigos.asp>

<http://www.desarrolloweb.com/>

Figura #1A: Ambiente Web modificado.

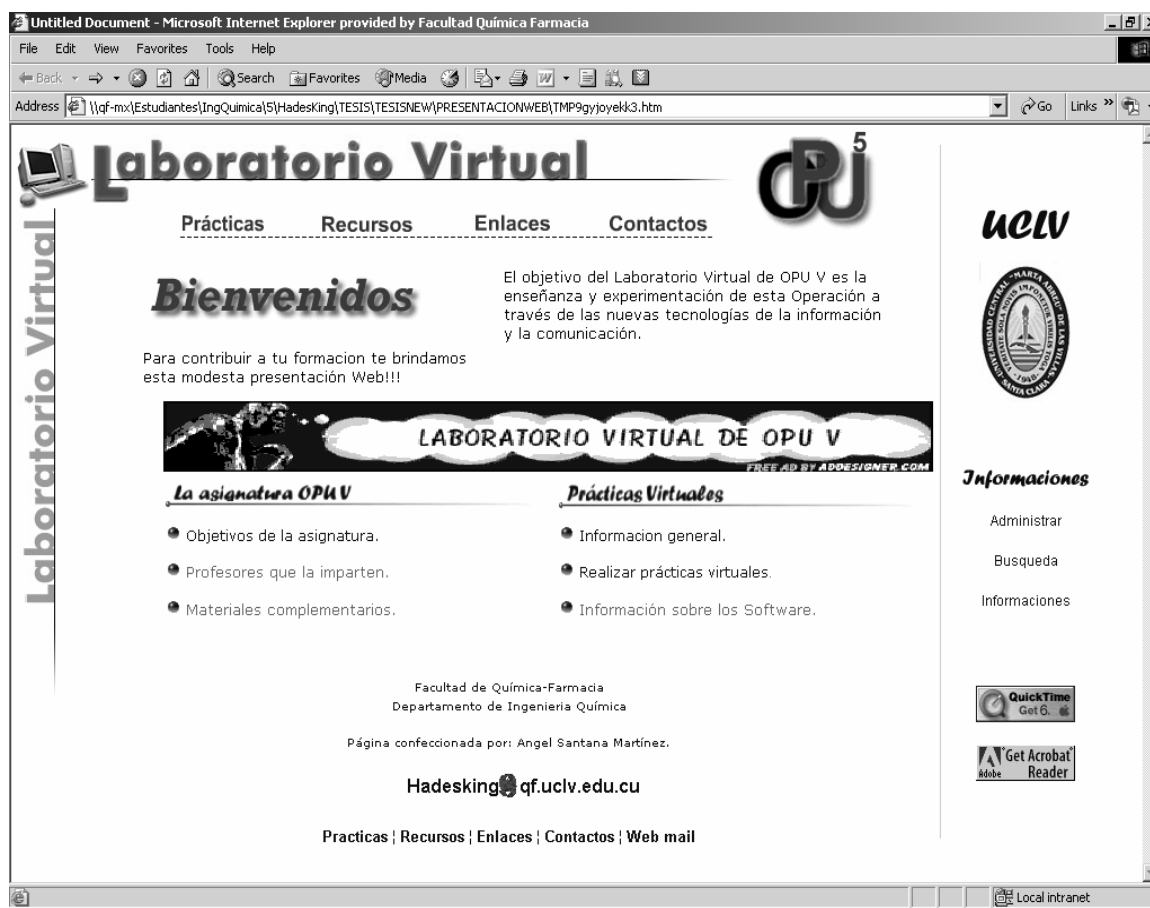


Figura #1B: Ambiente Web modificado.

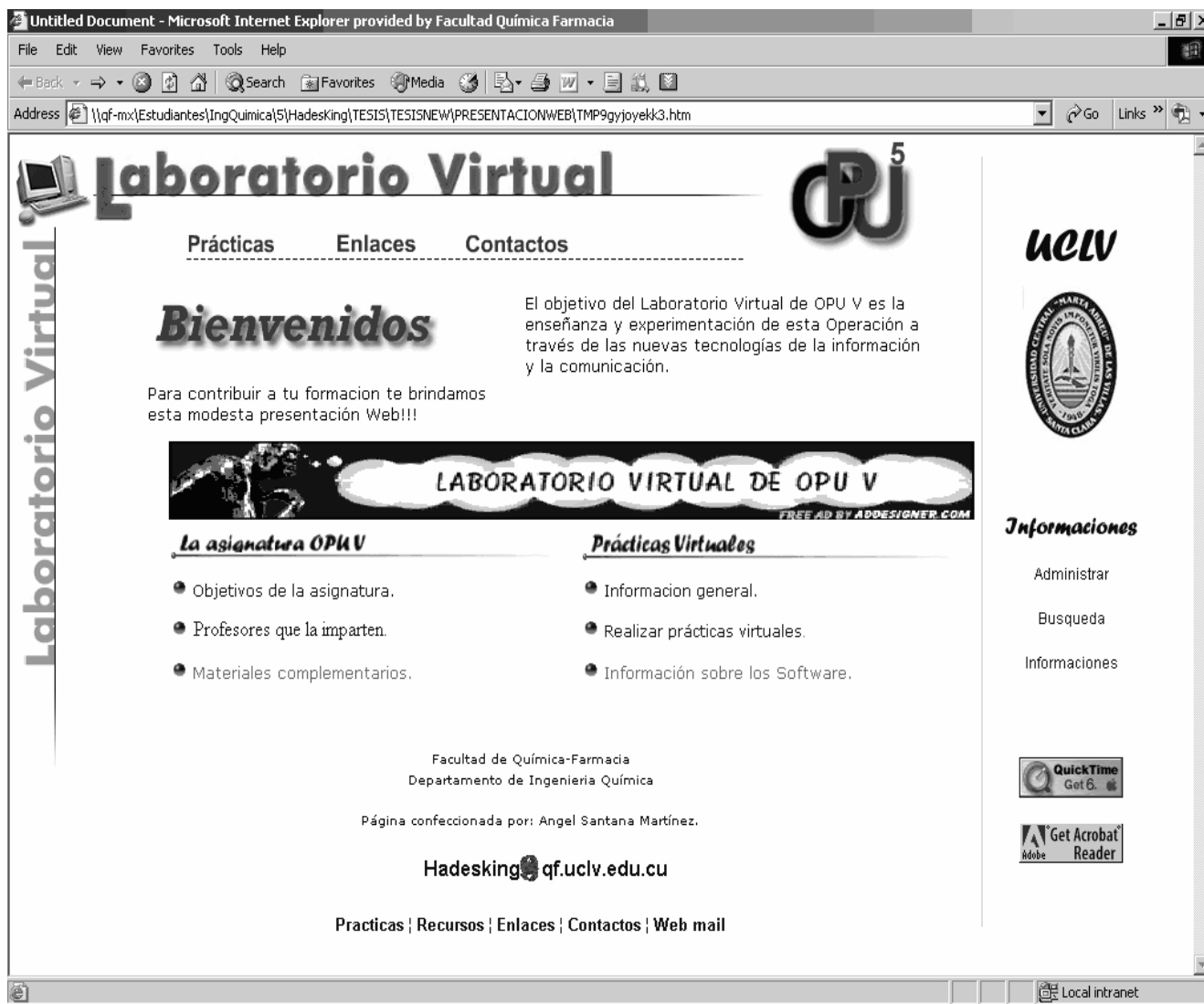


Figura 1C: Algoritmo; Práctica de laboratorio #1.

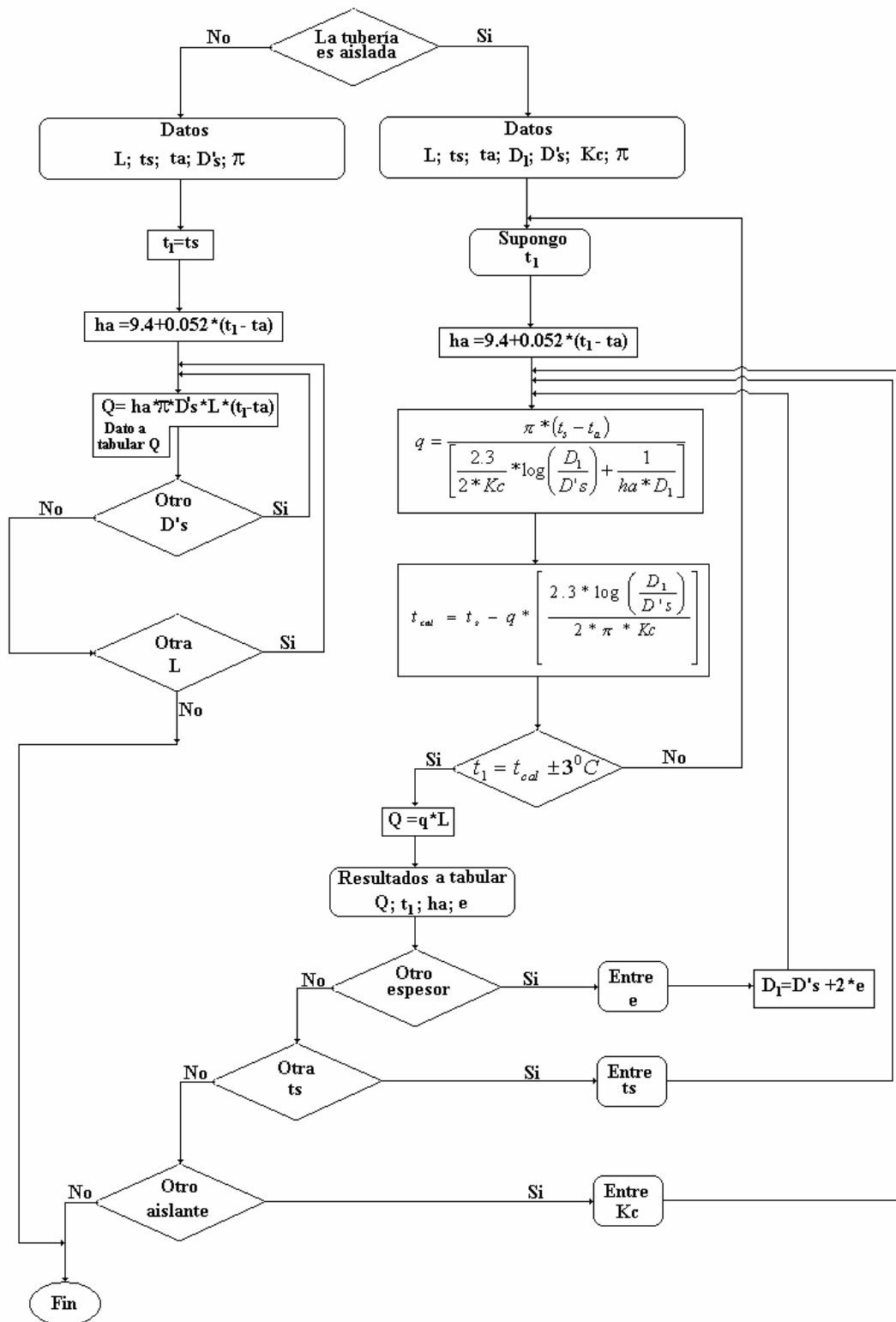


Figura #1D: Algoritmo; Práctica de laboratorio #2.

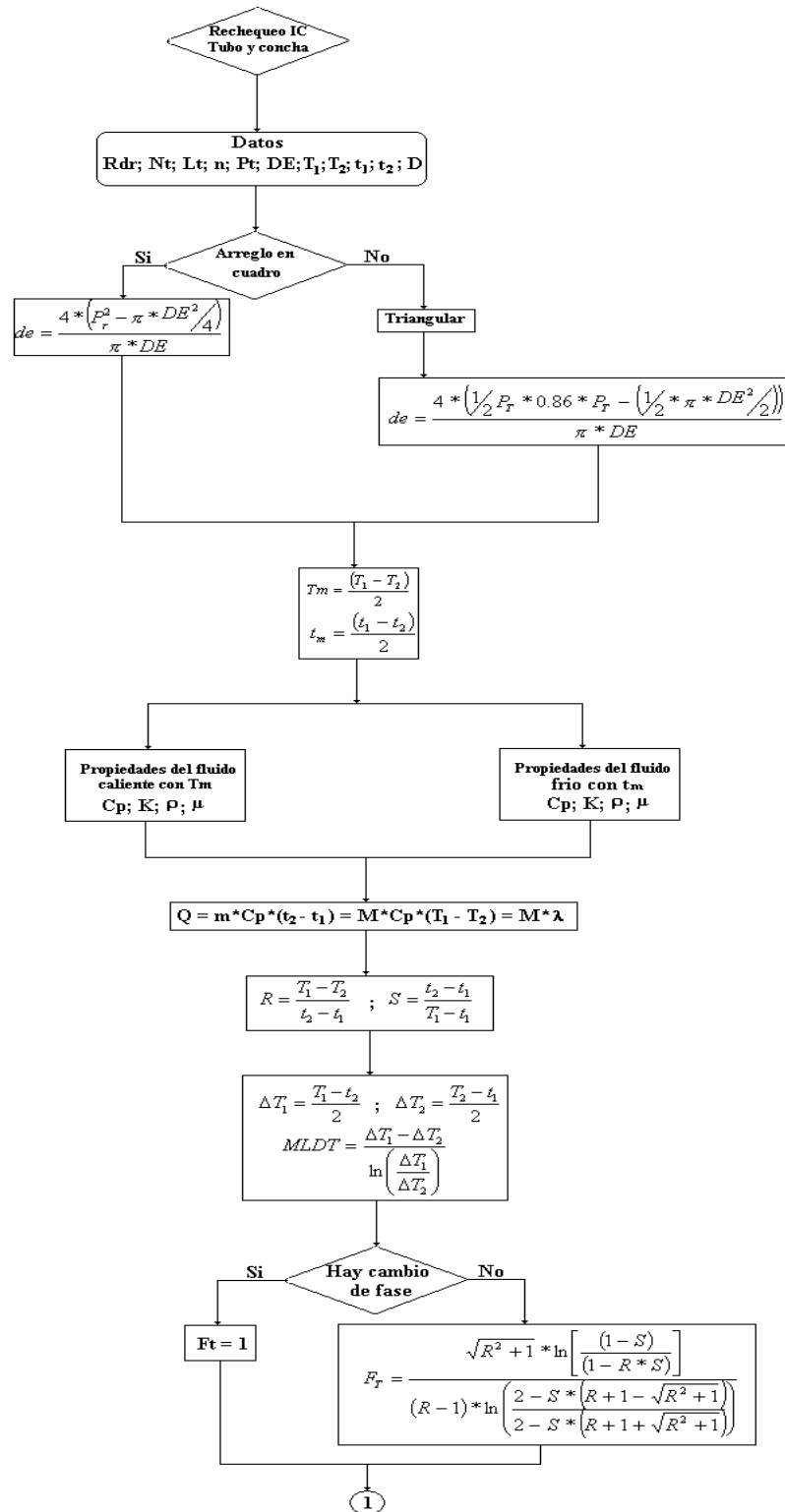


Figura #1E: Algoritmo; Práctica de laboratorio #2 parte 2 .

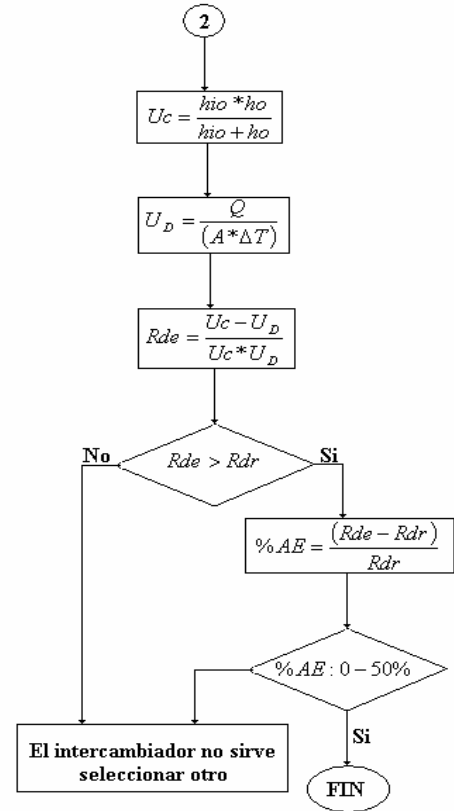
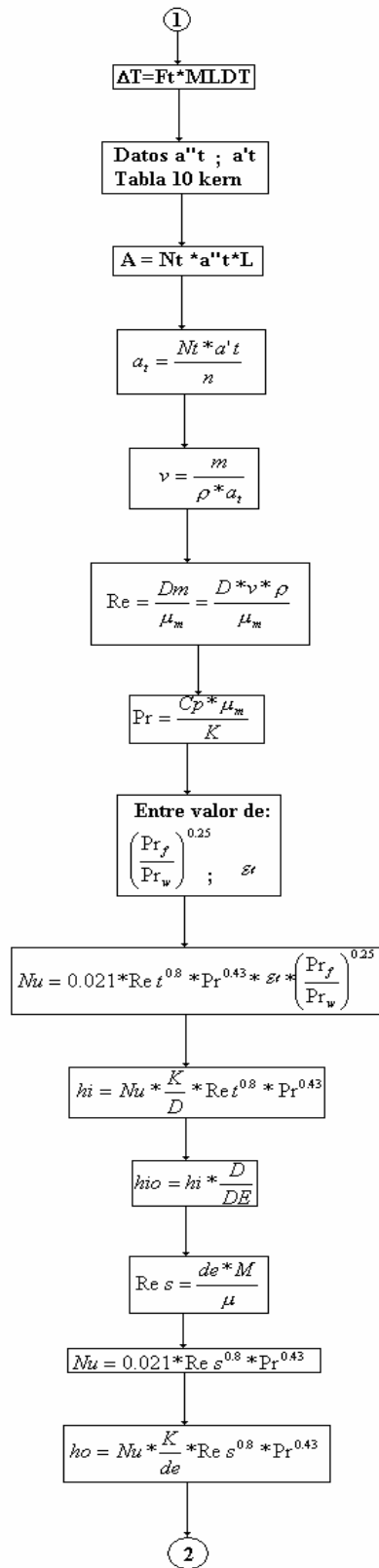


Figura #1F: Algoritmo; Práctica de laboratorio #3.

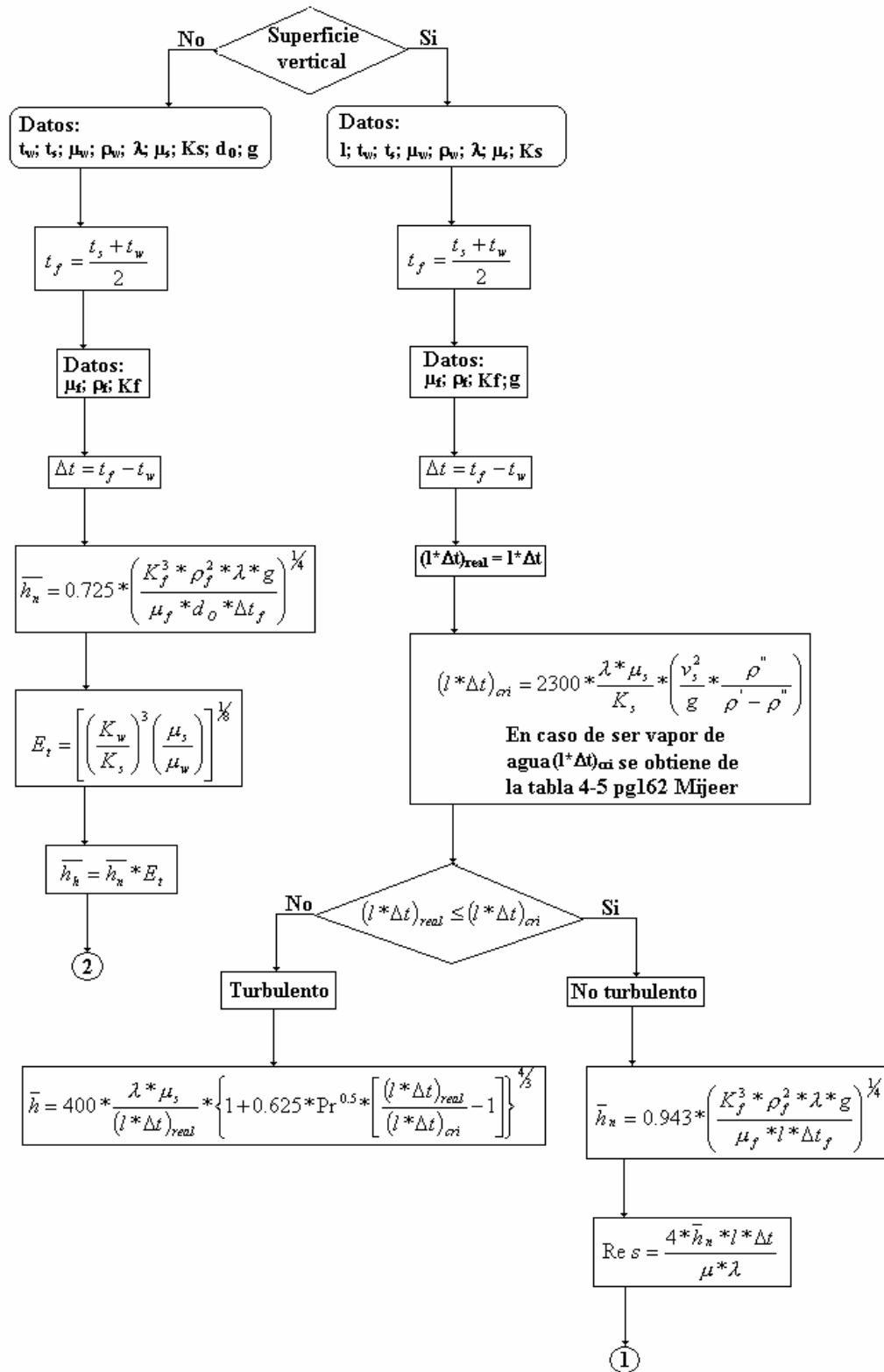


Figura # 1G: Algoritmo; Práctica de laboratorio #3 parte 2.

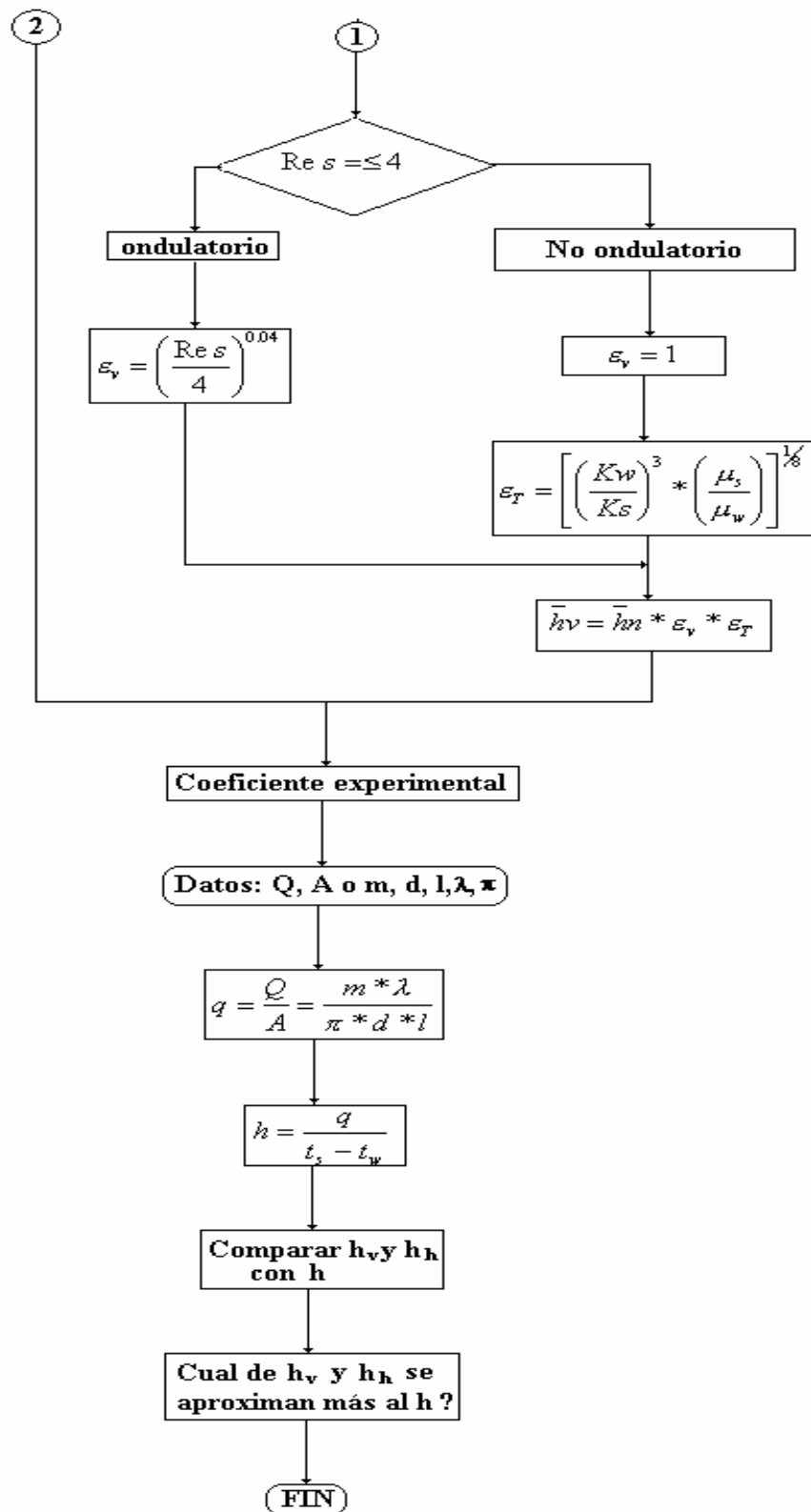


Figura # 1H: Algoritmo; Práctica de laboratorio #4.

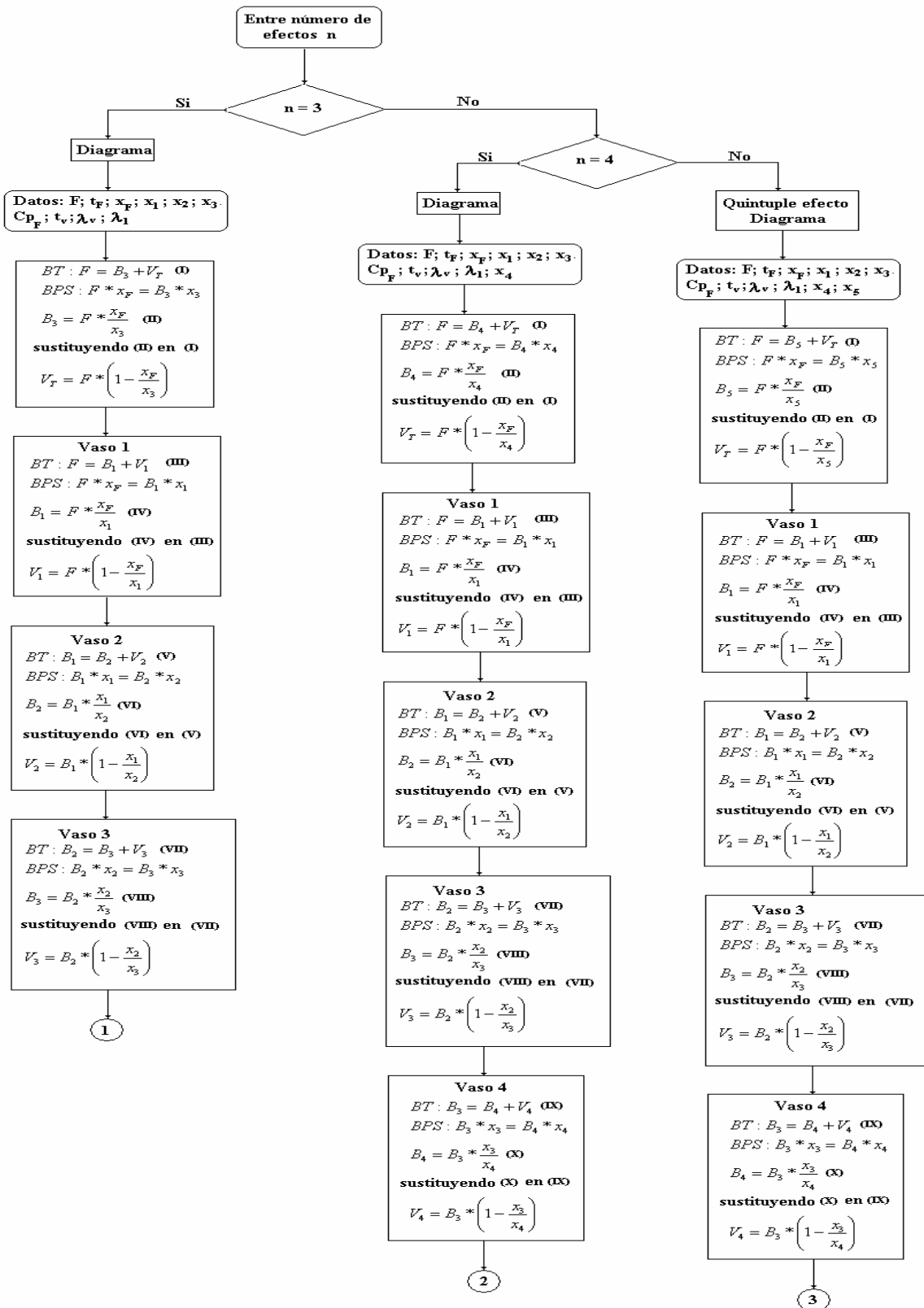


Figura # 1I: Algoritmo; Práctica de laboratorio #4 parte 2.

